

УДК 691.32

**ВПЛИВ ВИДУ АКТИВАЦІЇ ВОДИ НА КОНТАКТНУ ЗОНУ МІЖ ЗАПОВНЮВАЧЕМ
ТА ЦЕМЕНТНИМ КАМЕНЕМ**

Канд. техн. наук О. О. Шишкіна, д-р техн. наук О. О. Шишкін

**INFLUENCE OF THE TYPE OF WATER ACTIVATION ON THE CONTACT ZONE
BETWEEN THE FILLER AND THE CEMENT STONE**

Cand. tech. Science O. O. Shyshkina, Dr. Tech. Science O. O. Shyshkin

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.196.2021.241651>

Анотація. У роботі розглянуто вплив електромагнітної, електрохімічної та фізико-хімічної активації води замішування на міцність дрібнозернистого бетону. Наведено порівняння міцності бетонів, які отримано при замішуванні компонентів активованою водою, із застосуванням різного виду заповнювачів. Виявлено вплив активації води замішування на міцність контактної зони між цементним каменем і заповнювачем, а також на міцність бетону.

Ключові слова: активація, вода, замішування, бетон, міцність, контракція, контактна зона.

Abstract. Among the many ways to improve the preparation of concrete mix is to modify the properties of cement systems by mechanical, physical, chemical and combined effects. One of the directions of activation of the concrete mixture is the activation of its components, namely: electromagnetic, electrochemical and physics-chemical activation of mixing water. The most accessible and technological of them is the physics-chemical activation of water and aqueous solutions by certain organic substances used in ultra-low concentrations, followed by their use as a mixing fluid for building mixtures. The purpose of the study was to perform a comparative assessment of the effect of electromagnetic, electrochemical and physicochemical activation of water on the properties of cement paste and fine-grained concrete. To achieve this goal, the degree of influence of electromagnetic, electrochemical and physicochemical activation of water on the contraction and hardening time of cement paste, as well as the degree of influence of electromagnetic, electrochemical and physicochemical activation of water on compressive strength of fine concrete. It is established that the type of activation of kneading water affects the hardening time of the cement paste and the normal density. The shortest hardening times are set for cement paste, which is obtained on electrochemically activated alkaline water, and the longest with the use of physics-chemical activation. At the same time, the highest strength at the lowest contraction has concrete, which is obtained on physics-chemical activated water. This concrete has the highest rate of strength. Concretes obtained on «alkaline» water, after its electro-chemical activation, have a high rate of strength formation and its value, but high contraction, which leads to cracking of concrete.

Keywords: activation, mixing water, concrete, strength, contraction, contact zone.

Вступ. Зростаючий інтерес до використання монолітного бетону та залізобетону вимагає вирішення важливих завдань щодо підвищення ефективності монолітного будівництва.

Існують чіткі уявлення про макро-, мезо- і мікроструктури бетону, які дуже схожі за будовою, але відрізняються масштабом і речовим складом. Таким чином, головною особливістю бетону, яку відзначають, аналізуючи його структуру, є ієрархічність і подібність будови на всіх рівнях структури. На всіх масштабних рівнях бетон залишається композитним матеріалом, і його структури найбільшою мірою відповідають моделі типу «матриця – включення». У таких моделях, як включення, розглядаються зерна заповнювача, а також частинки негідратованого цементу (залежно від рівня), а як матриця – цементний камінь або гідратні фази (найчастіше це гель C-S-H). Така ідеалізація структури дозволяє прогнозувати міцність бетону. Але на основі незалежних досліджень структура бетону, який

розглядався раніше з точки зору механіки композита як двокомпонентний матеріал, поповнилася новою структурною одиницею – контактною зоною. На сьогодні при прогнозуванні міцності і довговічності бетону розглядають вже не контакт між двома компонентами, єдиною характеристикою якого була міцність, а приконтактну зону в цементному камені, що характеризується також специфічною пористістю і складом гідратних фаз. Ці параметри контактної зони істотно відрізняються від аналогічних властивостей цементного каменю в іншому об'ємі бетону.

Стан контакту між зернами заповнювача і цементним каменем впливає на їх спільну роботу під навантаженням, а також на цілісність структури і стійкість бетону. Деякі заповнювачі здатні до хімічної взаємодії та фізико-механічного зрощування з продуктами гідратації цементу, що призводить до посилення їх зчеплення із цементним каменем.

