

УДК 691.32

**О. О. ШИШКІНА**

Криворізький національний університет

**ВПЛИВ СПОЛУК ЗАЛІЗА НА ВЛАСТИВОСТІ ПІНОБЕТОНУ**

Наведені результати досліджень впливу введення в пінобетон сполук заліза. Доведено, що пінобетон являє собою мінералізовану піну, яка твердіє внаслідок введення в неї речовин, що тужавіють, наприклад цементів. Показано, що основною властивістю піни, яка забезпечує отримання пінобетону, є стійкість піни. Також показаний один із шляхів підвищення стійкості піни – введення в неї стабілізаторів. Досліджено механізм мінералізації піни. Визначено, що мінералізатори підвищують стійкість піни і, як наслідок, збільшують міцність пінобетону. З'ясовано, що для покращення якості процесів гідратації цементу в пінобетонну суміш необхідно вводити залізовмісну речовину. Окрім цього, оксиди заліза, вступаючи у взаємодію з молекулами поверхнево-активної речовини, утворюють на поверхні повітряної бульбашки нові сполуки, які будуть ззовні укріплювати пору. А це, в свою чергу, приведе до підвищення міцності пінобетону.

**міцність, пінобетон, сполуки заліза, піна, стійкість**

На сьогодні будівельна галузь розвивається надзвичайно швидкими темпами. Велику увагу приділяють скороченню вартості як будівництва, так і проведення ремонтних робіт з метою зменшення теплових втрат. Більшість існуючих будівель та споруд побудовані досить давно, тому вимагають постійного догляду і підтримки в них необхідного температурного режиму, також доволі часто доводиться виконувати їх реконструкцію. Ці заходи вимагають доволі великих затрат часу, праці та мають значну вартість.

Для цих цілей одним з ефективних будівельних матеріалів є пористі бетони, зокрема пінобетони, які мають низьку теплопровідність. Вони використовуються для захисту будівельних конструкцій від теплових дій навколишнього середовища, які негативно впливають на стан конструкцій. Проте пінобетони не мають достатньої міцності при стиску. Усе це обумовлює необхідність вирішення питання отримання пінобетонів з достатньо високою міцністю при стиску.

Пінобетон, як і будь-який інший, має дві стадії свого існування: у вигляді бетонної суміші і у вигляді бетонного каменя. Пінобетонна суміш за своєю суттю є мінералізованою піною, а пінобетон – є отверділою піною. У цьому випадку процес твердіння піни відбувається унаслідок введення до її складу речовин, що тужавіють (зокрема полімерів або цементів) [1]. Таким чином, на початкових стадіях структуроутворення пінобетон має властивості піни, які впливають на формування його кінцевих властивостей.

Піна є висококонцентрованою дисперсною системою, в якій дисперсійним середовищем є рідина, а дисперсною фазою – бульбашки газу, які мають форму багатогранників і відокремлені один від одного шарами дисперсійного середовища [2]. Основною властивістю пін є їх стійкість [3]. Ця властивість пін, в основному, і забезпечує отримання пінобетону. Піна повинна мати стійкість (не руйнуватися), доки, в основному, не завершаться процеси гідратації цементу або не полімеризується полімер, які входять до складу пінобетону.

Стійкість або стабільність піни характеризує час її існування до повного або часткового руйнування, яке є наслідком стоншення стінок її пор унаслідок стікання рідини або руйнування внутрішніх перегородок. Окрім руйнування вічок, зміні розподілу розмірів і форми вічок в часі сприяє дифузія газу через перегородки, що розділяють вічка. При цьому повітряні бульбашки лопаються, і замість піни залишається рідка фаза – розчин піноутворювача. При цьому розмір газових вічок збільшується, а щільність піни зменшується.

Відомо [2, 4, 5, 6], що міцність мають лише плівки, отримані з розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР). Плівки з індивідуальних рідин, які мають постійне поверхнєве натягнення, що не змінюється при їх розтягуванні або стискуванні, позбавлені подібної міцності, тому отримати з таких рідин стійкі піни неможливо. При отриманні піни ПАР виступають піноутворювачами, типовими представниками яких є спирти, мила, білки, сапонін і ін. [2].

