

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ МОДИФІКОВАНИХ СУДНОБУДІВНИХ БЕТОНІВ ПІД ДІЄЮ КОРОТКОЧАСНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ НА ЦІ БЕТОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Шишкіна О. О.

ВСТУП

Оснoву сучасної технології бетону становить створення високоякісного цементного каменю, що відрізняється високою дисперсністю складових і новоутворень, малої дефектністю і стійкістю структури, в тому числі за рахунок зменшення її перебудови в процесі твердіння. На його основі можуть створюватися найрізноманітніші якісні бетони шляхом вкраплення в структуру матеріалу додаткових складових і її модифікації¹.

Сучасний узагальнюючий підхід до теорії композиційних матеріалів з заповнювачами і наповнювачами у вигляді дисперсних частинок зводиться до того, що сукупність властивостей композитів розглядається на рівні двох бінарних систем: сполучної речовини (як комбінації в'язучого і високодисперсних наповнювачів, в тому числі негідратованих зерен цементу) і макроконгломерату².

Бетон є матеріалом поліструктурної будови, що передбачає багаторівневу організацію, при якій структура будь-якого нижчого рівня є складовим елементом більш високого рівня структурних неоднорідностей, за принципом «композит в композиті»³. Безперервна гранулометрія дисперсної системи, якою є бетонна суміш, створює структуру з щільною упаковкою^{4,5}.

¹ Асирян А.М. Основы повышения прочности бетонов. Автореф. Дис. ... доктор техн. наук. Ереван, 2000. 75 с.

² Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона (Основы теории и методологии). Ровно, 2003. 265 с.

³ Дворкин Л.И., Дворкин. О.Л. Основы бетоноведения. С.-Петербург. 000 «Строй Бетон», 2006. 692 с.

⁴ Коваль С.В. Оценка эффективности суперпластификаторов с применением экспериментально-статистических моделей. Бетоны с эффективными модифицирующими добавками. 1985. С. 93–101.

⁵ Shishkin A., Netesa N., Scherba V. Effect of the iron-containing filler on the strength of concrete Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. №5/6 (89). P. 11–16

Характерною особливістю високоміцних бетонів є високий темп наростання міцності в ранній період часу. Зі збільшенням віку бетону, а також підвищенням активності цементу відзначається зростання рівнів напруг, при яких відбувається утворення мікротріщини⁶.

Модуль пружності, повзучість і усадка бетону залежать від деформативних характеристик його компонентів, а також від об'ємної концентрації кожного з компонентів в складі бетону⁷. Зростання модуля пружності в часі найбільш інтенсивно відбувається в бетонах з крупним заповнювачем і тим істотніше, чим нижче значення В/Ц. При цьому модуль пружності в набагато більшому ступені залежить від сировинного складу бетону, ніж від абсолютної величини міцності⁶. Так як високоміцні бетони характеризуються підвищеною витратою цементу, вплив модуля пружності, повзучості і усадки цементного каменю на деформативні характеристики бетону стають більш значимими⁷.

Великі значення модуля пружності мають певні гірські породи (габро, діабаз). Однак А.С. Дмитрієв⁸ зазначає, що бетони на таких заповнювачах мають знижену величину межі мікроруйнування, а в деяких випадках застосування подібних наповнювачів може призвести навіть до зниження міцності бетону. Якщо матеріал заповнювача в кілька разів міцніше розчину, поздовжні деформації крупного заповнювача частково гасяться його переміщеннями. У той же час поперечні деформації заповнювача можуть виявитися набагато менше, ніж у розчинної частини. У цьому випадку велике значення має міцність зчеплення розчину з зернами наповнювачів. При досить високій адгезії менша деформативність крупного заповнювача у порівнянні з деформативністю розчинної частини буде стримувати розвиток деформацій в розчині, і це зміцнить всю систему. При низькій адгезії між розчинною частиною і заповнювачем виникнуть тріщини і з'являться місцеві напруги, що перевершують середні напруги в матеріалі в кілька разів⁹.

⁶ Иванов Ю.А. Исследование прочностных и деформативных свойств бетонов марок 600-1000 и изгиба железобетонных балок из таких бетонов: дис... канд. техн. наук. Киев 1971. 197 с.

⁷ Коваль С.В. Развитие научных основ модифицирования бетонов полифункциональными добавками: Доктор техн. наук: 05.23.05. Одесса, ОГАСА, 2004. 428 с.

⁸ Дмитриев А.С. Влияние крупного заполнителя на прочность и деформативность высокопрочного бетона. Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона / Под ред. С.А. Миронова. Москва 1970. С. 24–34.

⁹ Френкель И.М. Некоторые положения технологии высокопрочного бетона Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона / Под ред. С.А. Миронова. Москва. 1970. С. 4–23.

Одним із сучасних методів керування структурою бетону з метою підвищення його міцності є використання поверхнево-активних речовин^{10,11,12,13}. В розвиток означених методів¹⁴ запропоновано нову концепцію розвитку будівельного матеріалознавства, яка передбачає спрямоване формування структури бетону, що ініціюється використанням молекул поверхнево-активних речовин застосованих у надмалих дозах^{15,16,17}.

Дослідження впливу нанокаталізу на формування міцності реакційного порошкового бетону [6] дозволили визначити, що введення до складу бетону поверхнево-активних речовин в надмалих дозах призводить до значного підвищення міцності бетону.

Аналогічні результати отримано при дослідження впливу міцелярного каталізу на міцність лужного порошкового бетону.

Тобто існують результати значних досліджень впливу наномодифікаторів, в якості яких використані молекули поверхнево-

¹⁰ Plugin A. et al. Nanomodified cement composites for thin walled architectural structures To cite this article IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2020) 907 012030

¹¹ Pushkarova K, Sukhanevych M, Marsikh A. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition Materials Science Forum 2016.865 6-11

¹² Marushchak U., Sanytsky M., Korolko S., Shabatura Y., Sydor N. Development of nanomodified rapid hardening fiber reinforced concretes for structure of special purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 2/6 (92).34–41

¹³ Schmidt M. et al. Nanotechnological improvement of structural materials – impact on material performance and structural design. Cement Concrete Composites. 2013.36. 3–7

¹⁴ Френкель И.М. Некоторые положения технологии высокопрочного бетона Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона / Под ред. С.А. Миронова. Москва. 1970. С. 4–23.

Plugin A. et al. Nanomodified cement composites for thin walled architectural structures To cite this article IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2020) 907 012030

Pushkarova K, Sukhanevych M, Marsikh A. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition Materials Science Forum 2016.865 6-11

Marushchak U., Sanytsky M., Korolko S., Shabatura Y., Sydor N. Development of nanomodified rapid hardening fiber reinforced concretes for structure of special purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 2/6 (92).34–41

Schmidt M. et al. Nanotechnological improvement of structural materials – impact on material performance and structural design. Cement Concrete Composites. 2013.36. 3–7

¹⁵ Shishkina A. Shishkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2020. 907 012038

¹⁶ Shishkina O.O., Shishkin O.O. Research on the injection of nanocatalyse into the molding of the plasticity of reaction powder concrete. Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2016.1/6(79).55-6

¹⁷ Shishkina A., Shishkin 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). 46-51

активних речовин, які вводяться в систему у надмалих дозах, при нормативних температурно-вологісних показниках навколишнього середовища. Проте немає даних про вплив означених наномодифікаторів на міцність бетону при підвищених температурах і вологості навколишнього середовища.

Викладене вище дає підстави вважати, що існує недостатня визначеність впливу наномодифікаторів, тим більше поверхнево-активних речовин, які застосовані у надмалих дозах, на міцність бетонів та вплив навколишнього середовища на означені бетони, обумовлюють необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.

Метою досліджень є визначення ефективності застосування поверхнево-активних речовин в надмалих дозах для отримання суднобудівних бетонів, призначених для будівництва композитних доків та інших плавучих споруд.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– встановити вплив короткочасних навантажень на міцність та деформативність бетону, отриманому із застосуванням надмалих доз поверхнево-активних речовин;

– визначити особливості впливу навколишнього середовища на бетони, отримані із застосуванням надмалих доз поверхнево-активних речовин.

1. Особливості роботи бетону під дією короткочасних навантажень

Однією з особливостей властивостей бетонів, призначених для ремонту або виготовлення будівельних конструкцій, є їх певна, обумовлена нормами, деформативність.

Тому, в даній групі досліджень вивчені величини початкового модуля пружності, граничної стисливості і власної усадки бетону, отриманого на основі дисперсної системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною або сумішшю поверхнево-активних речовин» в залежності від співвідношення її компонентів, при випробуванні зразків стандартними методами.

В умовах проведення експерименту активна мінеральна добавка (АМД) – відходи збагачення залізних руд сприяє значному зменшенню деформацій бетону, який досліджується, під навантаженням (рис. 1 .. 3) і підвищує величину його початкового модуля пружності (табл. 1 та рис. 4).

Початковий модуль пружності бетону, отриманого в результаті гідrataції дисперсної системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною»

Водоцементне відношення	Концентрація поверхнево-активної речовини у воді,%	Початковий модуль пружності бетону, ГПа, при вмісті активної мінеральної добавки,%					
		0	10	20	30	60	80
0,3	0	10,2	11,4	11,1	9,3	9,8	10,0
те саме	0,0004	10,9	12,0	12,6	12,2	11,5	11,1
те саме	0,0006	11,0	12,1	12,8	12,2	11,4	11,0
0,4	0	9,6	9,7	9,6	6,4	9,2	8,0
те саме	0,0004	10,3	10,6	10,8	10,4	10,1	9,4
те саме	0,0006	10,2	10,7	10,9	10,4	10,0	9,5
0,5	0	9,0	10,1	11,0	10,0	10,0	9,7
те саме	0,0004	9,8	10,6	11,9	11,3	10,6	10,0
те саме	0,0006	9,9	10,7	12,0	11,3	10,7	10,1

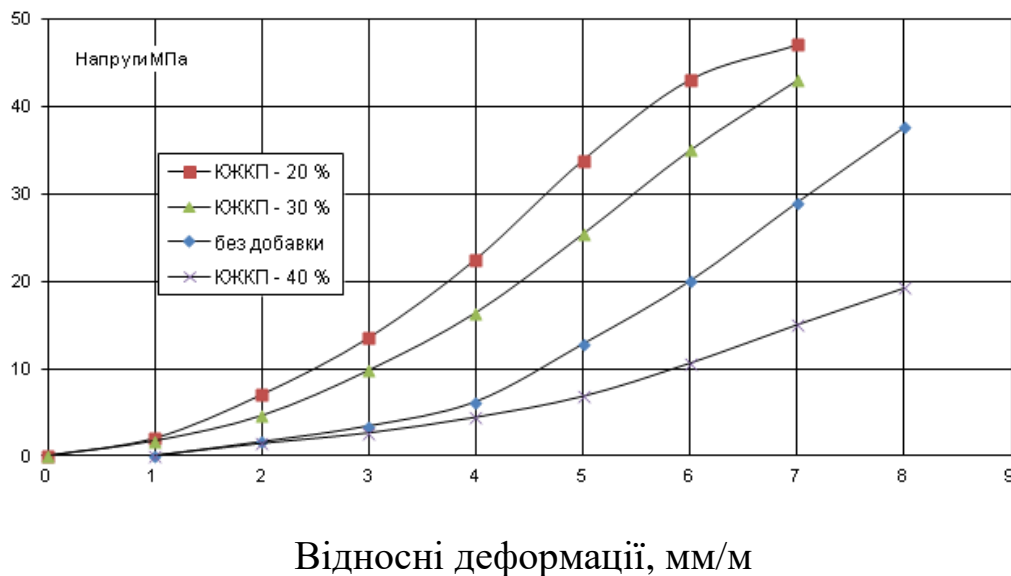


Рис. 1. Деформації під навантаженням бетону, отриманого на основі дисперсної системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною» активна мінеральна добавка: КЖКП – відходи збагачення залізних руд