Водночас за останні роки виконано ряд досліджень, в результаті яких

позначилися помітні зрушення в підвищенні рівня організації і технології зведення монолітних будівель і споруд, у тому числі за рахунок удосконалення технології приготування бетонної суміші. Одним з напрямів у сфері вдосконалення цієї технології є активація вихідних компонентів, зокрема води замішування. Існуючі методи активації води практично не вимагають зміни основного технологічного процесу приготування бетонної суміші, проте істотно сприяють поліпшенню її технологічних властивостей (легкоукладальність, здатність до перекачування), фізико-механічних (міцність, морозостійкість, водонепроникність) та експлуатаційних властивостей бетону, а також дозволяють керувати процесом твердіння і знижувати витрату цементу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Приготування будівельної суміші – найважливіший технологічний етап у комплексі бетонних робіт. У процесі приготування формується потенційний рівень характеристик якості бетону, який не може бути підвищений на наступних технологічних етапах.

Заповнювач, що вважається інертною складовою, насправді відіграє активну роль у формуванні структури цементної системи і набуття нею певних властивостей. При внутрішньому водовідділенні волога може накопичуватися під зернами заповнювача, послаблюючи зв'язок між ними і цементним каменем. Уздовж зони контакту заповнювача з цементним каменем розвиваються внутрішні усадочні тріщини, порушується монолітність, однорідність, що призводить до анізотропії механічних властивостей і сприяє зростанню проникності бетонного композита та зменшенню його міцності. Стан контакту між зернами заповнювача і цементним каменем впливає на спільну роботу каменеподібної складової і мінерального клею під навантаженням, а також на цілісність конгломератної структури і стійкість бетону. Міцність цього контакту

залежить від природи заповнювача, його пористості, шорсткості і чистоти поверхні, а також від виду й активності цементу, водоцементного відношення та умов твердіння бетону [1]. Контактна зона – це область цементного каменю (товщиною 35...50 мкм) біля поверхні заповнювача, яка має особливі властивості. Формування контактної зони в бетоні обумовлено такими факторами [2]: менш щільна упаковка цементних частинок біля поверхні заповнювача, що властиво поведінці будь-якої дисперсної фази поблизу плоскої поверхні. Це явище називають «ефектом стіни». Молекули адсорбованої води, яка відрізняється більш високою щільністю і впорядкованістю, здатні витіснити частки цементу з поверхні заповнювача. В результаті водоцементне відношення і, як наслідок, пористість біля поверхні заповнювача також істотно збільшуються, а міцність цементного каменю зменшується. За результатами експериментальних даних [3], у віці 28 діб пористість контактної зони в бетонах на щільному заповнювачі складає в середньому 35 %, а в цементному камені – 7 %. У процесі укладання бетонної суміші часто відбувається розшарування. Причому ззовні це не завжди помітно, не дивлячись на те, що воно практично завжди має місце всередині структури. Вода, як найлегший компонент в бетонній суміші, піднімаючись вгору, затримується під зернами заповнювача, і в результаті утворюються седиментаційні пори. При малих водоцементних відношеннях внутрішнє розшарування менш помітно, проте структура контакту під зернами заповнювача завжди формується більш пухкою. Контактна зона має відносно стабільні особливості структури.

Серед численних технологічних прийомів удосконалення властивостей бетонної суміші і бетону є модифікування властивостей компонентів цементних систем механічними, фізичними, хімічними і комбінованими впливами. Найбільш поширеними методами модифікування

властивостей компонентів цементних систем на цей час є активація її компонентів, а саме електромагнітна (ЕМА) [4-6], електрохімічна (ЕХА) і фізико-хімічна [7, 8] активація води замішування.

Використання методів активації компонентів суміші електричним полем впливає як на процеси коагуляції, структуро- і гідратування, так і виникнення конденсаційно-кристалізаційної структури цементного каменю, яка утворюється за рахунок безпосередньої хімічної взаємодії частинок цементу. Недоліком відомих способів є великі енерговитрати на реалізацію способу виготовлення і забезпечення міцності бетону в ранні терміни.

При застосуванні електромагнітної (ЕМА) та електрохімічної (ЕХА) активації води остання набуває позитивного заряду, величина її показника рН перевищує 7,0. Тобто вода стає «лужною», що обумовлює підвищення міцності цементного каменю до 20 % [5]. Дослідженнями авторів [6] показано, що замішування цементу з електрохімічно активованою («лужною») водою підвищує розтікання цементного тіста при одночасному підвищенні пластичної міцності у 2,2 разу.

