

рел електричної енергії, з метою електропостачання відповідальних електроприймачів у аварійних ситуаціях та у інших псевдоаварійних режимах роботи, з метою зменшення витрат за спожиту електроенергію та підвищення рівня надійності електропостачання, що між тим підвищить якість електричної енергії у мережі.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Широкого розповсюдження отримали відновлювані джерела електричної енергії, у тому числі у складі як локальних енергетичних систем, комплексів розосередженої генерації, так і як мережеві енергетичні установки.

Впровадження джерел розосередженої генерації позитивно впливає на якість електричної енергії як у енергосистемі вцілому, так і у локальних енергетичних системах, але є необхідність перед впровадженням джерел розосередженої генерації до мережі в кожному окремому випадку проводити попереднє дослідження.

### Список літератури

1. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під заг. ред. **А. К. Шидловського**. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007 – 560 с.
2. **Денисюк С. П., Базюк Т. М.** Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на електромережу та особливості побудови віртуальних електростанцій // Електрифікація транспорту. – 2012. – № 4. – С. 23–29.
3. **Бойко С.М.** Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора **О.М. Сінчука**. – Кременчук, 2020. – 263с.
4. **Lezhnyuk P. Kulyk V.** Functioning optimization of various types of renewable sources of electric energy in electric networks // Papers of the 2012 United Kingdom – Vietnam Clean Energy Conference (UK-VN CECE 2012). – Danang city, Vietnam. – pp. 487-492.
5. **Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S.** The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 5. – pp. 52–67.
6. **Buchholz B., Styczynski Z.** Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer – 2014. – 396 p.
7. **Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л.** Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
8. **Papaika Y.** Normalization of voltage quality as the way to ensure energy saving in power supply systems / **G. Pivnyak, I. Zhezhelenko, Y. Papaika** // CRC Press/Balkema – Taylor & Francis Group: Power Engineering Control and Information Technologies in Geotechnical Systems. – Leiden, The Netherlands, 2013 annual publication. – P. 11-18.
9. Аналіз споживання електроенергії з контролем якості в розподільних мережах / **О. Г. Гриб, Ю. О. Сиротин, Д. А. Гапон, А. В. Дяченко, Т. С. Іерусалимова, О. В. Бортніков** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. – Харків : ХНТУГС, 2015. – С. 9–10.
10. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: за заг. ред. акад. НАН України **О.В. Кириленка** / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.
11. **A. Ghosh and G. Ledwich,** Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices. Norwell, MA: Kluwer, 2002.
12. **Janik P.** Photovoltaic Power Generation Assessment Based on Advanced Signal Processing and Optimisation Techniques. Wrocław: Publishing house of Wrocław University of Science and Technology Wrocław, 2014.

Рукопис подано до редакції 10.03.2022

УДК 666.9.035

О.О. ШИШКІНА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## БЕТОНИ ВИСОКОЇ МІЦНОСТІ ДЛЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета.** Метою роботи є одержання високоміцних матричних бетонів для композиційних матеріалів, що призначені для виготовлення тонкостінних конструкцій. Відомі в даний час способи підвищення міцності бетонів такого призначення володіють деякими недоліками. Головним з них є рекомендація використання високомарочних цементів для забезпечення отримання високих показників міцності бетону через їх високу вартість, обмежену доступність та збільшені показники усадки. Іншим популярним способом підвищення міцності бетону є використання хімічних добавок, який в свою чергу може призвести до зниження довговічності матеріалу, адже такі добавки можуть втручатися в стандартні процеси гідратації, викликаючи зміну структури новотворів.

<sup>1</sup>© ШИШКІНА О.О., 2022

**Методи дослідження.** При проведенні експериментів, спрямованих на досягнення поставленої мети застосовувалися стандартні **методи** дослідження фізико-механічних та будівельно-технічних властивостей бетонів згідно чинних нормативних документів та за загальноприйнятими методик.

**Наукова новизна.** В роботі вперше пропонується більш ефективний метод підвищення міцності матричних бетонів, який полягає в активації води замішування бетону гідрофобними аліфатичними колоїдними поверхнево-активними речовинами (МПАР), застосованими у надмалих концентраціях.

**Практичне значення.** Практичне значення запропонованого нами способу полягає в отриманні високоміцного матричного бетону для тонкостінних конструкцій без використання високомарочних цементів та можливості збільшити величину прольотів конструкцій й зменшити їх товщину.