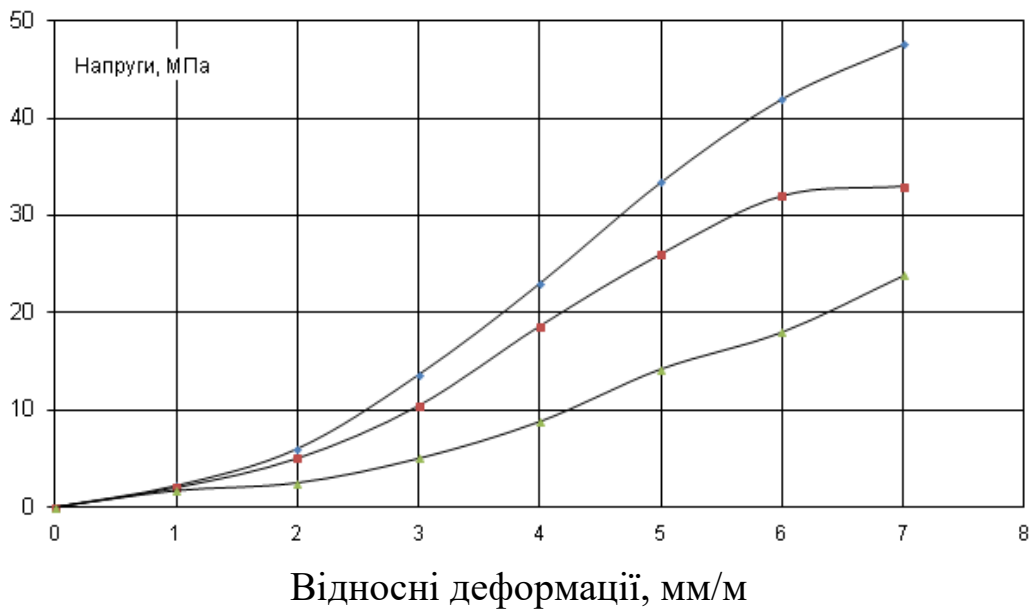


Рис. 2. Деформації під навантаженням бетону, отриманого на основі дисперсної системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною», при вмісті в ній 40% портландцементу та 60% відходів збагачення залізних руд

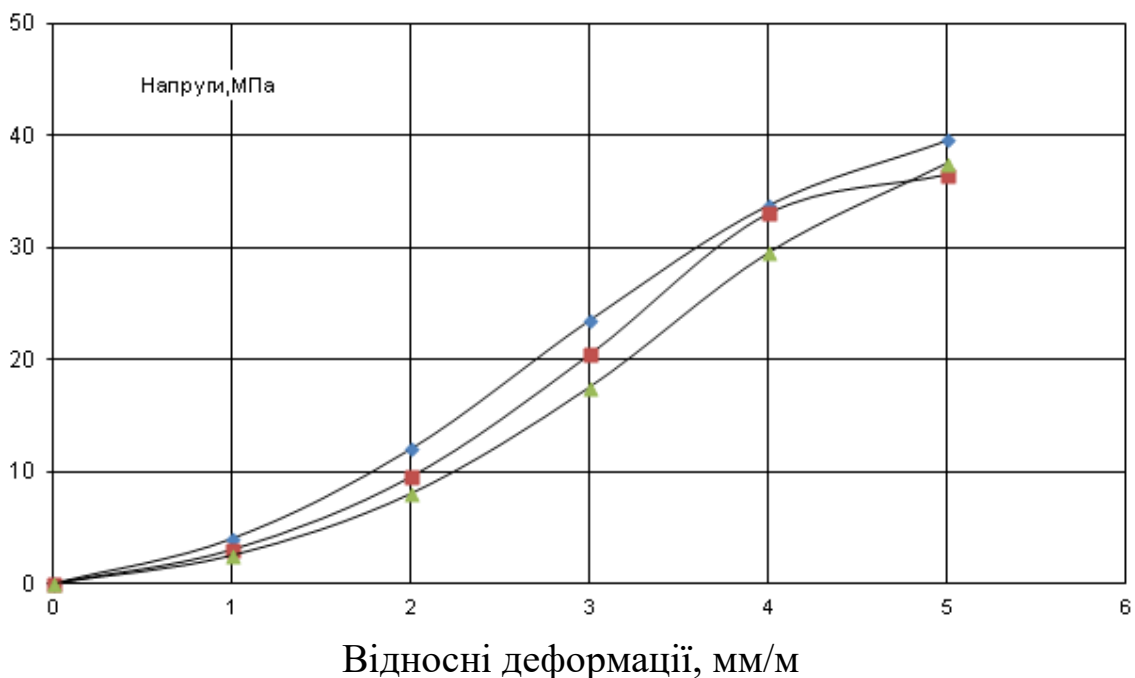


Рис. 3. Деформації під навантаженням бетону, отриманого на основі дисперсної системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною», при вмісті в ній 70% портландцементу, 30% активної мінеральної добавки

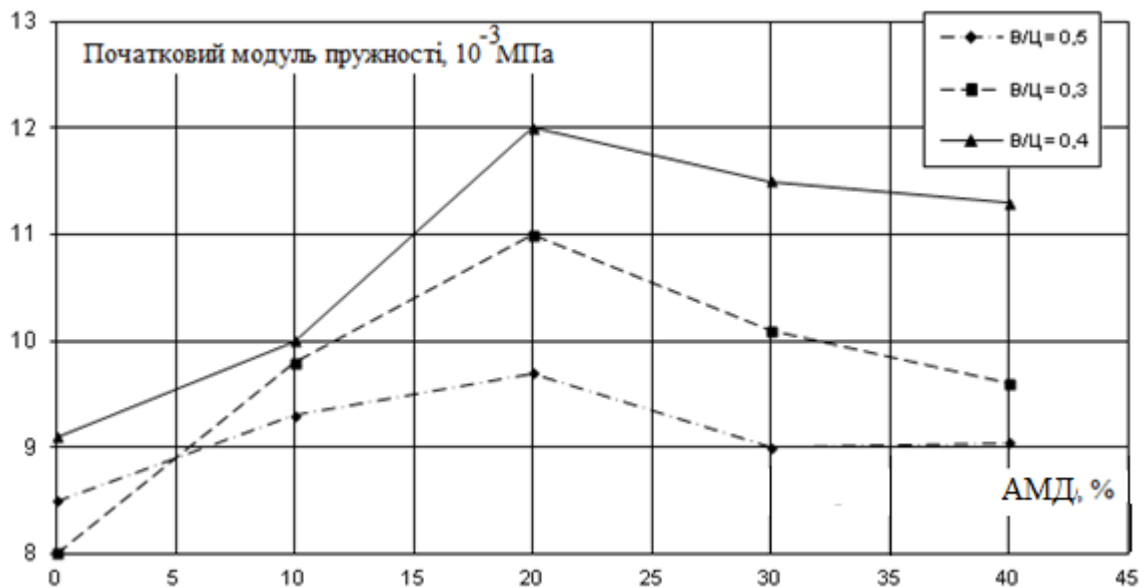


Рис. 4. Вплив вмісту активної мінеральної добавки на величину початкового модуля пружності бетону, отриманого на основі дисперсної системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною або сумішшю поверхнево-активних речовин» при концентрації поверхнево-активної речовини у воді 0,0008% (АМД – активна мінеральна добавка)

При цьому характер залежності величини початкового модуля пружності отриманого бетону від його складу, при малих утриманнях АМД, аналогічний залежності величини міцності цього матеріалу від його складу. Зі збільшенням вмісту в системі АМД понад 20% від маси її дисперсної частини, величина початкового модуля пружності одержуваного бетону практично не змінюється. Максимальне підвищення величини початкового модуля пружності бетону відбувається, при введенні до складу дисперсної системи АМД більше 39%.

Особливості роботи дрібнозернистого бетону під дією короткочасних навантажень визначались в залежності від його складу. В процесі виконаних експериментів встановлено, що введення в досліджувану систему «портландцемент – АМД – заповнювач – вода» води, структурованої поверхнево-активною речовиною, призводить до зміни величини деформацій бетону при дії стискаючих напруг (рис. 5, 6, 7).

Вид отриманої діаграми «напруги – деформації» повністю відповідає виду аналогічних діаграм для дрібнозернистих бетонів, отриманих іншими авторами^{18,19,20} (рис. 8, 9, 10).

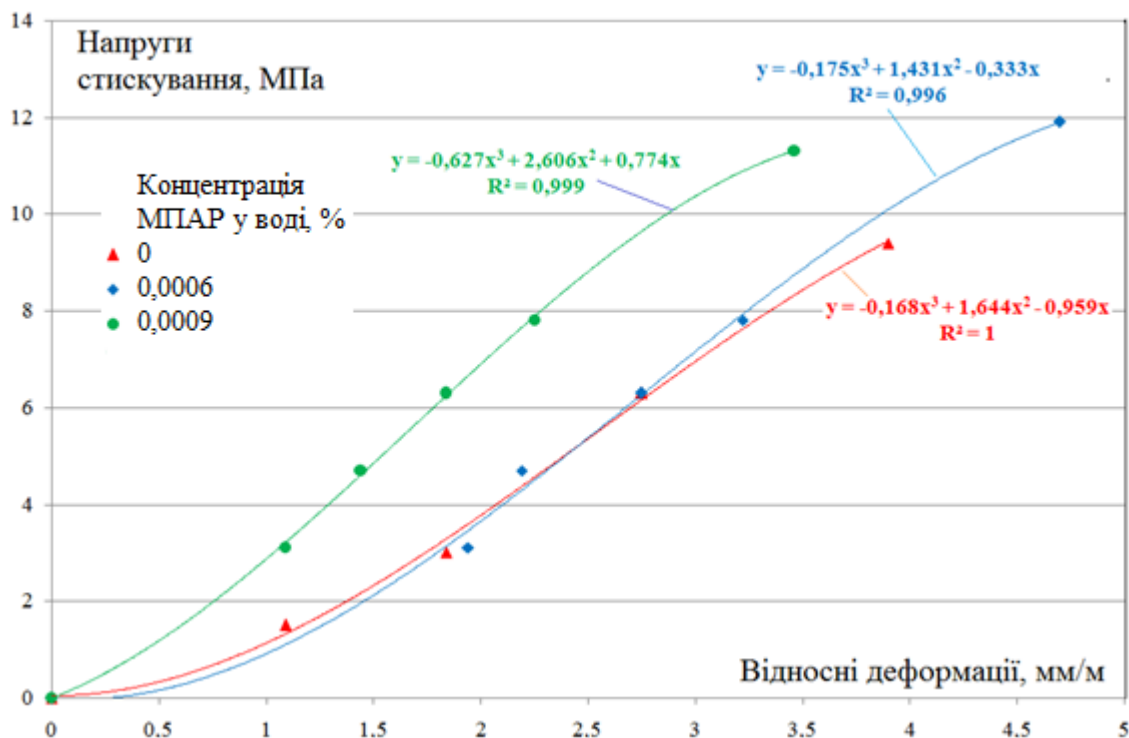


Рис. 5. Діаграма «напруги – деформації» дрібнозернистого бетону класу С8/10

У загальному випадку, на перших етапах навантаження, при незначній їх величині в дрібнозернистому бетоні виникають деформації досить значної величини. Напружено-деформований стан бетону характеризується досить низьким модулем деформацій.