Водночас відомо, що зменшення величини рН води замішування менше за 7,0 (що свідчить про переведення її у «кислий» стан) також призводить до підвищення міцності цементного каменю до 20 % [7-9], тобто не менше ніж при застосуванні «лужної» води.

Вочевидь, найбільш доступною і технологічною з відомих методів активації води є фізико-хімічна активація наномодифікаторами (які застосовуються у надмалих концентраціях) води і водних розчинів з подальшим використанням їх як рідини замішування будівельних сумішей [9]. Однак систематичні дослідження у напрямі впливу фізико-хімічно активованої води на міцність контакту між цементним каменем і заповнювачем до теперішнього часу не є достатніми, а порівняльний аналіз

різноманітних методів активації води у цьому питанні зовсім відсутній.

Визначення мети та завдання дослідження. За мету досліджень, результати яких викладено в роботі, поставлено дослідження впливу виду активації води на контактну зону між заповнювачем та цементним каменем через міцність бетону при стиску.

Для досягнення сформульованої мети потрібно вирішити такі завдання:

- визначити міцність дрібнозернистого бетону залежно від виду заповнювача при застосуванні води, активованої різними методами;

- теоретично обґрунтувати вплив виду активації води на властивості контактної зони між заповнювачем та цементним каменем.

Основна частина дослідження. Вплив виду активації води на міцність контактної зони між заповнювачем і цементним каменем визначався опосередковано через міцність дрібнозернистого бетону. У дослідженнях для виготовлення бетону використовували портландцемент М400 (ПрАТ «Кривий Ріг цемент»), як заповнювачі – річковий кварцовий пісок, доменний гранульований шлак та відходи збагачення залізних руд (ПрАТ «Міталстіл Кривий Ріг»), які мали розмір частинок 2–2,5 мм (отримано відсіюванням означеної фракції на ситах). Означені заповнювачі обрано через наявність різного потенціалу їх поверхні. За даними [10], на поверхні частинок кварцового піску середня величина Z-потенціалу становить -13,5 mV, на поверхні частинок шлаку -10,7 mV, частинки відходів збагачення залізних руд містять на своїй поверхні як позитивно, так і негативно заряджені активні центри.

«Лужну» воду отримували внаслідок ЕХА на приладі ZENOR. ЕМА води здійснювали пропусканням її через трубчастий постійний магніт для виключення одночасної дії електричного поля. «Кислу» воду одержували додаванням наномодифікатора – олеату натрію

(Simagchem Corp., Китай) – у вигляді водного розчину концентрацією 0,00004 %, яка визначена як оптимальна в попередніх дослідженнях. Компоненти бетонної суміші дозували в необхідних відповідно до плану експерименту кількостях (при отриманні бетону кількість заповнювача вираховували через його щільність, так щоб його об'єм дорівнював об'єму цементу) і перемішували в лабораторному змішувачі протягом 3 хв. Отримана суміш укладалася в металеву форму, яка має розмір сторін 40x40x160 мм. Форму, що містить виготовлену суміш жорстко закріплювали на лабораторному вібромайданчику й піддавали дії вібрації до повного ущільнення, яке характеризувалося припиненням осідання суміші й виділення бульбашок повітря. Після завершення укладання та ущільнення бетонної суміші у формі відкритої поверхню зразка загладжували кельмою. Перші 24 години зразки бетону тверділи в нормальних умовах, при цьому їх до розпалубки зберігали у формах, покритих вологою тканиною. Це виключало можливість випаровування з них вологи в приміщенні з температурою повітря 293 ± 5 К. Через 24 години після виготовлення зразки бетону виймали з форм та поміщали в камеру, яка забезпечувала температуру 293 ± 3 К і відносну вологість повітря 95 ± 5 %. Величину контрольованих показників якості цементного тіста та

бетону визначали згідно з діючими стандартами.

Теоретичні дослідження проводилися шляхом аналізу відповідності визначених раніше процесів формування структури і властивості систем на основі портландцементу та структурованої води за відомими законами колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем. За теоретичну основу для розвитку вказаних подань використані такі фундаментальні положення: теорії міцелярного каталізу [11], колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем [12], ефекту надмалих доз [13], теорії електрогетерогенних взаємодій при твердінні цементних в'язучих [14, 15].