Стійкість піни може бути збільшена введенням в робочий розчин стабілізаторів піни: солей заліза та алюмінію, крохмалю, клею, гліцерину або добавок-мінералізаторів: тонкодисперсних ґрунтів, золи-виносу ТЕС і інших [7].

При введенні в піну тонкоподрібнених твердих речовин, вони при рівномірному розподілі на поверхні бульбашок зміцнюють плівки піни. Такі піни називають мінералізованими [3, 8, 9]. Утворення стійкої мінеральної піни відбувається за рахунок прилипання твердих мінеральних часток до повітряних бульбашок піни. Явище прилипання мінеральних часток відбувається за рахунок утворення трифазного контакту та здатності частинки втриматися на бульбашці [10]. Частинка мінералізатора, зіштовхнувшись із бульбашкою, деякий час продовжує перебувати у стані зіштовхування. Для того, щоб частинка закріпилася на бульбашці, потрібен розрив рідкої плівки та утворення трифазового периметра. Для цього необхідне потоншення прошарку рідини між частинкою та бульбашкою до деякої мінімальної величини, за якої прошарок втрачає стійкість та силами поверхового натягування видаляється з простору між частинкою та бульбашкою.

Згідно з однією з теорій [11], після зіштовхування мінеральної частинки з бульбашкою, вона деякий час ковзає по її поверхні. Іншими дослідниками [12] зіштовхування мінеральної частинки з бульбашкою повітря представляється як пружний удар. І якщо протягом певного часу частинка не зможе закріпитися на бульбашці – вона буде відкинута від її поверхні під дією пружних сил.

Під час удару частинки об бульбашку, при достатньому часі контакту, відбувається розрив рідкого прошарку між частинкою та бульбашкою, звідси прилипання частинки до бульбашки. Однак можуть бути випадки, коли крайові кути, необхідні для прилипання частинки до бульбашки, виявляються недостатніми для протидії силам відриву, що виникають у результаті пружного удару.

Мінеральні частинки механічно стабілізують піну, не допускаючи близького дотику бульбашок одна з одною, що можливе лише за умови, коли частинки вкривають бульбашку, не проникаючи всередину її. Наявність шару мінеральних частинок на поверхні повітряних бульбашок також попереджає їх коалесценцію.

Як було зазначено вище, пінобетонна суміш є мінералізованою піною, тобто в даному випадку частки цементу в початковому періоді після створення пінобетонної суміші виконують роль мінералізаторів, які зміцнюють стінки пор і, як наслідок, підвищують стійкість піни, з іншого боку, збільшується щільність дисперсійного середовища піни, що приводить до зменшення її кратності.

При введенні в піну мінералізаторів, звичайно, спостерігається явище зниження її кратності, що відбувається за рахунок адсорбції поверхнево-активних полярних молекул піноутворювача на частках цементу. При цьому ускладнюються процеси гідратації цементу в пінобетонних сумішах.

Отже, в міжплівковій рідині пінобетонної суміші необхідно створити умови, в яких молекули ПАР не перешкоджатимуть гідратації часток цементу. Це, очевидно, можна здійснити введенням такої речовини, на якій молекули ПАР адсорбувалися б переважніше, ніж на частках цементу. Аналіз літературних даних [13] показав, що, наприклад, ряд олеатів, розташованих в порядку зменшення їх відносної розчинності, має вигляд: олеат кальцію – олеат алюмінію – олеат магнію – олеат марганцю – олеат свинцю – олеат заліза.

Оскільки розчинність олеатів тих або інших металів до певної міри характеризує ефективність їх збірної дії по відношенню до мінералів з різними катіонами, можна передбачити, що міцність закріплення і стійкість хемосорбованого залізовмісними мінералами карбоксильними молекулами ПАР має бути значнішою в порівнянні з кальцієвими мінералами, оскільки олеати заліза мають меншу розчинність, ніж олеати кальцію. Це говорить про те, що поверхнево-активна речовина в першу чергу буде адсорбуватися на залізовмісній речовині, забезпечуючи більший доступ води до часток цементу [10]. Тобто, вводячи в піноцементну суміш залізовмісну речовину, можна досягти того, що зерна цементу будуть максимально доступні молекулам води і, як наслідок, міра їх гідратації значно збільшиться, а отже збільшиться і кінцева міцність пінобетону.