При подальшому збільшенні навантаження приріст деформацій з ростом напруг різко зменшується.

¹⁸ Селяев В.П. Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии. *Вестник ПНИПУ. Механика*. 2016. № 1. С. 129–146.

¹⁹ Ахмеднабиев Р. М. Калиман А.М., Кравчук Н.Ю. Влияние различных волокон на свойства фибробетонов : Матер. XXII междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2013. С. 34-45.

²⁰ Мкртчян А.М. Аксенов В.Н. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов. *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 3. С. 17–24.

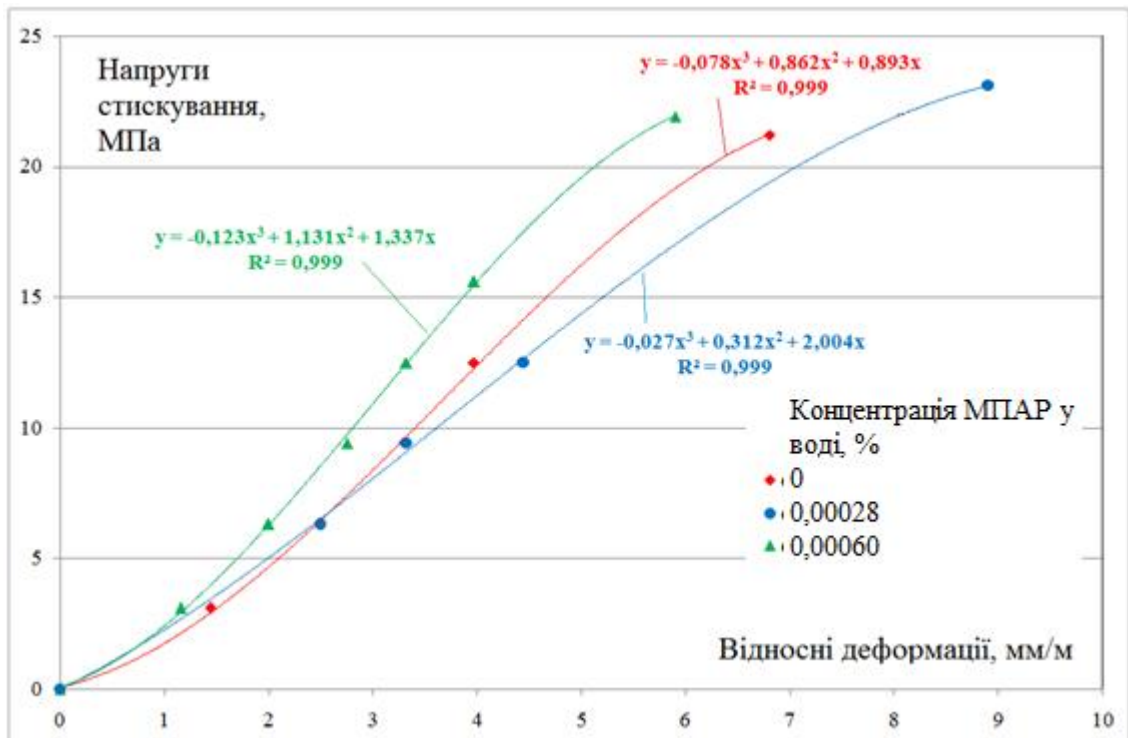


Рис. 6. Діаграма «напруги – деформації» дрібнозернистого бетону класу С16/20

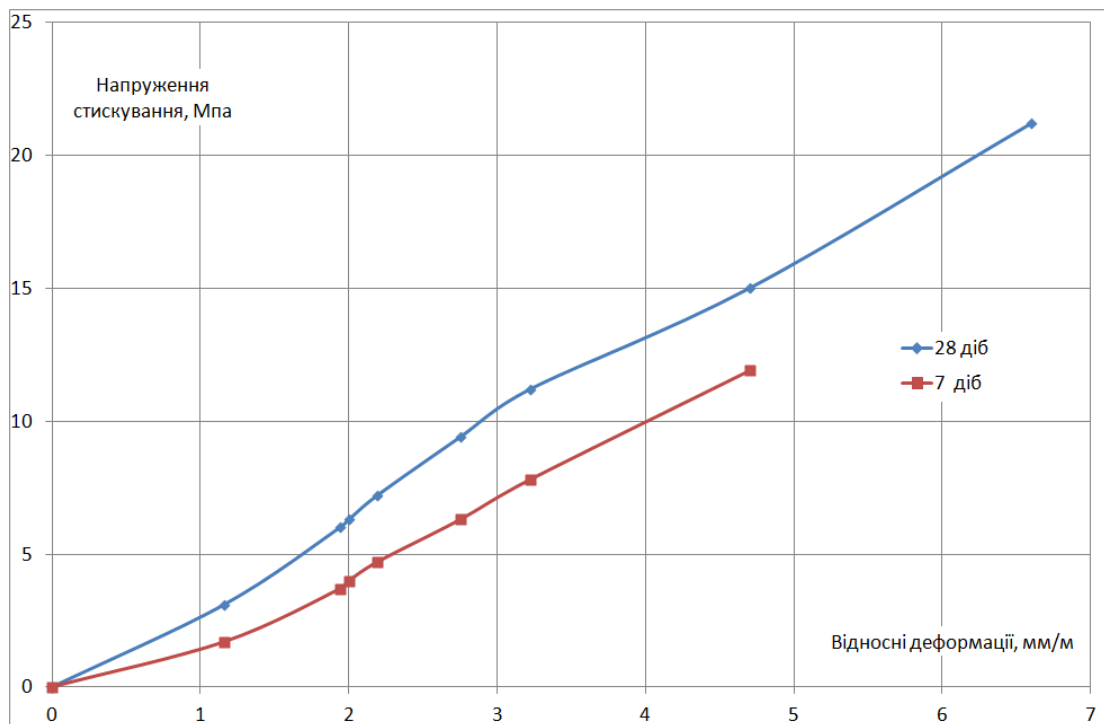


Рис. 7. Діаграма «напруги – деформації» дрібнозернистого бетону класу С16/20 у різному віці

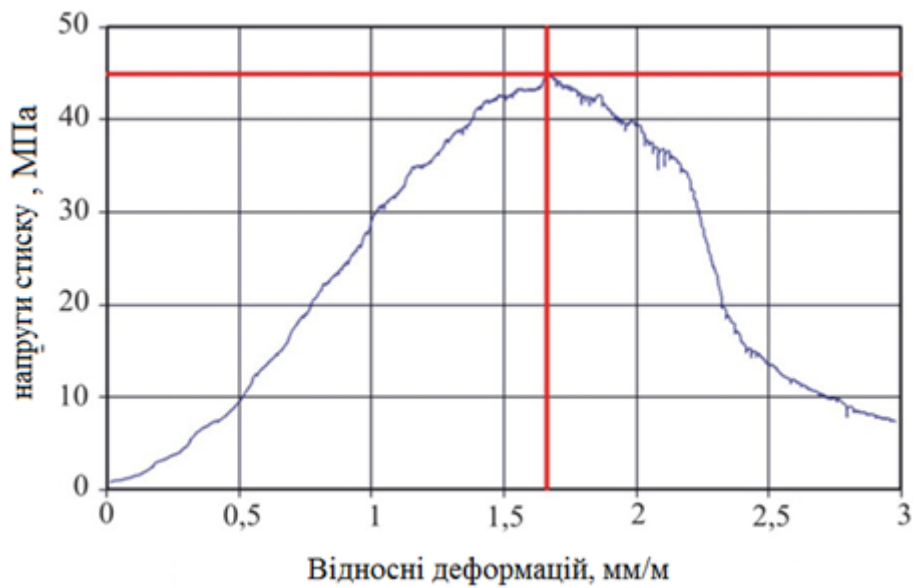
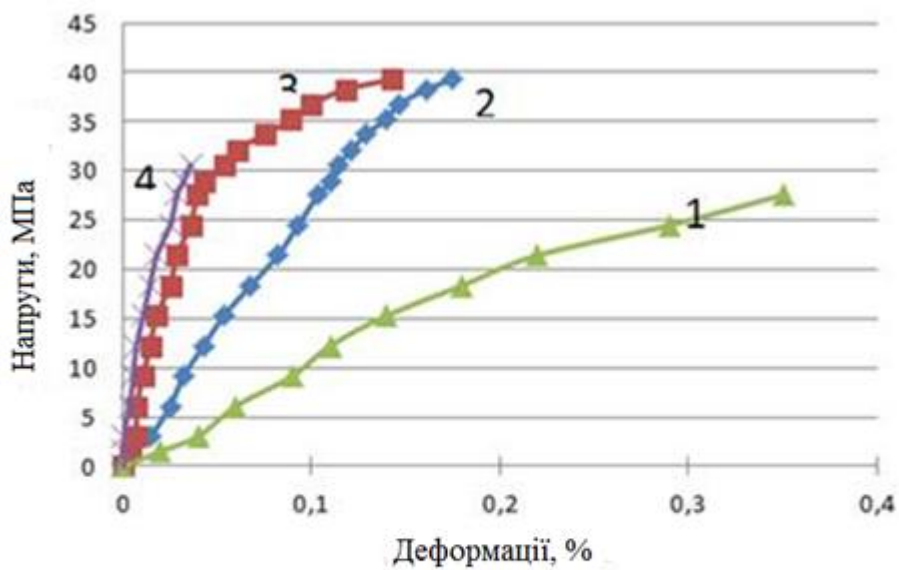


Рис. 8. Зв'язок між напругами стиску та деформаціями (за даними)



Зв'язок "напруги - деформації" бетонів наповнених: 1 - поліпропіленовим волокном; 2 - без волокон; 3 - поліпропіленове моно-волокно; 4 - сталева фібра

Рис. 9. Зв'язок між напругами стиску та деформаціями за даними

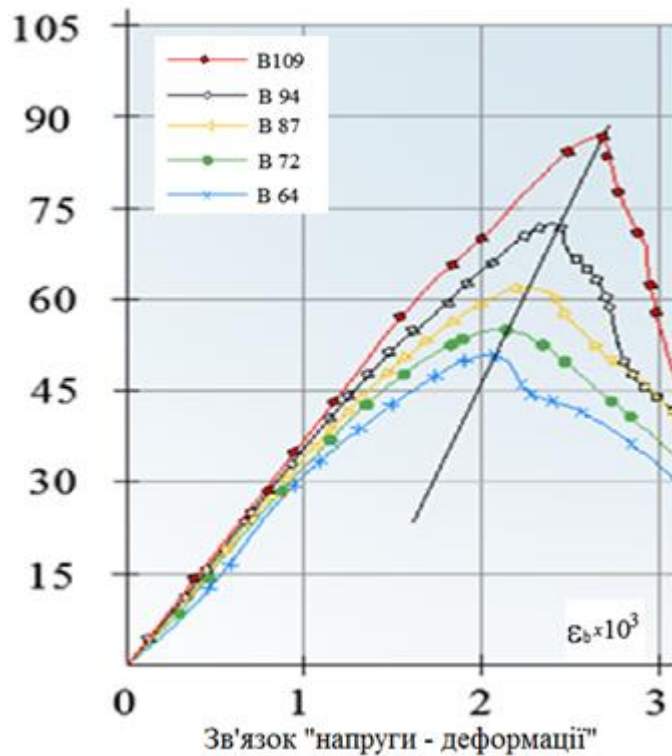


Рис. 10. Зв'язок між напругами стиску та деформаціями за даними

Як показав аналіз отриманих результатів, взаємозв'язок між напруженнями і деформаціями при стисненні дрібнозернистого бетону досить надійно описується поліномом третього ступеня.