У результаті досліджень впливу активованої води замішування на міцність дрібнозернистого бетону при стиску у віці 28 діб встановлено (табл. 1–3), що найбільше підвищення міцності спостерігається у бетонів, отриманих на основі «кислої» води. В цьому випадку міцність підвищується порівняно з міцністю бетону контрольованого складу (виготовленого на неактивованій воді) на 10–58 %. При цьому найменше підвищення міцності розчину спостерігається у складах, отриманих на ЕМА воді. Паралельно були випробувані зразки цементного каменю, виготовленого з того самого цементу, що й бетон, при водо-цементному відношенні такому самому, як і в бетоні.

Таблиця 1

Міцність бетону та цементного каменю при застосуванні як заповнювача річкового піску

Вид води замішування	Міцність при стиску		Відношення міцності бетону до міцності цементного каменю
	цементний камінь	бетон	
Звичайна вода	86,6/100	33,8/100	0,39
«Лужна» вода	104,0/120	38,5/114	0,37
ЕМА вода	98,5/114	37,2/110	0,38
«Кисла» вода	108/125	45,6/135	0,42
Примітка. В чисельнику наведено міцність при стиску, МПа, в знаменнику – відносну міцність, %.			

Таблиця 2

Міцність бетону та цементного каменю при застосуванні як заповнювача доменного гранульованого шлаку

Вид води замішування	Міцність при стиску		Відношення міцності бетону до міцності цементного каменю
	цементний камінь	бетон	
Звичайна вода	86,6/100	34,8/100	0,40
«Лужна» вода	104,0/120	40,7/117	0,39
ЕМА вода	98,5/114	41,1/118	0,42
«Кисла» вода	108/125	46,6/134	0,43

Примітка. В чисельнику наведено міцність при стиску, МПа, в знаменнику – відносну міцність, %.

Таблиця 3

Міцність бетону та цементного каменю при застосуванні як заповнювача відходів збагачення залізних руд

Вид води замішування	Міцність при стиску		Відношення міцності бетону до міцності цементного каменю
	цементний камінь	бетон	
Звичайна вода	86,6/100	36,8/100	0,42
«Лужна» вода	104,0/120	42,7/116	0,41
ЕМА вода	98,5/114	43,8/119	0,44
«Кисла» вода	108/125	53,4/145	0,49

Примітка. В чисельнику наведено міцність при стиску, МПа, в знаменнику – відносну міцність, %.

Як показали результати досліджень, підвищення міцності бетону, виготовленого на активованій воді, відносно міцності бетону контрольного складу відбувається не пропорційно збільшенню міцності цементного каменю.

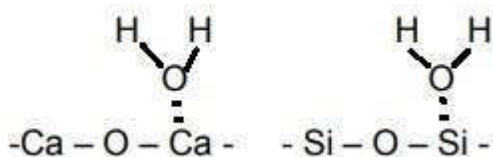
Означене свідчить, що в бетонах на активованій воді відбувається не тільки збільшення міцності цементного каменю, а й зміна міцності контактної зони заповнювача з цементним каменем. Але міцність контактної зони заповнювача з цементним каменем і міцність цементного каменю змінюються не однозначно. При застосуванні річкового піску, у якого найбільше негативне значення Z-потенціалу поверхні при використанні «лужної» та ЕМА води, приріст міцності бетону «відстає» від приросту міцності цементного каменю. Вочевидь, це відбувається через недостатній приріст міцності контактної зони між заповнювачем і цементним

каменем. Навпаки, при застосуванні «кислої» води приріст міцності бетону практично пропорційний приросту міцності цементного каменю, що свідчить про найбільш високу міцність контактної зони.

Таким чином, попередня активація води замішування за рахунок збільшення міцності цементного каменю та контактної зони між ним і заповнювачем дозволяє підвищити міцність цементних композицій, особливо при застосуванні «кислої» води.

На підставі викладеного теоретичну модель початкової фази формування контактної зони між заповнювачем та цементним каменем при застосуванні активованої води можна подати таким чином.

При використанні електромагнітної (ЕМА) та електрохімічної (ЕХА) активації води, внаслідок чого вода отримує позитивний заряд, відбувається гідроксилювання поверхні цементу



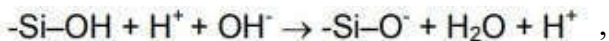
та поверхні заповнювачів, яка має негативний заряд (табл. 4).