**Результати.** Проведеними дослідженнями було встановлено, що наноактивація МПАР води замішування призводить до значного збільшення міцності матричного бетону. Було виявлено, що активування МПАР води замішування прискорює формування структури бетону, що дозволяє отримувати високі показники матричного бетону у ранньому віці. Це в свою чергу, є актуальним питанням при виготовленні тонкостінних конструкцій. При застосуванні такої активованої води міцність цементного каменю зростає в 1,52 та 1,3 рази відповідно у віці 7 та 28 діб порівняно з каменем отриманим на основі портландцементу без добавок. Також проведені дослідження показали відсутність значного впливу активованої МПАР води замішування на структуру новотворів цементного каменю.

**Ключові слова:** тонкостінні конструкції, бетон, міцність, активація води.

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-42-46

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В сучасному світі спостерігається бурхливе будівництво споруд та будівель різноманітного призначення. Велика частка новітніх будівельних об'єктів відзначаються своєю масштабністю – значною висотою та площею. Все більшого використання для ряду галузей застосування набувають тонкостінні конструкції. Так, наприклад, з таких конструкцій виготовляють оболонки покриття, бункери та силоси, транспортні споруди, водонапірні башти, резервуари, облицювання для тунелів та зрешувальних каналів, водоочисні споруди, плавучі споруди, дрібні судна і таке інше. Використання тонкостінних конструкцій має ряд переваг – зменшення ваги та матеріаломісткості виробів, суміщення несучих та огорожуючих функцій, можливість застосування різноманітних архітектурних форм.

Слід зазначити, що деякі з таких конструкцій піддаються впливу певних особливих умов, наприклад, навіперемінного зволоження та висушування, заморожування та відтавання, постійної дії вологи, навантаження різного виду та їх поєднання і т.д.. Для надійної та тривалої експлуатації таких будівель вкрай важливе застосування якісних матеріалів, які будуть відповідати всім вимогам їх застосування.

Існує достатньо широкий досвід використання металу для виготовлення тонкостінних конструкцій. Та його використання має ряд недоліків. Так, металеві конструкції володіють значною масою, що ускладнює процес зведення будівлі. Також значна металоемність конструкцій призводить до значного підвищення вартості будівництва. Окрім цього, метал схильний до дії корозії, що ускладнює експлуатацію будівель, особливо тих, які мають безпосередній контакт з водою, як наприклад, у випадку гідротехнічних та плавучих споруд, а призводить до значних затрат на їх ремонт.

Також відоме застосування полімерних матеріалів для виробництва зазначених конструкцій. Однак такі матеріали також недосконалі. Для них характерне руйнування під дією підвищених температур та сонячної радіації, токсичність. Ті види полімерів які в меншому ступені піддаються означеним впливам мають велику вартість.

Виходячи з викладеного, найбільш раціонально виготовляти тонкостінні конструкції з бетону. Адже він володіє достатньо високою міцністю при стиску, має високі показники корозійної стійкості, морозостійкості та інше. До того ж, бетонні тонкостінні конструкції мають невелику вагу.

**Аналіз досліджень і публікації.** Бетон давно відомий як ефективний будівельний матеріал, який здатен витримувати різноманітні впливи навколишнього середовища. Головною його особливістю є те, що він набагато краще витримує навантаження стиску, у порівнянні з іншими видами навантажень. Тому існує необхідність вживання заходів щодо покращення сприйняття ним навантажень інших видів. Для цих цілей застосовують армування конструкцій металевими виробами, дисперсне армування різними матеріалами, введення різних добавок, тощо [1-4].

Для виготовлення тонкостінних конструкцій необхідне застосування високоміцних бетонів. Існує ряд композитних матеріалів, які володіють високою міцністю, в тому числі на розтяг, морозостійкістю та іншими позитивними якостями. До таких матеріалів відносять армоцемент та склоцемент [5,6], використання яких дає змогу формування виробів та конструкцій з високою міцністю складних форм та різною фактурою невеликої товщини, а отже і маси.

Склоцемент – це конструкційний матеріал, що складається зі скляного волокна, орієнтованого певним чином та матриці на основі неорганічних в'язучих речовин [7]. Скловолокняна арматура використовується у вигляді окремих ниток, сіток або тканин, які склеєні цементним або полімерцементним клеєм. За рахунок дисперсного та напрямленого армування високоміцними та пружними волокнами склоцемент володіє високою міцністю, тріщиностійкістю, пружністю, здатністю до механічної обробки.