Застосування води, структурованої колоїдною поверхнево-активною речовиною (МПАР), для виготовлення дрібнозернистого бетону призводить до зміни взаємозв'язку «напруги – деформації» без зміни його характеру: інтенсивність росту деформацій з ростом напруг стиснення знижується.

Тобто із збільшенням вмісту МПАР в рідкій фазі дрібнозернистого бетону його деформативність знижується, а саме, при одній і тій же величині напруг стиску, величина деформацій бетону має менші значення.

Слід зазначити, що характер впливу води, структурованої МПАР, на взаємозв'язок «напруги – деформації» подібний до зміни аналогічного взаємозв'язку при зміні міцності високоміцного бетону (рис. 10), або при зміні виду мікрволокон в фібробетони (рис. 9).

У всіх досліджених межах вмісту води, структурованої МПАР, деформативність бетону не перевищувала деформативність дрібнозернистого бетону аналогічного складу без добавок.

Проведеними дослідженнями доведено можливість управління деформативними властивостями дрібнозернистого бетону, при готування з бетонних сумішей без щебеню з тонкими фракціями реакційно-активних порошків гірських порід, за рахунок застосування води, структурованої МПАР, в якості каталізатора реакцій твердіння.

Для розрахунків залізобетонних конструкцій застосовується міцність бетону при стиску, яка визначається випробуванням зразків-призм, так звана «призмova міцність».

Результати проведених досліджень призмової міцності показали, що склад дрібнозернистого бетону впливає на швидкість її формування та величину дещо по іншому, ніж на кубикову міцність (рис. 11, 12).

Тобто збільшення кількості заповнювача в бетоні призводить до збільшення відносної величини його призмової міцності при збільшенні вмісту МПАР у воді.

Загальна зміна призмової міцності в часі наведена на рис. 13-15.

Вода, структурована МПАР, впливає на величину $f_{ck.cube}$ і призмової міцності, граничних напружень стиску і співвідношення між величиною $f_{ck.cube}$ і призмовою міцністю: в межах проведеного експерименту, зі збільшенням вмісту МПАР у воді, призматична міцність бетону збільшується, крім цього збільшується і відношення призмової міцності до $f_{ck.cube}$ (рис. 16-18).

Як показав аналіз отриманих результатів, взаємозв'язок між напруженнями і деформаціями при стисненні дрібнозернистого бетону досить надійно описуються поліномом третього ступеня.

Застосування води, структурованої колоїдною поверхнево-активною речовиною (МПАР), для виготовлення дрібнозернистого бетону призводить до зміни взаємозв'язку «напруги – деформації» без зміни його характеру: інтенсивність росту деформацій з ростом напруг стиснення знижується.

Робота ніздрюватого дрібнозернистого бетону під дією короткочасних навантажень є одним з основних показників його якості. З урахуванням мети і завдань роботи найбільш важливою деформативною властивістю бетону є його початковий модуль пружності.

У даній групі експериментів досліджувалася залежність величини початкового модуля пружності бетону від його складу й наявності води, структурованої МПАР.

В умовах експерименту величина початкового модуля пружності бетону залежить від величини його густини (табл. 2). Зі збільшенням щільності бетону величина початкового модуля пружності зростає.