Таблиця 4

Схеми гідроксилування поверхні

річкового піску	доменного гранульованого шлаку	відходів збагачення залізних руд
$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \\ \vdots \\ -\text{Si} - \text{O} - \text{Si} - \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \\ \vdots \\ -\text{Si} - \text{O} - \text{Ca} - \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \\ \vdots \\ -\text{Si} - \text{O} - \text{Fe} - \end{array} $

У результаті цього, в даному випадку, навколо поверхні означених заповнювачів накопичується значна кількість молекул води (рис. 1), певна частина з яких дисоціює



що збільшує водоцементне відношення біля зернини заповнювача (рис. 2), тим самим обмежуючи приріст міцності бетону та формуючи контактну зону (рис. 3).

Рушійною силою гідратації цементу у випадку застосування «кислої» води є надлишкова кількість в ній протонів. У даному випадку взаємодія цементу з водою здійснюється на межі розділу фаз, однак не за рахунок вторинних і залежних (розчинних, гідролітичних, хемосорбційних) дій, а шляхом визначальної ролі електростатичних взаємодій, формування в міжфазній зоні перехідного активованого комплексу.

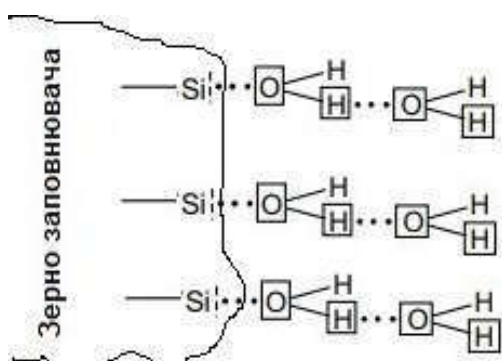


Рис. 1. Схеми адсорбції молекул «лужної» води на поверхні річкового піску

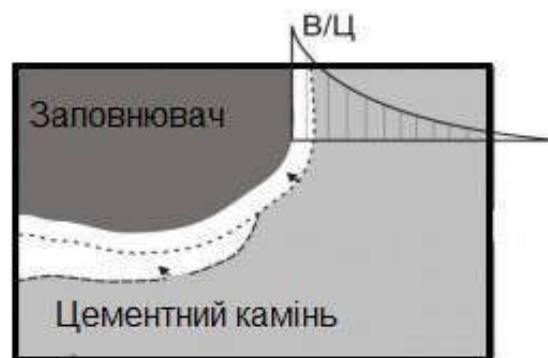


Рис. 2. Зміна В/Ц в контактній зоні [3]

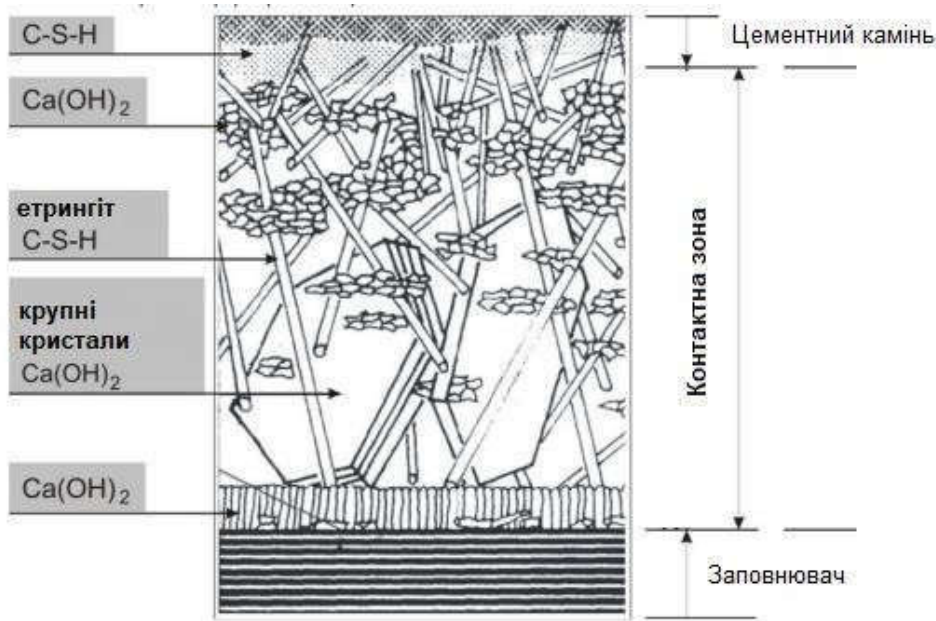
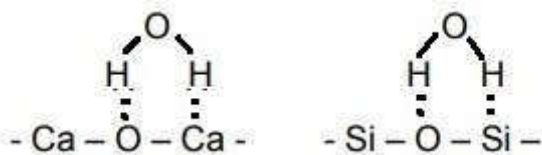