Армоцемент представляє собою конструкційний матеріал, який складається з декількох шарів сталеної сітки, сполучених дрібнозернистим цементно-піщаним бетоном [8]. Сітки застосовують з проволочи діаметром 0,5 – 1 мм з чарунками 3 – 10 мм. В деяких випадках для збільшення міцнісних характеристик допускається часткова заміна сіток арматурними стрижнями. Армоцемент характеризується підвищеною, у порівнянні із залізобетоном, міцністю на розтяг, збільшеними показниками тріщиностійкості, водонепроникності, опору удару, вібрацій та динамічним навантаженням [8, 9].

В більшості випадків виготовлення армоцементних та склоцементних конструкцій потребує використання бетонів високих класів міцності (наприклад, С35/45) [8, 10-12]. Забезпечення отримання таких значних міцнісних показників матричного бетону наразі пропонується в першу використанням цементів високих марок (М500, М600). Такий спосіб не представляється доцільним за цілої низки причин, серед яких є висока вартість таких в'язучих, невеликий обсяг випуску, значні показники усадки. Іншим методом підвищення міцності бетону є використання спеціальних хімічних добавок. Однак, як відомо, вони здатні втручатися в хімічні процеси твердіння в'язучих речовин, зменшуючи тим самим довговічність бетону [13, 14].

В той же час потрібно зауважити, що такі композиційні матеріали мають низку й інших вад. Так, використання портландцементу для створення матриці склоцементу створює агресивне по відношенню до скляного армування середовище. В результаті відбувається корозія скловолокна [8, 9]. Тому виникає необхідність застосування спеціальних заходів захисту скловолокна. В якості методів захисту використовують спеціальні полімерні добавки та лаки, які підвищують стійкість скла до руйнування. Та використання таких добавок в свою чергу також пов'язані з деякими труднощами. Вони схильні до деформацій та руйнування під дією сонячного проміння. А ті з них, що витримують такі впливи відзначаються підвищеною вартістю. До того ж застосування захисних покриттів призводить до необхідності впроваджувати додаткових технологічних операцій при виробництві склоцементних конструкцій (сушіння).

Глиноземистий цемент, що пропонується для виготовлення склоцементу з метою створення менш агресивного середовища по відношенню до скляного армування, має обмеження по використанню – умови твердіння з температурою не більше 25°C, неможливість використання тепловологісної обробки. Крім того, таких цемент має високу вартість.

Для армоцементу існує можливість виникнення корозії арматури при порушенні товщини захисного шару бетону. А підвищення товщини захисного шару більше 3 мм призводить до зниження ефективності армування сітками. Тож виникає необхідність спеціального захисту арматури. В умовах середовища середньої або сильної агресивності використання армоцементу не допускається. Окрім цього, армоцементу властиві підвищені деформації усадки [7, 8].

**Постановка задачі.** Зважаючи на все вищевикладене, актуальною задачею сучасного тонкостінного будівництва є одержання матричного бетону, який має значну міцність та високу швидкість формування структури, уникаючи недоліків, пов'язаних з використанням в'язучих речовин високих марок та добавок, що змінюють структуру новотворів при гідратації цементу. Вирішенню цього питання й присвячена дана стаття.

**Викладення матеріалу та результати.** Серед численних способів вдосконалення виготовлення бетону є модифікування властивостей цементних систем механічними, фізичними, хімічними і комбінованими впливами. Одним із таких напрямків є застосування різних способів активації води замішування бетонної суміші. З них найбільш доступним і технологічним є фізико-хімічна активація води і водних розчинів гідрофобними аліфатичними колоїдними повер-

хнево-активними речовинами (МПАР), які застосовуються у надмалих концентраціях, з подальшим використанням їх в якості рідини замішування для бетонів.

При виконанні експериментів в якості в'язучої речовини використовували портландцемент М400 ПАТ «Криворіжцемент» (Україна).

Проведені нами дослідження міцності цементного каменю залежно від концентрації наноактиватора МПАР у воді замішування показали, що в початкові терміни твердіння (7 діб) вплив концентрації наноактиватора МПАР у воді на міцність цементного каменю доволі значний, але він декілька зменшується з віком цементного каменю. Ці дані відображені на рис. 1, 2.