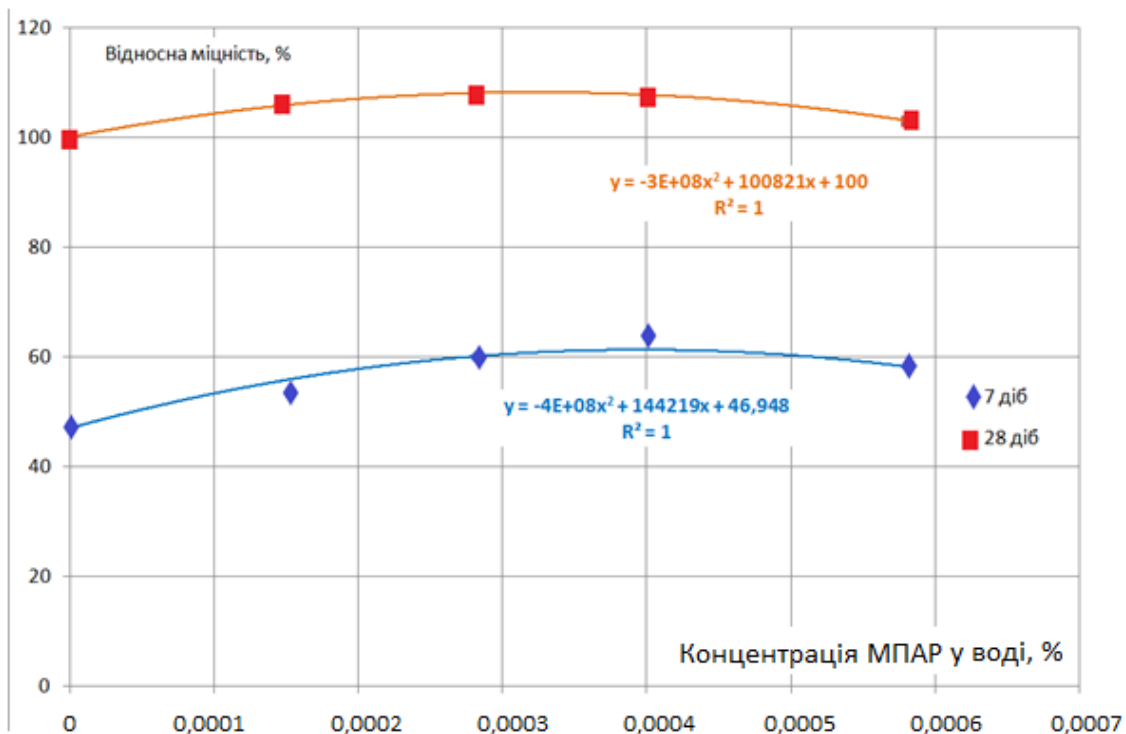


Рис. 11. Призмова міцність бетону при вмісті заповнювача в бетоні 50%

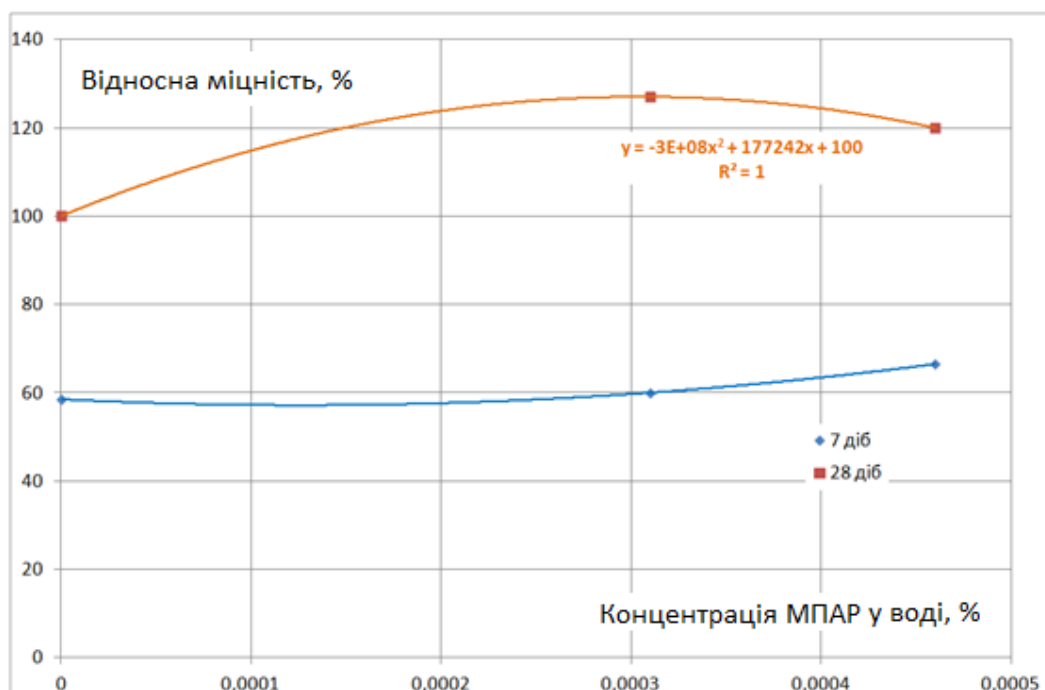


Рис. 12. Призмова міцність бетону

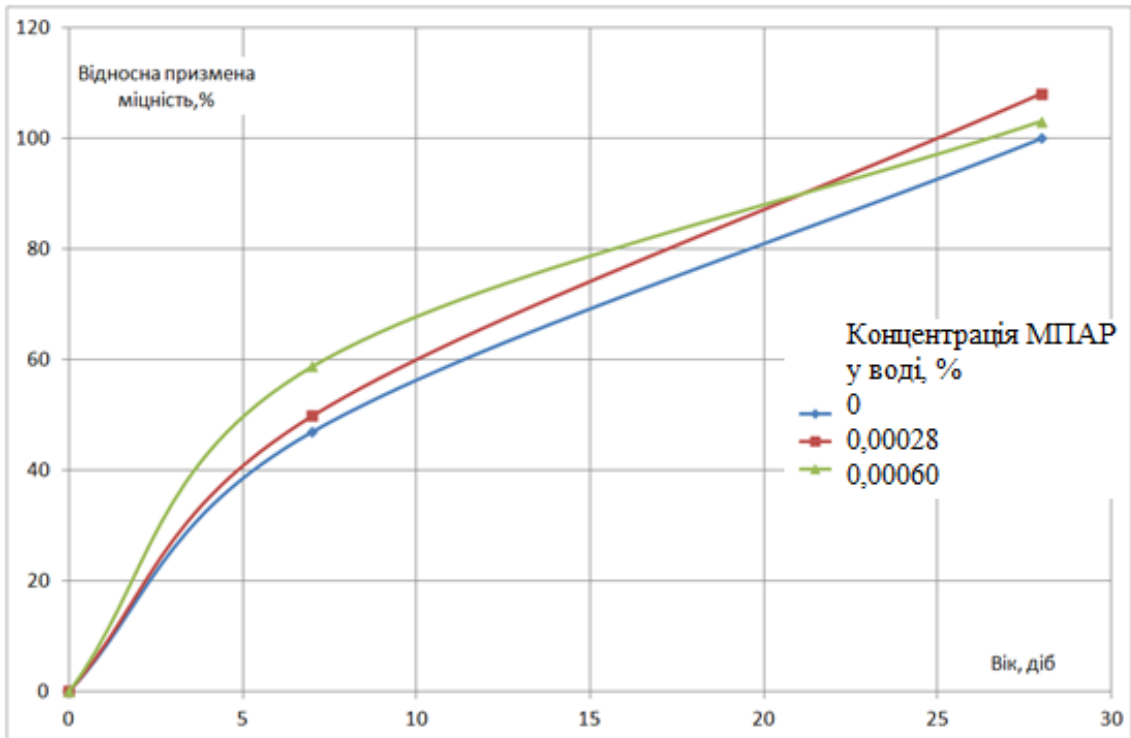


Рис. 13. Зміна величини призмної міцності в часі

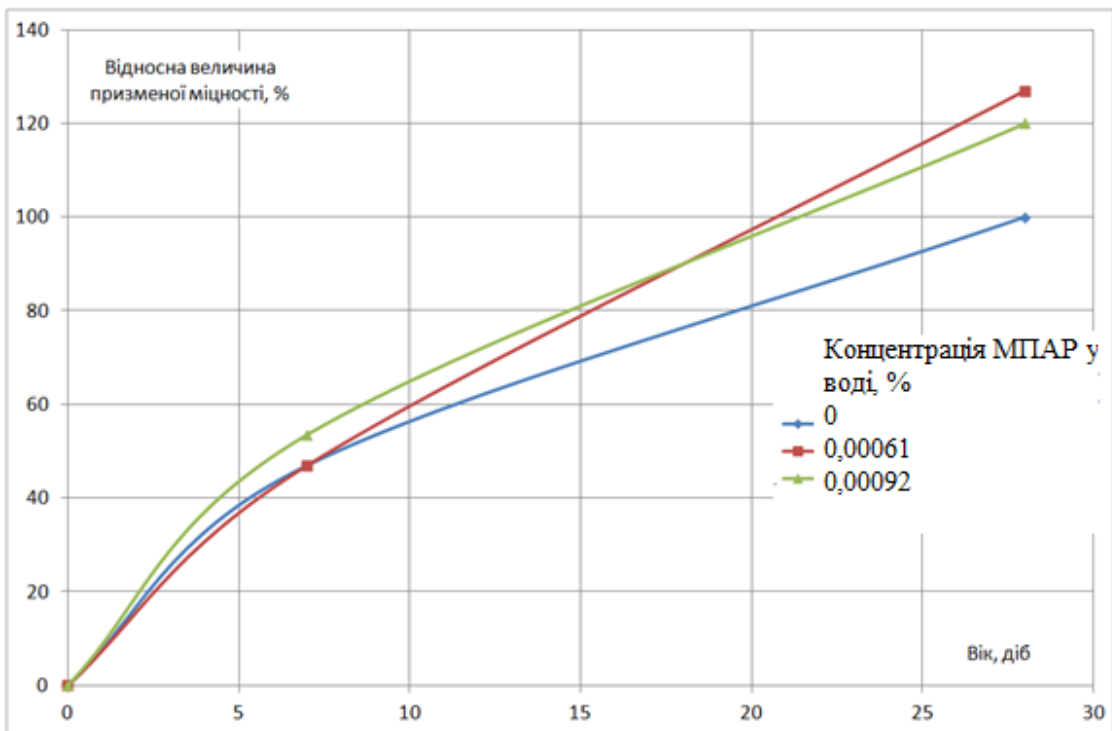


Рис. 14. Зміна величини призмної міцності в часі (вміст заповнювача 75% від маси дисперсної частини системи)

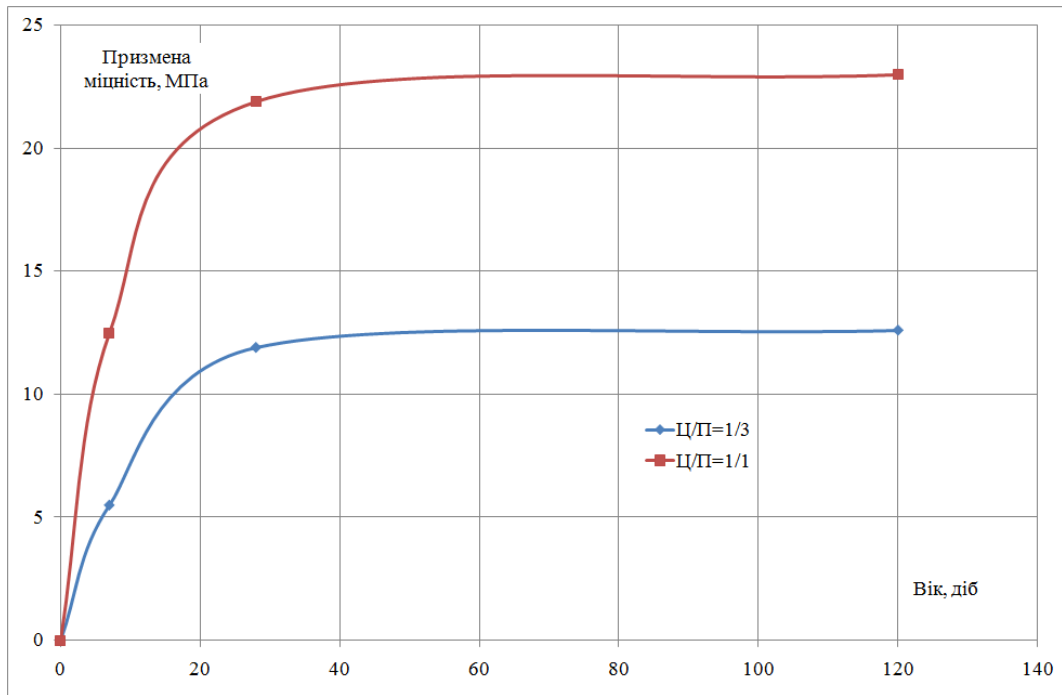


Рис. 15. Зміна призмової міцності в часі (Ц – цемент, П – заповнювач)

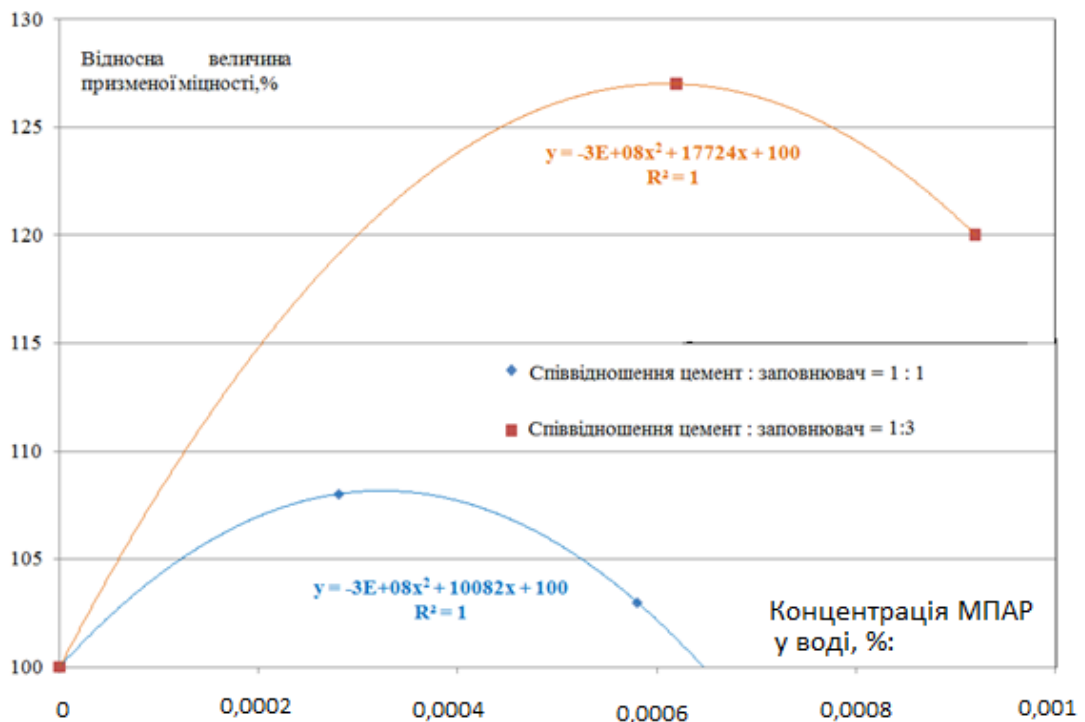


Рис. 16. Відносна величина призмової міцності бетону (28 діб)

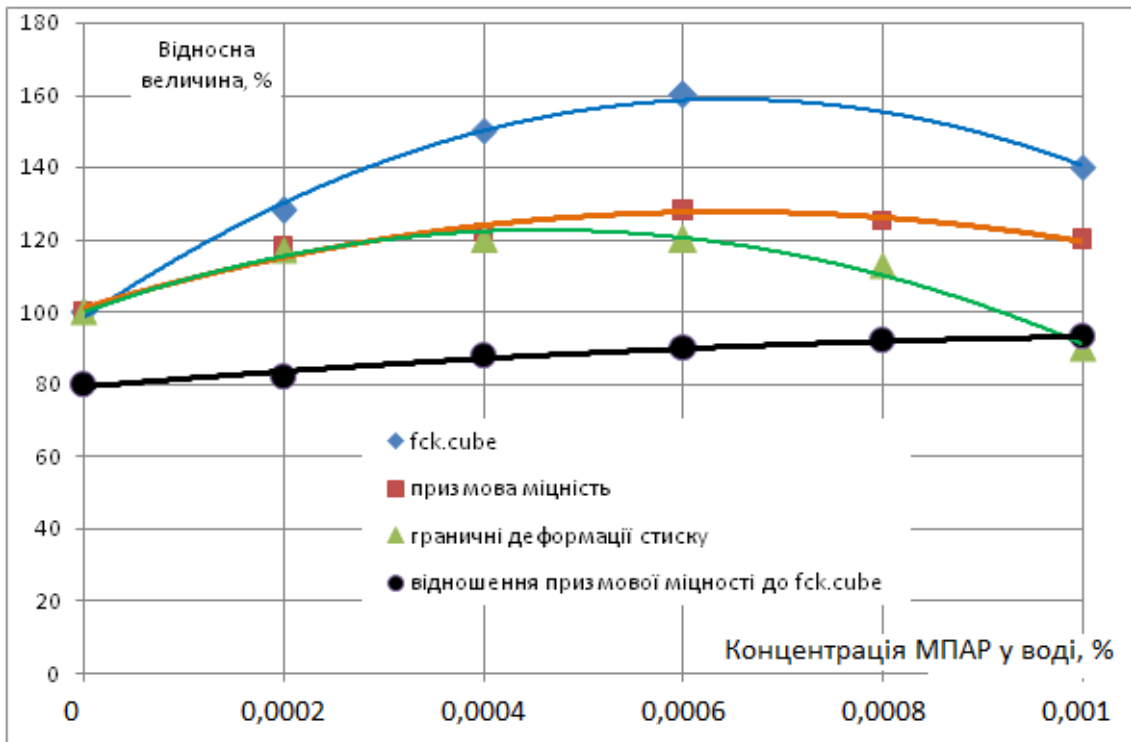


Рис. 17. Вплив води, структурованої МПАР, в бетоні на $f_{ck.cube}$; призмovu міцність; граничні деформації стиску та відношення призмovoї міцності до $f_{ck.cube}$