Рис. 3. Структура контактної зони [3]

У даному випадку вода отримує негативний заряд, внаслідок чого відбувається протонування поверхні цементних частинок



та поверхні заповнювачів, яка має негативний заряд (табл. 5).

У результаті цього, в даному випадку, навколо поверхні означених заповнювачів накопичується незначна кількість молекул води (рис. 4).

Підтвердженням розроблених положень є дані незалежних досліджень [16], де зазначається, що створення умов виникнення в контактній зоні низькоосновних

гідросилікатів, які мають високий ступінь дисперсності, а отже, і велику кількість контактів один з одним, дозволяє забезпечити більш однорідну і щільну структуру контактної зони. Для цього потрібно створити умови, в яких у початковий період гідратації підтримується знижене значення рН середовища, як одна з необхідних умов кристалізації низькоосновних гідросилікатів кальцію. Ця умова забезпечується використанням «кислої» води. У результаті на границі розділу фаз забезпечується знижене значення рН середовища, в якому формуються низькоосновні гідросилікати кальцію [16], які, як відомо, відрізняються підвищеною міцністю і стійкістю в агресивних середовищах.

Таблиця 5

Схеми протонування поверхні

річкового піску	доменного гранульованого шлаку	відходів збагачення залізних руд
$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{---Si---O---Si---} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{---Si---O---Ca---} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{---Si---O---Fe---} \end{array} $

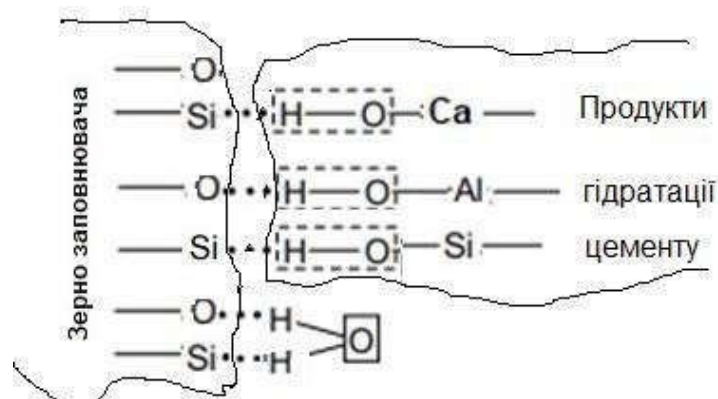


Рис. 4. Схема контактної зони на поверхні річкового піску при застосуванні «кислої» води

Це також підтверджується в роботі Ю. В. Чеховського зі співавторами [17]. Методом мікрозондування та визначення мікротвердості була вивчена контактна зона цементного каменю з основними мінералами заповнювачів бетону (польовим шпатом, кальцитом, кварцом, опалом і халцедоном). Виявлено, що з усіма зазначеними мінералами відбуваються хімічні реакції, що призводять до ослаблення контактної зони цементного каменю. Дослідження контактної зони цементного каменю з заповнювачем показали, що, крім збільшення розміру пір і пористості в контактній зоні цементного каменю і в ділянках, які щільно прилягають до заповнювача, відбуваються хімічні процеси, що додатково змінюють структуру контактної зони.

В цілому узагальнення даних публікацій щодо прямого вимірювання характеристик зчеплення гірських порід з цементним каменем на відрив вказує, що характеристика зчеплення наростає більш

повільно, ніж підвищення міцності цементного каменю на стиск.

Висновки. Результати визначення впливу виду активації води на величину міцності бетону показали, що застосування теорії електрогетерогенних взаємодій при твердінні цементних в'язучих, теорій надмалих концентрацій та міцелярного каталізу дозволили представити теоретичну модель формування контактної зони цементного каменю та заповнювача бетону. Основою процесів, які відбуваються в системі «цемент – активована вода – заповнювач», є протони, що вносяться до системи при активації води наномодифікаторами, які застосовано у надмалих концентраціях. Певна концентрація модифікаторів у воді забезпечує оптимальну кількість в ній протонів, це призводить до збільшення міцності контактної зони між цементним каменем та заповнювачем, що опосередковано відбивається у підвищенні міцності бетону в середньому на 35–40 %.