Окрім цього, при взаємодії ПАР з мінералами, зокрема оксидами заліза, іони активної речовини перш за все повинні продифундувати до мінеральної поверхні через деякий відносно нерухомий шар рідини, що оточує мінеральні зерна. Наблизившись до поверхні, іони ПАР можуть обмінюватися з

іонами мінералу, в результаті чого утворюється мономолекулярний або полімолекулярний шар продуктів взаємодії на поверхні мінералу.

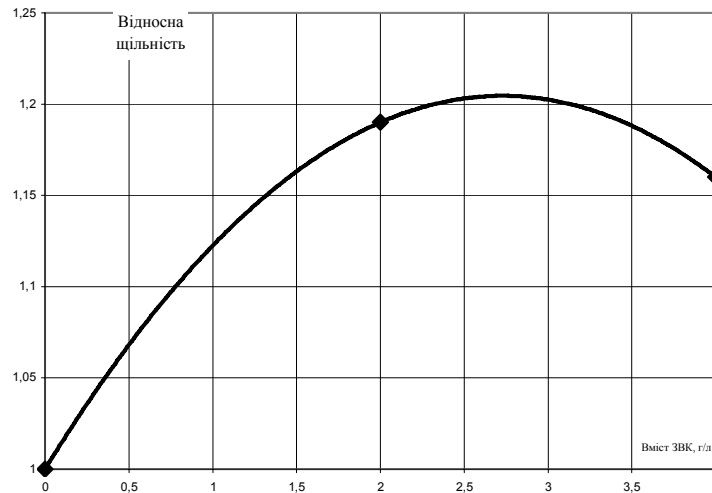
Існує декілька теорій [10], які пояснюють взаємодію залізовмісних мінералів з ПАР. Однією з них є «хімічна» теорія: утворення гідрофобного покриття на поверхні мінералу відбувається внаслідок утворення важкорозчинної сполуки катіону або аніону мінералу з аніоном або, відповідно, катіоном ПАР. Інші автори [14] пояснюють цю взаємодію явищем адсорбції – при дії ПАР на поверхні мінералу утворюється будь-яка поверхнева сполука, зв'язана кристалічною решіткою мінералу.

Але спільним у висунутих положеннях є те, що на поверхні мінералу утворюються сполуки, зв'язані з кристалічною решіткою. Це говорить про те, що поверхнево-активна речовина, адсорбуючись на поверхні оксидів заліза, буде утворювати нову сполуку, яка буде ззовні зміцнювати пору. Як наслідок, збільшиться міцність пінобетону.

Тому метою проведених досліджень було отримання пінобетону з покращеними властивостями за рахунок введення до його складу сполук заліза.

Як основні матеріали в дослідженнях були використані портландцементи, що виробляються заводами України. Як наповнювач застосовували матеріали, які використовуються для виробництва пінобетону: дніпровський річковий пісок і гірські породи Криворізького залізорудного родовища і відходи збагачення залізних руд Криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів. Як залізовмісну речовину використовували сполуки заліза –  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , відходи збагачення залізних руд і гірські породи Криворізького залізорудного родовища. Для утворення піни застосовували піноутворювач ПО-2.

У цій групі експериментів досліджували щільність спіненого цементного каменю залежно від вмісту залізовмісної речовини. В умовах експериментів, при введенні в цементне тісто залізовмісної речовини, збільшення його кількості до певної величини (2,8 гр./л) веде до збільшення щільності спіненого цементного каменю (рис. 1). Але подальше збільшення витрати залізовмісної речовини приводить до зменшення щільності спіненого цементного каменю.



**Рисунок 1** – Вплив вмісту залізовмісної речовини (ЗВК) на щільність спіненого цементного каменю.

Наступна група дослідів була присвячена вивченню впливу залізовмісної речовини на міцність спіненого цементного каменю. Як свідчать результати дослідів (рис. 2), збільшення вмісту сполук заліза в системі до 2,2 гр./л приводить до зростання міцності спіненого цементного каменю. Але подальше підвищення його вмісту призводить до зниження міцності.

Вплив ЗВК на щільність бетону залишається таким же, як і його вплив на щільність цементного каменю (рис. 3). Однак у цьому випадку введення в систему заповнювача зменшує її щільність. Це підтверджується тим, що щільність бетону при збільшенні в ньому вмісту ЗВК до певної межі менша, ніж щільність цементного каменю.