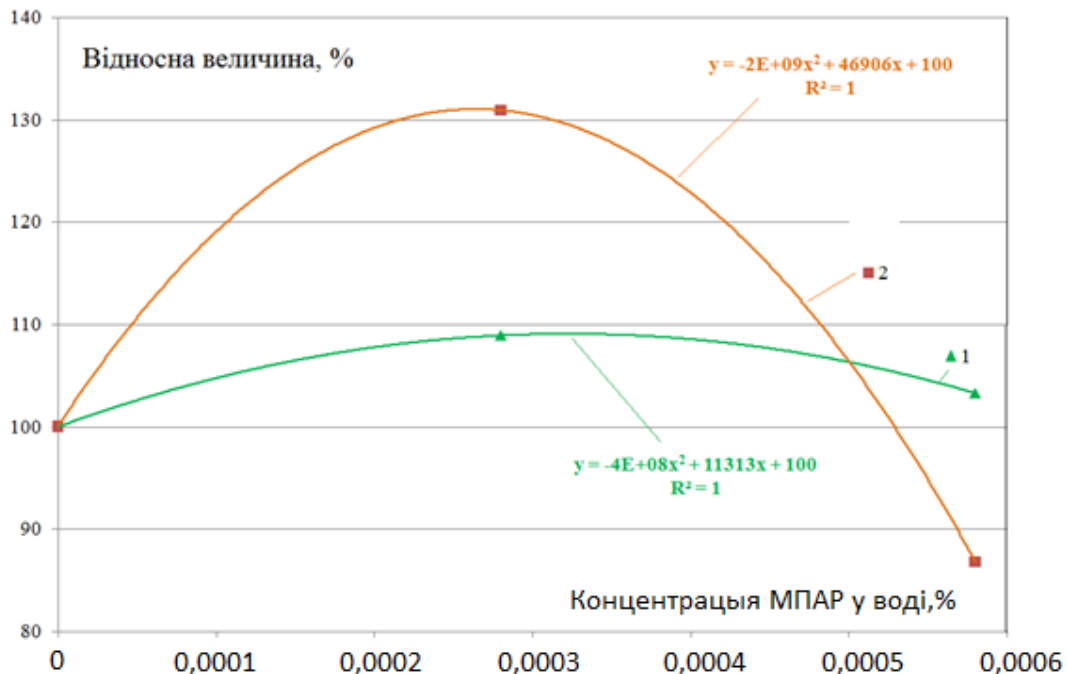


Рис. 18. Вплив води, структурованої МПАР, в бетоні на 1 – призмovu міцність; 2 – граничні деформації стискування

Початковий модуль пружності бетону

Вид бетону	Густина бетону, кг/м ³	Початковий модуль пружності, МПа
без добавки	610	1800
	750	2200
	890	4040
	1050	7800
З водою, структурованою МПАР	640	2120
	770	3320
	1010	7930
	1220	9100

Отже, використання води, структурованої МПАР, не змінює взаємозв'язку деформативності бетону під навантаженням з його міцністю.

Однак величина початкового модуля пружності такого бетону, за інших рівних умов, трохи вище, ніж у бетонів, які виготовлені із застосуванням води, активованої поверхнево-активною речовиною. Це можна пояснити розходженнями в поровій структурі даних бетонів, так як застосування води, активованої поверхнево-активною речовиною приводить до зменшення кількості відкритих пор (рис. 19).

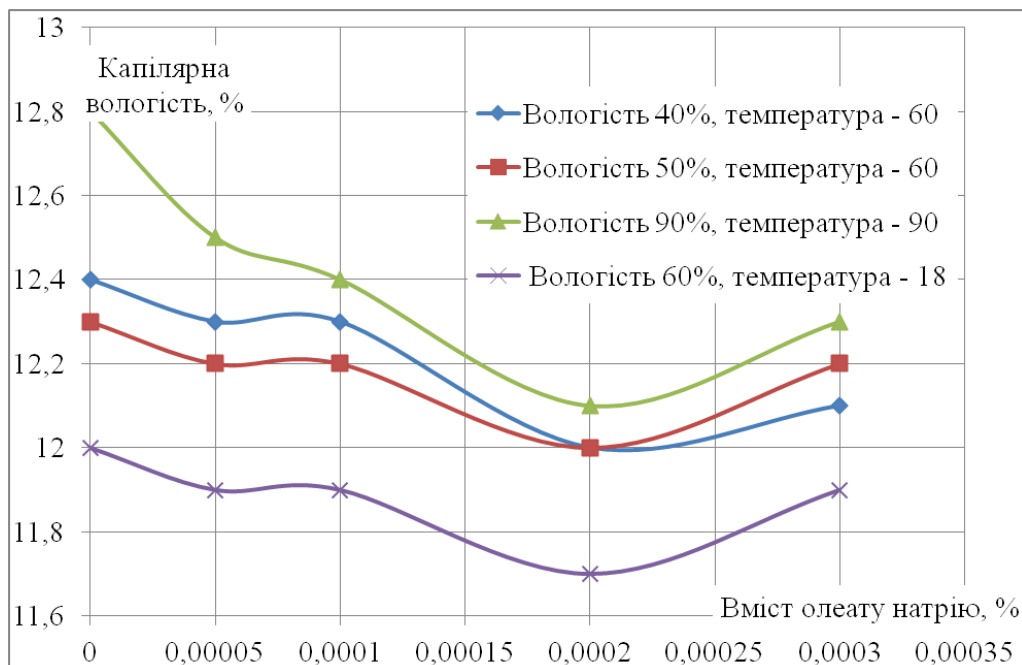


Рис. 19. Вплив умов твердіння на величину капілярної пористості бетону, який містить поверхнево-активні речовини в надмалих дозах

2. Особливості дії навколишнього середовища на бетон

Стійкість бетону до дії негативних температур є його властивістю, що забезпечує йому довговічність. У даній групі експериментів досліджений вплив негативних температур на міцність бетону, як композиційного матеріалу, отриманого в результаті твердіння системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною», в залежності від її складу і вмісту води, структурованої поверхнево-активною речовиною.

В умовах проведення експерименту наявність в системі води, структурованої поверхнево-активною речовиною, призводить до зменшення впливу негативних температур на міцність бетону на 20...30% (табл. 3), що може бути пояснено зниженням його проникності.

Таблиця 3

Морозостійкість бетону

Активна мінеральна добавка, %	ВЦ	Концентрація поверхнево-активної речовини у воді, %	Морозостійкість, цикли
0	0,4	-	110
20		-	135
		0,00028	145
0	0,6	-	75
20		-	95
		0,00022	100

Примітка. активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд

У наступній групі експериментів досліджено вплив дії агресивних середовищ на міцність бетону в залежності від його складу і виду агресивного середовища.

При проведенні досліджень визначалися: вплив кислоти, агресивних розчинів та чистої води в залежності від виду активної мінеральної добавки і його кількості при концентрації 0,0008% поверхнево-активної речовини у воді замішування для бетону складу 1:1,8 (цемент:заповнювач).

Визначення впливу кислоти проводилося випробуванням на вигин зразків-призм розміром 10x10x40 см., що зберігалися в водному розчині кислоти протягом 6 міс.

В умовах проведення експерименту введення в систему води, структурованої поверхнево-активною речовиною, підвищує міцність

бетону на 15 ... 20% при його твердінні в середовищі 0,01 Н розчину *HCL* (табл. 4).

Таблиця 4

**Міцність бетону, отриманого на основі системи
«портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач –
вода, структурована поверхнево-активною речовиною»
при дії 0,01н розчину *HCl***

Водоцементне відношення	Міцність бетону при згині, МПа, при вмісті АМД,%			
	0	20	30	40
0,40	10,0	8,4	7,5	6,2
0,45	9,5	8,0	7,1	5,7
0,50	8,6	7,9	7,2	5,9

Примітка. АМД – активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд.

Вплив на міцність бетону водяних розчинів сульфатів визначалася при застосуванні розчинів різного складу:

1. – питна вода (контрольний);
2. – 5% -ний розчин Na_2SO_4 ;
3. – 1% -ний розчин $MgSO_4$;
4. – 5% -ний розчин рівної суміші Na_2SO_4 і $MgSO_4$.

Після шести місяців зберігання в зазначених розчинах, бетонні зразки-балочки, які мали розмір 10х10х40 см, виготовлені з бетону складу 1:1,8 були випробувані на вигин. В умовах експерименту введення в систему води, структурованої поверхнево-активною речовиною, зменшує вплив розчинів сульфатів на бетон (табл. 5).

Визначення впливу дистильованої води на міцність бетону, отриманого на основі системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною», здійснювали випробуванням на вигин зразків-балочок розміром 10х10х40 см, приготованих з бетону складу 1:1,8 на портландцементі, після їх зберігання протягом 6 міс. в проточній дистильованій воді. Результати дослідів показали (табл. 6), що даний бетон володіє досить високою стійкістю до корозії 1-го виду.

Таким чином, проведені дослідження показали, що досліджені впливи зовнішнього середовища менше впливають на міцність бетону, отриманого на основі системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована поверхнево-активною речовиною» в порівнянні з бетоном, отриманому на портландцементі без добавок.

Таблиця 5

**Відносна міцність бетону, отриманого на основі системи
«портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач –
вода, структурована поверхнево-активною речовиною»,
при дії агресивних середовищ**

Водоцементне відношення	Коефіцієнт стійкості бетону, при вмісті АМД, %, для середовищ											
	0			20			30			40		
	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
0,40	0,99	1,2	1,1	0,96	1,08	0,9	0,94	1,05	0,9	0,99	1,0	0,9
0,45	0,92	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	0,91	1,02	0,98	0,92	1,0	0,9
0,50	0,90	0,9	0,8	0,88	1,0	0,9	0,90	0,97	0,95	0,97	1,0	0,9

Примітка. АМД – активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд.

Таблиця 6

**Стійкість бетону, отриманого на основі системи
«портландцемент – АМД – заповнювач – вода, структурована
поверхнево-активною речовиною» до вилугування**

Склад дисперсної частини системи, %		Міцність бетону при згині, МПа, у віці, міс.		
ПЦ	АМД			
		0,033	3	6
100	0	8,0	7,8	7,1
90	10	9,0	9,0	7,3
80	20	10,6	9,7	8,8
60	40	8,9	7,8	6,6

Примітки: 1. АМД – активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд, ПЦ – портландцемент; 2. Концентрація поверхнево-активної речовини у воді – 0,0008%.

Для ніздрюватих бетонів експлуатаційними властивостями є: стійкість до енергетичних впливів навколишнього середовища (теплопровідність, теплостійкість і морозостійкість), а також, з урахуванням того, що він є високопористим матеріалом, стійкість до перемінного зволоження. Ці властивості бетону визначають його здатність до нормальної експлуатації протягом певного часу.

Стійкість бетону до дії позитивних температур є однією з найважливіших його властивостей, що забезпечують захист будівельних конструкцій від теплового впливу.