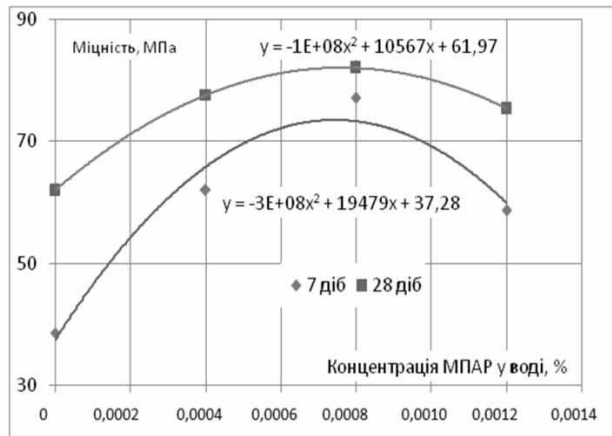


Рис. 1. Міцність цементного каменю, отриманого на наноактивованій МПАР воді

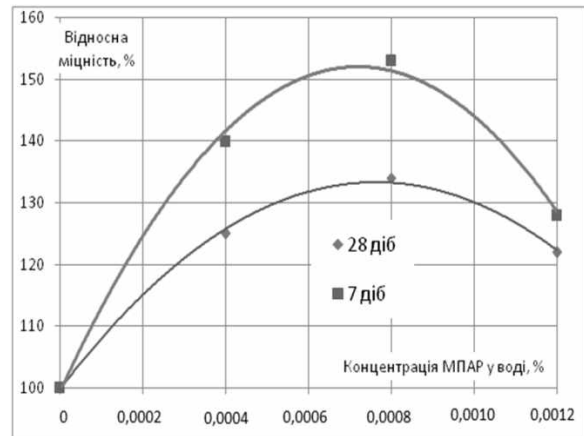


Рис. 2. Відносна міцність цементного каменю, отриманого на наноактивованій МПАР воді

Дослідженнями міцнісних показників системи «портландцемент – наноактивована вода» встановлено, що використання активованої МПАР води, сприяє прискоренню раннього структуроутворення і синтезу міцності каменю. При застосуванні такої активованої води міцність цементного каменю зростає в 1,52 та 1,33 рази відповідно у віці 7 та 28 діб порівняно з каменем отриманого на основі портландцементу без добавок.

Означені явища можна пояснити тим, що в процесі гідратації системи «портландцемент – активована МПАР вода» відбувається зменшення міжзернового простору за рахунок збільшення ступеню розчинення частинок портландцементу та швидке наповнення цього простору продуктами гідратації цементу із переводом води в хімічно зв'язану, що знижує внутрішні напруження у ранні терміни, забезпечує високу швидкість гідратації портландцементу та її величину.

Через 28 діб тверднення міцність каменю на основі портландцементу без добавок становить 62 МПа, у той час, як міцність каменю, отриманого на основі наноактивованої МПАР води, досягає 80 МПа.

Визначено оптимальний інтервал концентрації наноактиватора у воді ( $10^{-4}$  –  $10^{-6}$ % об.), в межах якого максимально реалізуються потенційні можливості наноактивації води і, як наслідок, цементного каменю, отриманого на її основі.

Отримані нами спектрограми підтверджують відсутність значного впливу активованої МПАР води замішування на вид новотворів в цементному камені окрім збільшення ступеню гідратації силікатів цементу.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Встановлено, що застосування активації гідрофобними аліфатичними колоїдними поверхнево-активними речовинами води замішування, призначеної для виготовлення матричних бетонів, призводить до значного збільшення міцності означених бетонів. Це вирішує проблему використання високомарочних цементів та дає змогу одержувати бетони високої міцності з низькими показниками усадки та без значних затрат. Отримання таких бетонів дає змогу збільшувати величину прольотів тонкостінних конструкцій та зменшувати їх товщину. Так як речовини, які застосовуються для активації води замішування використовуються у надмалих концентраціях, то вони не змінюють структуру новотворів цементного каменю, підвищуючи там самим довговічність.

Напрямок подальших досліджень є ліквідація інших недоліків композиційних матеріалів, перелічених в даній роботі.

