

**АКТИВАЦІЯ ЦЕМЕНТУ І ЇЇ ВПЛИВ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ
ЦЕМЕНТОВМІЩУЮЧИХ КОМПОЗИЦІЙ**

¹**Барабаш І.В.**, д.т.н., професор,
dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728

¹**Пірогов Д.О.**, аспірант,
pirogovdima45@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4096-3186
¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. У статті розглянуті питання, які пов'язані з механохімічною активацією цементного в'язучого в спеціально сконструйованому роторному протитечійному млині. Приведений короткий опис конструкції протитечійного млина дає загальне уявлення про принцип його дії як активатора поверхневої зони мінерального в'язучого. Зазвичай, позитивною характеристикою мінеральних в'язучих є їх швидкий набір міцності. Тому актуальними є наукові дослідження, які пов'язані з розробкою технології, спрямованої на інтенсифікацію процесів структуроутворення цементного тіста та каменю на його основі. Застосування даної технології дозволяє суттєво підвищити питому поверхню цементу в процесі його активації, скоротити терміни тужавлення, підвищити кількість хімічно зв'язаної води та інтенсифікувати екзотермічний розігрів тверднучого цементного каменю. Наведені експериментальні дані дозволили оптимізувати термін активації в'язучого, який коливався в діапазоні від 60 до 600 сек. Встановлено, що оптимальним, з точки зору енергоємності процесу, є термін активації в'язучого впродовж 300 сек. Протягом цього терміну активації спостерігається зростання питомої поверхні цементу в середньому на 8...10 %, прискорення термінів тужавлення на 50...60 хв, зростання кількості хімічно зв'язаної води в 28-и денному віці з 13 до 16,3 %, зростання максимальної температури екзотермічного розігріву цементного каменю з 53,8 до 64,0 °С. Подальше зростання терміну активації (до 600 сек) незначно впливає на зміну перерахованих властивостей. Вплив механохімічної активації в значній мірі відзеркалюється на міцності цементного каменю на стиск. Встановлено, що активація цементу впродовж 300 сек викликає зростання міцності цементного каменю на стиск з 48 до 57 МПа, тобто майже на 20%. Підсилює ефект механохімічної активації цементу введення до його складу кварцового піску. Експериментально встановлено, що активація цементу з добавкою 20% кварцового піску підвищує міцність наповненого цементного каменю майже на 30% по відношенню до міцності каменю на бездобавочному цементі, який механоактивації не підлягав.

Ключові слова: цемент, активація, екзотермічний розігрів, механоактивоване в'язуче.

Вступ. За рахунок зростання активності мінеральних в'язучих можливо вирішувати ряд важливих задач технологічного і економічного напрямів, пов'язаних як із підвищенням механічних і експлуатаційних характеристик бетонів, так із зниженням їх енерго- і матеріалоємності. Серед різноманітних форм активації в'язучих видне місце займають механохімічні методи, які пов'язані з використанням млинів спеціальних конструкцій. Використання таких млинів дозволяє одержувати кондиційні будівельні матеріали при зниженій витраті мінеральних в'язучих і, зокрема, портландцементу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні способи активації гідратації і структуроутворення цементовміщуючих композицій дуже різноманітні і об'єднані тільки спільністю технологічної мети. До основних методів активації мінеральних в'язучих відносяться: а) більш тонкий помел [1-3]; б) введення поверхньо-активних речовин в процесі помелу клінкеру [4-7]; в) введення в склад портландцементу активних мінеральних добавок [8-14]. Серед методів підвищення активності в'язучих особливе місце займають механохімічні

способи активації, які досить легко ув'язуються з іншими способами фізико-хімічної активації (віброактивація, ультразвукова обробка, магнітний вплив та ін.). Перспективним напрямом слід вважати механохімічну обробку мінеральних в'язучих в трибозмішувачах особливих конструкцій, які досить ефективно забезпечують зростання поверхневої енергії часток в'язучого [15, 16]. Відомо, що внаслідок механічної дії на дисперсні частки в'язучого на їх поверхні виникають, хоч і на дуже короткий час, високоенергетичні стани.