Введення до складу пінобетону ЗВК значно впливає на міцність бетону (рис. 4). Це можна пояснити тим, що ЗВК виконує роль не тільки формувача нових з'єднань, але й структуроутворювального компонента системи – мікронаповнювача.

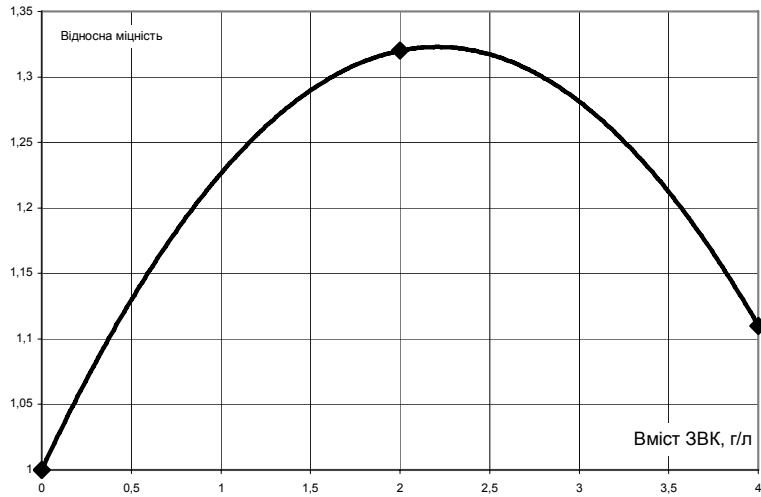


Рисунок 2 – Вплив ЗВК на міцність цементного каменю.

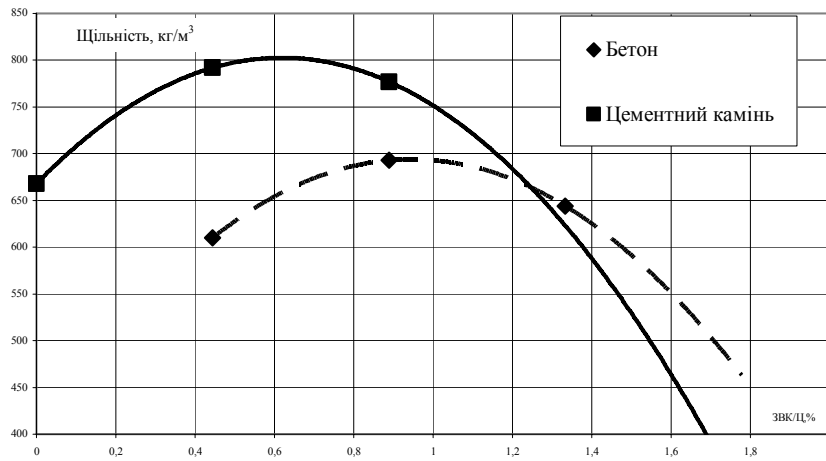


Рисунок 3 – Вплив ЗВК на щільність бетону і цементного каменю.

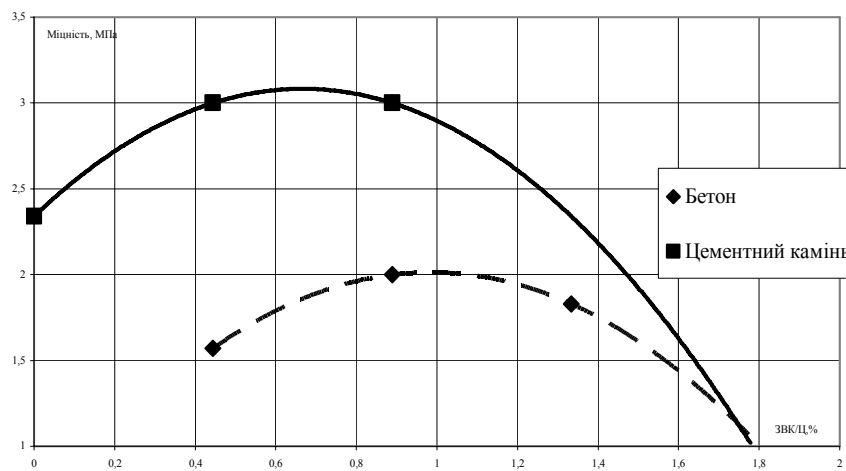


Рисунок 4 – Вплив ЗВК на міцність бетону.