У даній групі експериментів змінними параметрами були прийняті величина енергетичного впливу навколишнього середовища, що характеризується температурою, тривалість цього впливу, а також час початку енергетичного впливу.

Контрольованим параметром була прийнята міцність бетону. В експериментах температура навколишнього середовища була обмежена температурами, до яких звичайно нагріваються будівельні конструкції. Величина температури, до якої нагрівався бетон, становила 473К.

У даній групі досліджень вивчалася теплопровідність бетону залежно від його щільності, як показника пористості. В умовах експерименту збільшення пористості бетону (зниження його щільності) приводить до зменшення його теплопровідності (табл. 7).

Крім цього, теплопровідність бетону, що містить воду, структуровану поверхнево-активною речовиною, декілька нижче теплопровідності бетону аналогічної щільності, поризованого без цієї добавки. Що також можна пояснити розходженнями в поровій структурі бетонів.

Таблиця 7

Теплопровідність бетону

Вид бетону	Густина бетону, кг/м ³	Теплопровідність бетону, ккал/м·град·год.
без добавки	712	0,18
	858	0,21
	106	0,24
	1110	0,36
з добавкою води, структурованої поверхнево-активною речовиною	730	0,12
	820	0,14
	1150	0,17
	1280	0,20

Термостійкість бетону – його здатність зберігати свої фізико-механічні властивості в умовах енергетичного впливу навколишнього середовища, одна з основних його властивостей.

В умовах експерименту зменшення часу від моменту готування бетону до початку його нагрівання (рис. 20), а також збільшення швидкості нагрівання бетону (рис. 21) приводить до зниження міцності бетону. Однак зниження міцності в бетону, що містить воду, структуровану МПАР, значно менше, ніж у бетонів, поризованих без цієї добавки, або легких бетонів на пористих заповнювачах.

Це пояснюється тим, що поверхнево-активна речовина змінює стан води в даній системі. Крім цього, наявність у даній системі активної мінеральної добавки та заповнювача знижує її усадочні деформації. Це знижує температурні деформації цементного каменю у бетоні, зменшуючи деструктивні процеси при формуванні його структури, а

товщина прошарків цементного каменю забезпечує достатню їхню тріщиностійкість при нагріванні.

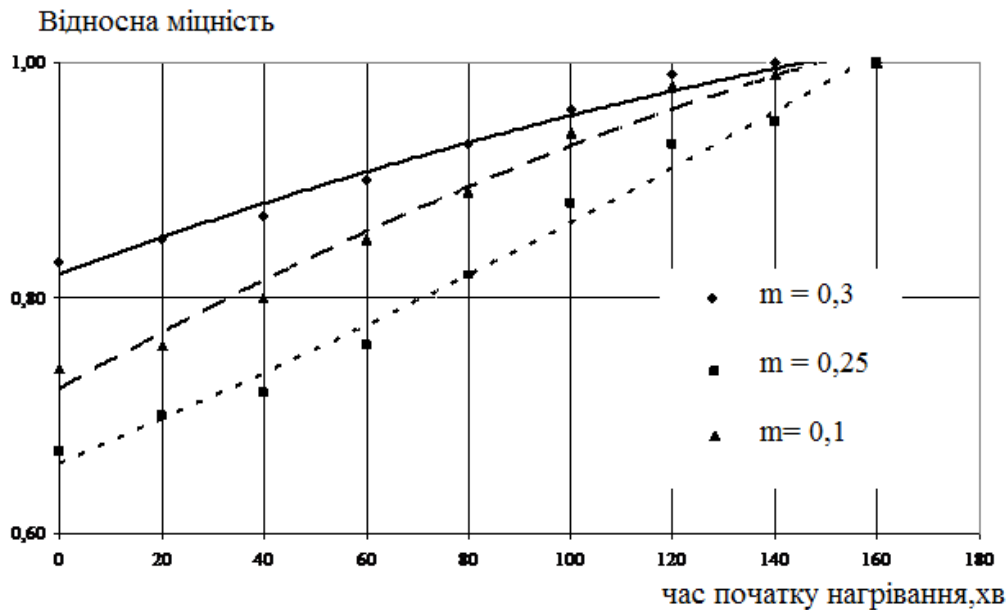


Рис. 20. Вплив часу до початку нагрівання бетону на його міцність (початкова температура $(291\pm 2)K$, кінцева – $(473\pm 2)K$, m – відносний вміст цементного каменю в бетоні)

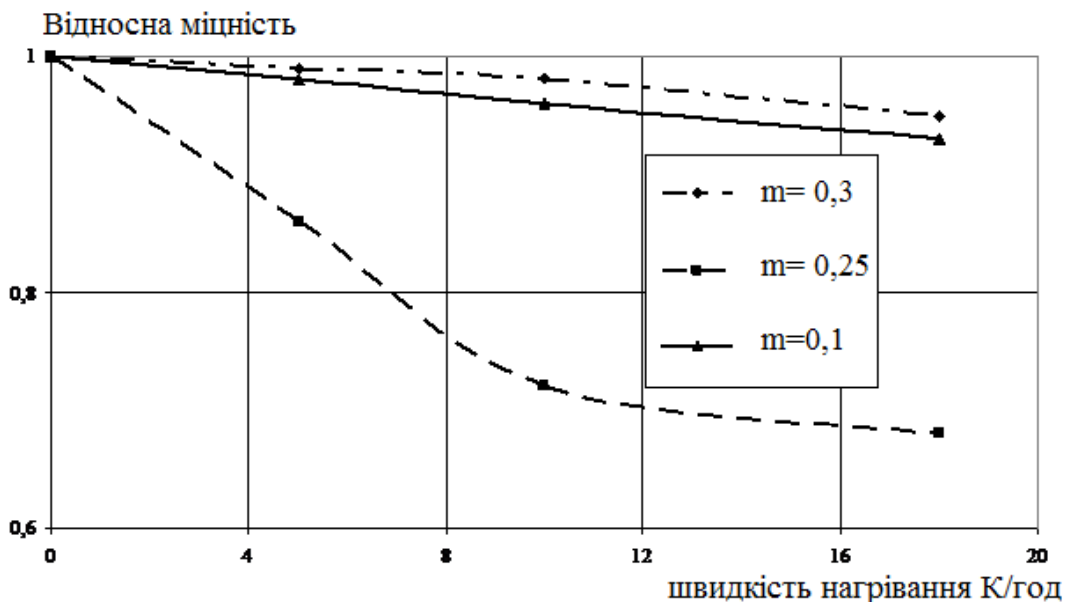


Рис. 21. Вплив швидкості нагрівання бетонної суміші до температури $(473\pm 2)K$ на міцність бетону, m – концентрація цементного каменю в бетоні)

Збільшення товщини прошарків цементного каменю понад певну величину приводить до збільшення загальних усадочних деформацій бетону, а зменшення – до зменшенню тріщиностійкості цементного каменю.

У наступній групі експериментів досліджували залежність міцності бетону від тривалості нагрівання й кількості нагрівань. Температура, до якої нагрівали зразки, становила 373, 473 і 573К.

За граничне значення кількостей нагрівань бетону, за аналогією з методикою визначення морозостійкості бетону була прийнята така їхня кількість, при якій бетон втрачав міцність на 15%.

В умовах експерименту збільшення тривалості нагрівання бетону й кількості нагрівань приводить до зниження його міцності (рис. 22).

Отже, знаючи середньостатистичну величину температури нагрівання виробу і її тривалість, можна визначити яку кількість теплових впливів витримає бетон, а, отже – термін служби бетонного виробу.

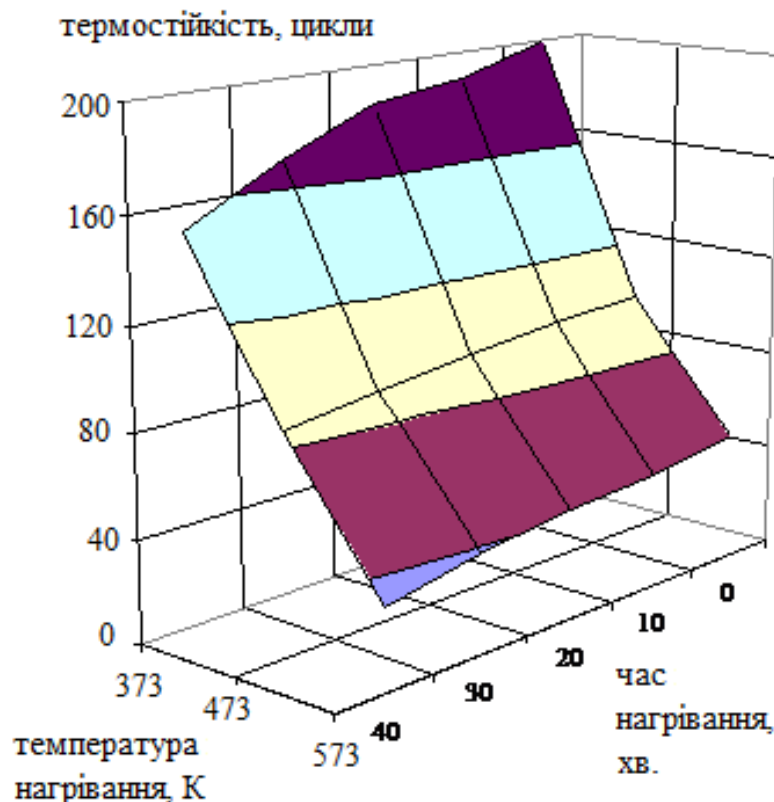


Рис. 22. Термостійкість бетонів складу 1:0,28 (Ц:Зап.)

Морозостійкість бетону визначалася залежно від вмісту в ньому води, структурованої поверхнево-активною речовиною, й температурного режиму твердіння при постійному його складі.

В умовах експерименту введення до складу ніздрюватого бетону води, структурованої поверхнево-активною речовиною, приводить до збільшення його морозостійкості (табл. 8). При цьому оптимальна за морозостійкістю бетону концентрація поверхнево-активної речовини у воді становить 0,0012%.

Таким чином, введення до складу бетону води, структурованої поверхнево-активною речовиною, приводить до підвищення його морозостійкості. При цьому знижується вплив позитивних температур на формуванні цих властивостей бетону за рахунок модифікації його пористої структури шляхом підвищення ступеня зв'язування води й утворення аквакомплексних сполук.

Таблиця 8

Морозостійкість бетону

Вміст цементного каменю в бетоні – <i>m</i>	Концентрація поверхнево-активною речовиною у воді, %	Морозостійкість бетону, цикли
0,3	0	25
те саме	0,0004	30
те саме	0,0010	35
0,35	0	10
те саме	0,0004	10
те саме	0,0010	25
0,4	0	15
те саме	0,0004	12
те саме	0,0010	20

Примітка. Водоцементне відношення 0,5.

Отримані результати можна пояснити впливом на структуру води поверхнево-активних речовин, введених в надмалих концентраціях.

Так вода має декілька так званих параметричних точок – температур, за якими відбувається зміна властивостей води. Найбільш цікавою є параметрична точка, яка відповідає 300 303 К. При температурі 277 К у воді виникає так звана, кварцова (кристалітна) структура води, яка зберігається до 373 К, поступово поступаючись безладному руху неорієнтованих молекул води. Тобто, на всьому інтервалі температур вище 277 К структура води не є однорідною і поряд із мікрооб'ємами води, що мають кристалітну будову, у її складі містяться мікрооб'єми які можна назвати аморфизованими.