## Список літератури

1. Дорюфеев, В.С. Повышение долговечности конструкций тонкостенных гидротехнических и транспортных сооружений / В. С. Дорюфеев, А. В. Мишутин // Вісник ОДАБА. – 2012. – №46. – С. 118-122.
2. Ключник С. Н. Вопросы теории и проектирования дисперсного армирования / С. Н. Ключник, А. В. Мишутин // Вісник ОДАБА. – 2003. – №10. – С. 87-90.
3. Мишутин А. В. Влияние дисперсного армирования полимерными фибрами и наполнителя на свойства бетона для тонкостенных конструкций / А. В. Мишутин, С. А. Кровяков, Е. А. Гапоненко // Вісник ОДАБА. – 2007. – №27. – С. 246-251.
4. Ключник С. Н. Стальные волокна для армирования бетона / С. Н. Ключник, А. В. Мишутин // Вісник ОДАБА. – 2003. – №9. – С. 101-104.
5. Давыдов С. С., Клюкин В. И., Носарев А. В. Железобетонные тонкостенные конструкции в транспортном строительстве [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://docplayer.com/82318881-Zhelezobetonnye-tonkostennyye-konstrukcii-v-transportnom-stroitelstve.html>.
6. Справочник по малотаннажному судостроению / Б. Г. Мордвинюв. – Л.: «Судостроение», 1987. – 576 с.
7. Бирюкович К. Л. Стеклоцемент в строительстве / К. Л. Бирюкович, Ю. Л. Бирюкович, Д. Л. Бирюкович. – К.: Будівельник, 1986. – 96 с.
8. Бирюкович К. Л. Мелкие суда из стеклоцемента и армоцемента / К. Л. Бирюкович, Ю. Л. Бирюкович, Д. Л. Бирюкович. – Л.: «Судостроение», 1965. – 164 с.
9. Лысенко Е. Ф. Армоцементные конструкции / Е. Ф. Лысенко. – К.: Высшая школа, 1974. – 208 с.
10. Качура А. А. Качественные характеристики армоцемента, полученного по ротационной технологии / А. А. Качура, Е. В. Кондращенко, Ю. А. Науменко, В. И. Кондращенко // Вісник НТУ – «ХП». – 2013. – №47. – с. 62-68.
11. ДСТУ Б В.2.6-204-2015 «Розрахунок і конструювання армоцементних конструкцій будівель та споруд» [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: [https://dnaop.com/html/62242/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_%D0%91\\_%D0%92.2.6-204\\_2015](https://dnaop.com/html/62242/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%92.2.6-204_2015)
12. Митрофанюв Е. Н. Армоцемент / Е. Н. Митрофанюв. – Л.: Стройиздат (Ленингр. отдние), 1973. – 208 с.
13. Ушерюв-Маршак А. В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы / А. В. Ушерюв-Маршак // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 8-12.
14. Ратиноу, В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратиноу, Т. И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 187 с

Рукопис подано до редакції 11.03.2022

УДК 622.7: 534

В. С. МОРКУН, Н. В. МОРКУН, доктори техн. наук, професори,  
В. В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., О. Ю. СЕРДЮК, асистент,  
О. О. ГАПОНЕНКО, І. О. ГАПОНЕНКО, наукові співробітники  
Криворізький національний університет

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІНІЙНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ОСАДЖЕННЯ ТВЕРДОЇ ФАЗИ ПУЛЬПИ У ДЕШЛАМАТОРІ

**Метою дослідження** є встановлення доцільності і розроблення методу застосування оцінювання нелінійності процесу поширення ультразвукових хвиль другого та третього порядків у пульпі, яка осаджується у дешламаторі, для оптимізації його роботи.

**Методи дослідження.** У процесі дослідження застосовано такі методи: аналіз результатів вітчизняних і зарубіжних досліджень, системний аналіз, математичне моделювання, аналітичний синтез, комп'ютерне моделювання, чисельне моделювання, комп'ютерні інформаційні технології.

**Наукова новизна.** В умовах змінної швидкості поширення ультразвуку та змінної густини випадково-неоднорідного середовища для моделювання даного процесу необхідно використовувати методи розширеного простору першого та вищих порядків. На основі математичного моделювання процесу поширення ультразвуку у рудній пульпі встановлено, що змінення форми імпульсу акустичних коливань кінцевої тривалості є наслідком нелінійних характеристик процесу поширення ультразвуку в пульпі, які, своєю чергою визначаються її густиною та гранулометричним складом.

**Практичне значення.** Запропоновано використовувати нелінійні ультразвукові вимірювання для оцінки параметрів осадження твердої фази пульпи у процесі її згущення у дешламаторі. Зазначене дозволяє враховувати коливання характеристик технологічного потоку пульпи, який подається на переробку при реалізації алгоритму змінення кількості флокулянту та продуктивності вихідного потоку згущеного продукту при керуванні процесом згущення у дешламаторі. У даному випадку змінення властивостей збагачуваної руди розглянуто як додатковий збурюючий фактор, для урахування якого здійснюють вимірювання та регулювання швидкості осадження твердої фази пульпи.

**Результати.** Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що оцінки нелінійності процесу поширення ультразвукових хвиль другого та третього порядків у пульпі, яка осаджується у дешламаторі, необхідно застосовувати для оптимізації його роботи. Запропонований підхід дозволяє врахувати густиною пульпи та характер розпо-