Список використаних джерел

1. Горчаков Г. И. Строительные материалы. Москва: Высш. школа, 1981. 412 с.
2. Michael A. Caldarone. High-Strength Concrete. A practical guide. New York, 2009. 273 p.
3. Протасевич А. А., Филимонова Н. В. Анализ современных представлений о структуре бетона с позиций его проницаемости. *Вестник БГТУ*. 2011. 1. С. 111-117.
4. Макаева А. А., Помазкин В. А. Про использование магнито-активированной воды для замешивания бетонных смесей. *Бетон и железобетон*. 1998. № 3. С. 26–28.

5. Сафронов В. М., Кугаевский С. А., Румянцева О. В. Цикличная магнитная активация жидких сред смешивания с разрушенной структурой разного химического состава. *Вестник ТГАСУ*. 2012. № 3. С. 133–142.
6. Баженов Ю. М., Фомічов В. Т. Теоретическое обоснование получения бетонов на основе электрохимической и электромагнитно-активированной воды затворения. *Интернет-вестник ВолгГАСУ*. 2012. Вып. 2 (22). С. 5.
7. Сударев Е. А., Новосёлова А. П. Влияние растворов кислот на процессы гидратации и твердения цемента. Материалы VI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. Менделеев, 2012. Неорганическая химия. Тезисы докладов. Санкт-Петербург: Изд-во «Соло», 2012. С. 314–316.
8. Ковалева А. Ю., Аубакирова И. У., Староверов В. Д. Опыт промышленного применения наномодифицированных бетонных смесей. *Вестник гражданских инженеров*. 2008. № 3(16). С. 74–76.
9. 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.
10. Минаков С. В., Рахимбаев Ш. М. Влияние минеральных добавок на эффективность пластификаторов цементных систем. Материалы III Всероссийской конференции молодых ученых. Теория и практика повышения эффективности строительных материалов. Пенза: ПГУАС, 2008. С. 124–127.
11. Березин И. В., Мартинек К., Яцимирский А. К. Физико-химические основы мицеллярного катализа. *Успехи химии*. 1973. Вып. 10. Т. XLU. 1729-1756.
12. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. Ленинград: Химия, 1984. 368 с.
13. Бурлакова Е. Б. Эффект сверхмалых доз. *Вестник Российской Академии Наук*. 1994. Т. 64. С. 425–431.
14. Плагин А. Н. Электрогетерогенный механизм структурообразования цементно-водных систем. Тез. докл. VI Республ. конфер. по физикохимии и технологии получения и применения промывочных жидкостей, дисперсных систем и тампонажных растворов. Киев: ИКХХВ АН УССР, 1985. Ч. I. С. 127.
15. Nanomodified cement composites for thin walled architectural structures To cite this article. Andrii Plugin et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 907 012030.
16. Изотов В. С., Морозова Н. Н. Коррозионная стойкость бетонов на смешанном вяжущем. *Изв. вузов. Строительство*. 1997. 12. С. 50–52.
17. Исследование контактной зоны цементного камня с крупным заполнителем / Ю. В. Чеховский, А. Н. Спицын, Ю. А. Кардаш и др. *Коллоидный журнал*. 1988. № 6. С.1216–1218.

Шишкіна Олександра Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій Криворізького національного університету. ORCID iD: 0000-0003-3716-9347. E-mail: alexshishkina15@gmail.com.

Шишкін Олександр Олексійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій Криворізького національного університету. ORCID iD: 0000-0003-3331-1422. Тел.: +38 (067) 569-11-80. E-mail: 5691180@gmail.com.

Alexandra Shyshkina, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Technology of building products, Materials and Structures National University of Kryvyi Rih. E-mail: 5691180@gmail.com. Tel.: + 38-067-569-11-80. ORCID ID:0000-0003-3997-7591.

Alexander Shyshkin, D. Sc. (Tech.), Prof., National University of Kryvyi Rih, E-mail: 5691180@gmail.com. Tel.: + 38-067-569-11-80. ORCID ID: 0000-0003-3331-1422.

Статтю прийнято 24.02.2021 р.