При зміні температури від 288 до 303 К частина кристалітна компонента води переходить в крапельки рідини, що виникають з неї (F-компонента), які завдяки цьому стають все більше. При 303 К це призводить до дестабілізації кристалітної компоненти, яка далі розпадається і частина її разом з крапельками рідини утворює емульсію. В проміжку між 318 К та 333 К зміна співвідношення між компонентами води стає настільки суттєвою, що кристалітна компонента стає дисперсною фазою, а F-компонента – дисперсним середовищем. При температурі між параметричними точками 303 К і 373 К вода має кварцову кристалітно-аморфізовану структуру, що й відбивається на спроможності надмалих доз поверхнево-активних речовин змінювати структуру води.

Взаємодія розчинених речовин з водою, яка називається гідратацією, являє собою складний процес, особливо якщо розчиняються органічні сполуки. У молекулах деяких з них містяться полярні групи, здатні до утворення водневих зв'язків з молекулами води, і неполярною вуглеводневою частиною, між якою та водою проявляється тільки дисперсійна взаємодія. У зв'язку із цим прийнято ділити гідратацію на гідрофільну (взаємодія води з полярними групами) і гідрофобну (взаємодія води з неполярними групами).

Гідрофільна й гідрофобна гідратації мають різний механізм. У першому випадку утворюються міцні зв'язки між молекулами води й функціональними групами розчиненої речовини. Це є основною причиною високої розчинності речовини у воді й упорядкування її структури в безпосередній близькості від молекул розчиненої речовини. Гідрофобність означає відсутність спорідненості певної речовини до води. Проте, ця речовина в невеликих кількостях проникає в ажурну структуру води, викликаючи також упорядкування й ущільнення даної структури й, як наслідок, зміцнення зв'язків між молекулами води. Слід зазначити ще одну властивість гідрофобної гідратації – зміна числа молекул води, що утворюють водневі зв'язки по сусідству із частинками розчиненої речовини. Це впливає на кислотність і основність зазначених молекул.

Зовсім інші процеси виникають у розчині під дією іншого виду гідрофобних наномодифікаторів – амфифільних речовин. У цьому випадку структура води зазнає досить істотних змін, аж до повного її руйнування й створення нової структури – структури розчину. Поява у воді іонів, на які розкладається амфифільна молекула певної речовини, приводить до двох взаємно протилежних змін структури води. Вплив поля іона порушує впорядкованість молекул, характерну

для чистої води. Це ефект упорядкування пов'язаний зі збільшенням ентропії. З іншого боку, дія поля іона орієнтує молекули води в цьому полі й приводить до впорядкованого розміщення їх навколо іона, що супроводжується зменшенням ентропії. Перевага одного із двох ефектів визначає знак зміни ентропії, що характеризує стан досліджуваної системи. Деякі іони амфифільної молекули (наприклад, іони натрію), які міцно зв'язують воду, сповільнюють обмін між найближчими молекулами води. Великі гідрофобні іони амфифільної речовини також викликають упорядкування структури води. Розчинність органічних електролітів, якими є, у першу чергу, амфифільні речовини, у значній мірі лімітується зростанням ентропії, що відбувається в структури води при їхньому розчиненні.

В даному випадку, як і при застосуванні неелектролітів, утворюються клатрати, які містять гідрофобну частину молекули амфифільної речовини, навколо якої в клатраті також сформується порожнина.

Гідрофільна ж частина молекули амфифільної речовини «занурюється» в водяну сітку Н-зв'язків. Навколо гідрофільної частини молекули амфифільної речовини, як і навколо її гідрофобної частини відбувається ущільнення молекул води, що призводить до підвищення міцності Н-зв'язків. Але в першому випадку це відбувається за рахунок гідрофільної гідратації, а у другому – гідрофобної. Внаслідок цього в системі утворюється макрофаза – кластери з молекул води, з'єднаних сильними водневими зв'язками. В складі кластерів формуються два види клатратів: перші містять вуглеводневий радикал амфифільної речовини, інші містять іони амфифільної речовини. Навколо клатратів обох видів відбувається концентрація молекул води і, як наслідок, підсилення Н-зв'язків. Тобто гідрофобні наномодифікатори, виступають в якості стабілізаторів процесів самоорганізації водної системи.

При супермалих концентраціях наномодифікатора, його розчин у воді являє собою «вільну» дисперсну систему, частинки дисперсної фази якої не здійснюють вплив одну на одну. При певній концентрації наномодифікатора в системі «вода – наномодифікатор» області впливу наномодифікатора зникають, утворюється суцільна фрактальна сітка структурованих Н-зв'язків, яка і забезпечує специфічні властивості цієї системи. Концентрація орт наномодифікатора відповідає межі існування «вільної» дисперсної системи. При збільшенні концентрації наномодифікатора відбувається утворення об'ємів води, на які здійснюють вплив

декілька наномодифікаторів. Тобто дисперсна система «вода – наномодифікатор» переходить з «вільної» у «зв'язану» де відбуваються зовсім інші механізми впливу частинок наномодифікатора одну на одну та на воду. Необхідно особливо підкреслити, що збільшення концентрації наномодифікатора понад порогове значення призводить до зниження його сорбційної здатності, що викликане власною агрегацією активних частинок. Результатом впливу наномодифікаторів є підкислення отриманої структурованої водної системи, яке сприятливим чином позначається на процесах гідратації і формуванні структури цементного каменю.

Такі висновки можуть вважатися за доцільні з практичної точки зору, тому що дозволяють обґрунтовано підходити до визначення необхідної дози поверхнево-активних речовин. З теоретичної точки зору вони дозволяють стверджувати про визначення механізму процесів гідратації, що є певними перевагами даного дослідження. Однак неможливо не відмітити неоднозначний вплив ПАР на змінення механічної міцності бетону. Це проявляється, в першу чергу, при зміні інтервалу температур середовища, в якому твердіє бетон.

ВИСНОВКИ

1. Бетони, отримані на основі твердіння дисперсної системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована комплексною поверхнево-активною речовиною» мають особливості роботи під дією короткочасних навантажень, а саме підвищену деформативність на початкових стадіях навантаження.

2. Введення до складу бетону води, структурованої поверхнево-активною речовиною, призводить до зменшення впливу на бетон, як дії негативних температур, так і агресивних середовищ на 30...40%.

3. Введення до складу бетону води, структурованої поверхнево-активною речовиною, призводить до зменшення дії енергетичних впливів зовнішнього середовища на 20...30%.

АНОТАЦІЯ

Певні види бетонних та залізобетонних матеріалів, виробів та конструкцій, а саме будівельні розчини для оздоблення поверхонь будівельних конструкцій, дрібноштучні та тонкостінні вироби, густоармовані залізобетонні, у тому числі монолітні, будівельні конструкції, доцільно виготовляти з дрібнозернистих бетонів, які мають обмежений розмір заповнювача. Означені бетони повинні мати

певні загальні властивості. А саме достатню міцність та високу швидкість її формування, що забезпечить скорочення термінів виготовлення із таких бетонів виробів та конструкцій або скорочення термінів будівництва. Основна гіпотеза досліджень полягає в тому, що управління міцністю бетону можливе шляхом впливу на процеси його структуроутворення водою, структурованою колоїдною поверхнево-активною речовиною, що забезпечує високу швидкість формування міцності бетону та її. Показано, що властивості дрібнозернистих бетонів визначаються кількістю поверхнево-активних речовин в бетоні. Приведено дослідження впливу надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцнісні та деформативні властивості цементного бетону, що викликано відсутністю відповідних досліджень та широким застосуванням таких бетонів. Доведено, що вплив надмалих доз поверхнево-активних речовин полягає у зменшенні деформативності бетону та підвищенні його міцності при стиску. Визначено, що вплив температури, вологості та агресивності середовища, в якому відбувається твердіння бетону зменшується за рахунок впливу надмалих доз поверхнево-активних речовин. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання властивості бетонів призначених для будівництва композитних доків та інших плавучих споруд структуроутворенням води над малими дозами поверхнево-активних речовин.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, бетон, міцність при стиску, надмалі дози

ЛІТЕРАТУРА

1. Асирян А.М. Основы повышения прочности бетонов: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.23.05 Ереван, 2000. 75 с.
2. Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона (Основы теории и методологии). Ровно, 2003. 265 с.
3. Дворкин Л.И., Дворкин. О.Л. Основы бетоноведения. С.-Петербург. 000 «Строй Бетон», 2006. 692 с.
4. Коваль С.В. Оценка эффективности суперпластификаторов с применением экспериментально-статистических моделей. *Бетоны с эффективными модифицирующими добавками*. 1985. С. 93–101.
5. Shishkin A., Netesa N., Scherba V. Effect of the iron-containing filler on the strength of concrete *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №5/6 (89). P. 11–16.

6. Иванов Ю.А. Исследование прочностных и деформативных свойств бетонов марок 600-1000 и изгиба железобетонных балок из таких бетонов: дис... канд. техн. наук. 05.23.01. Киев 1971. 197 с.

7. Коваль С.В. Развитие научных основ модифицирования бетонов полифункциональными добавками: дис.. доктор техн. наук: 05.23.05. Одесса, 2004. 428 с.

8. Дмитриев А.С. Влияние крупного заполнителя на прочность и деформативность высокопрочного бетона. *Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона* / Под ред. С.А. Миронова. Москва 1970. С. 24–34.

9. Френкель И.М. Некоторые положения технологии высокопрочного бетона *Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона* / Под ред. С.А. Миронова. Москва. 1970. С. 4–23.

10. Plugin A. et al. Nanomodified cement composites for thin walled architectural structures To cite this article *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* (2020) 907 012030

11. Pushkarova K, Sukhanevych M, Marsikh A. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition *Materials Science Forum* 2016.865 6-11

12. Marushchak U., Sanytsky M., Korolko S., Shabatura Y., Sydor N. Development of nanomodified rapid hardening fiber reinforced concretes for structure of special purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 2/6 (92). pp. 34–41.

13. Schmidt M. et al. Nanotechnological improvement of structural materials – impact on material performance and structural design. *Cement Concrete Composites*. 2013.36. pp. 3–7.

14. Shishkina A. Shishkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2020. 907 012038.

15. Shishkina O.O., Shishkin O.O. Research on the injection of nanocatalyse into the molding of the plasticity of reaction powder concrete. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. 2016. 1/6(79). pp. 55–60.

16. Shishkina A., Shishkin 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). pp. 46–51.

17. Селяев В.П. Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии. *Вестник ПНИПУ. Механика*. 2016. № 1. С. 129–146.

18. Ахмеднабиев Р. М. Калиман А.М., Кравчук Н.Ю. Влияние различных волокон на свойства фибробетонов. Матер. XXII междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2013. С. 34–45.

19. Мкртчян А.М. Аксенов В.Н. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов *Инженерный вестник Дона*. 2013. 3. С. 17–24.

Information about the author:

Shyshkina Oleksandra Oleksandrivna,

candidate of technical sciences, Associate Professor,
Associate Professor at Department of Technology of Building Products,
Materials and Structures
National University of Kryvyi Rih
11, V. Matusevicha str., Kryvyi Rih,
Dnipropetrovsk region, 50027, Ukraine