Таким чином, проведені експерименти показали, що введення у пінобетон сполук заліза приводить до зниження щільності бетону, а його міцність зростає. Це відбувається за рахунок утворення нових з'єднань навколо повітряних пор пінобетону, які виникають при взаємодії молекул ПАР із залізо-вмісною речовиною.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии [Текст] : [учеб. для вузов] / Д. А. Фридрихсберг. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Л. : Химия, 1984. – 368 с.
2. Лукьянов, А. Б. Физическая и коллоидная химия [Текст] / А. Б. Лукьянов. – М. : Химия, 1980. – 224 с.
3. Меркин, А. П. Непрочное чудо [Текст] / А. П. Меркин, П. Р. Траубе. – М. : Химия, 1983. – 224 с.
4. Тихомиров, В. К. Пены. Теория и практика их приготовления [Текст] / В. К. Тихомиров. – М. : Химия, 1983. – 264 с.
5. Розенфельд, Л. М. Исследование пенокарбоната [Текст] / Л. М. Розенфельд. – М. : Гос. издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955. – 55 с. – (ЦНИПС, Научное сообщение; вып. 23).
6. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии [Текст] : [учеб. для вузов] / С. С. Воюцкий. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Химия, 1975. – 512 с.
7. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы [Текст] : [учебно-справочное пособие] / Л. И. Касторных. – Ростов н/Д. : Феникс, 2005. – 221 с. – (Строительство).
8. Стольников, В. В. Воздуховлекающие добавки в гидротехническом бетоне [Текст] / В. В. Стольников ; под редакцией П. А. Рибендера. – Л. : Государственное энергетическое издательство, 1953. – 168 с.
9. Коровяков, В. Ф. Методика (методология) научных исследований [Электронный ресурс] / В. Ф. Коровяков, Е. Т. Кобидзе. – Режим доступа к статье : <http://www.stroinauka.ru/d18dr6514m0rr32.html>.
10. Вопросы теории и технологии флотации [Текст] : [труды института Механобр.]. Вып. 124 / Под ред. О. С. Богданова. – Л. : Отраслевое бюро технической информации института Механобр, 1959. – 392 с.
11. Богданов, О. С. Некоторые итоги изучения физики флотационного процесса [Текст] / О. С. Богданов, Б. В. Кизевальтер // Труды II научно-технической сессии института Механобра / Институт механической обработки полезных ископаемых «Механобр». – М. : Metallurgizdat, 1952. – С. 51–86.
12. Philipoff, W. Some dynamic phenomena in flotation [Текст] / W. Philipoff // Min. Engng. – 1952. – V. 4, No. 1. – P. 386.
13. Глембицкий, В. А. Флотация железных руд [Текст] / В. А. Глембицкий, Г. А. Бехтля. – М. : Недра, 1964. – 346 с.
14. Уорк, И. Значение краевого угла для флотации [Текст] / И. Уорк // Новые исследования в области теории флотации / под ред. П. А. Рибендера. – М. –Л. : ОНТИ, 1937. – С. 90–109.

Получено 25.11.2011

А. А. ШИШКИНА

ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА НА СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА

Криворожский национальный университет

Приведены результаты исследований влияния введения в пенобетон соединений железа. Доказано, что пенобетон представляет собой минерализованную пену, которая твердеет вследствие введения в неё твердеющих веществ, например цементов. Показано, что основным свойством пены, обеспечивающим получение пенобетона, является устойчивость пены. Также показан один из путей повышения устойчивости пены – введение в неё стабилизаторов. Исследован механизм минерализации пены. Определено, что минерализаторы повышают устойчивость пены и, как следствие, увеличивают прочность пенобетона. Выяснено, что для улучшения качества процессов гидратации цемента в пенобетонную смесь необходимо вводить железосодержащее вещество. Кроме этого, оксиды железа, вступая во взаимодействие с молекулами поверхностно-активного вещества, образуют на поверхности воздушного пузырька новые соединения, которые будут снаружи укреплять пору. А это, в свою очередь, приведёт к повышению прочности пенобетона.

**прочность, пенобетон, соединения железа, пена, устойчивость**