Виходячи з цього, можливо констатувати, що незалежно від характеру механічного впливу на тонкодисперсні частки в'язучого в початковий момент виникає пружна деформація, яка призводить до зміни довжини зв'язків у твердому тілі. Перевищення пружної деформації викликає розвиток пластичної, незворотної деформації і, як наслідок, руйнування. В момент хаотичних переміщень часток, які летять з великою швидкістю, в місцях їх зіткнень в зонах субмікроскопічної деформації відбувається акумулювання енергії. Внаслідок цього процесу в місцях контактів утворюються на дуже короткий час збуджені стани, які в значній мірі послабляють кристалічні решітки. Експериментальні дослідження показали, що в області удару утворюється яскраво виражена разупоряднена структура [17]. Таким чином можливо констатувати, що внаслідок механохімічної активації на всій поверхні дисперсного матеріалу розвивається гранична зона, упорядкованість якої безперервно знижується. Зростання інтенсивності активації тонкодисперсних часток приведе до того, що первісні пластичні деформації змінюються появою тріщин з утворенням нових поверхонь. Для досягнення високого ступеня активації тонкодисперсних часток в'язучого використовується устаткування, у якому ефективно здійснюється тонке подрібнення матеріалу до утворення значної питомої поверхні. Таким чином, одержання цементу з підвищеною активністю пов'язано із зростанням тонини помелу в'язучого. Кульові млини, які використовуються для активації цементу, значно підвищують собівартість продукції за рахунок значного зростання витрати електроенергії. Для вирішення цієї проблеми пропонується спосіб стираючого подрібнення, який реалізується в кульових млинах, замінити на інший спосіб тонкого подрібнення. Виходячи з того, що найбільш перспективним напрямом зниження собівартості активації цементу є зниження енергоємності самого процесу подрібнення, то використання таких агрегатів як струменеві млини, може розглядатися як безальтернативний спосіб підвищення активності в'язучого. Перспективним напрямом можливо рахувати механохімічну обробку портландцементу в спеціально сконструйованому роторному протитечійному млину, який є різновидом струменевих млинів [18].

Мета та методи дослідження. Аналіз наукових робіт, пов'язаних з даною тематикою, зумовив мету даної роботи, яка полягає в покращенні фізико-технічних характеристик в'язучого за рахунок його механохімічної активації. В експериментальних дослідженнях для активації в'язучого використовувався спеціально сконструйований роторний протитечійний млин. В корпусі млина, який має вигляд двох зварених між собою циліндрів, встановлено два вертикальних ротори. Кожний із роторів складається з валу, до якого кріпляться пластини із високоміцної сталі. В зазор між роторами через патрубок, який розташований у верхній частині млина, подається матеріал для тонкого помелу. В нижній зоні млина, на одній осі із живильним патрубком, знаходиться патрубок для виходу меленого матеріалу. Після запуску млина обидва ротори починають обертатись на зустріч один одному із швидкістю 11000 об/хв. При обертанні роторів перед пластинами створюється область підвищеного повітряного тиску, який змушує рухатись подрібнюваний матеріал по радіальній траєкторії. Розігнаний кожним із роторів до певної швидкості подрібнюваний матеріал переміщується в нижню частину млина і транспортується в дозатор бетонозмішуючого відділення. Програмою досліджень передбачалося вивчення впливу механохімічної активації в'язучого в протитечійному млині на властивості цементу (питома поверхня), цементного тіста (нормальна густина, терміни тужавлення, екзотермія твердіючого цементного тіста, кількість хімічно зв'язаної води) і каменю на його основі (міцність на стиск цементного каменю в 28-и денному віці).

Результати досліджень. В дослідженнях, пов'язаних з визначенням впливу активації на властивості цементу та цементного тіста, використовувався сульфатостійкий

шлакопортландцемент ССШПЦ М400-Д-60. Для вивчення впливу терміну механохімічної активації цементу на зміну його питомої поверхні в'язуче піддавалось обробці в протитечійному млину протягом 60, 180, 300 та 600 сек. Для контролю використовувалося в'язуче, яке активації не підлягало. Приведені в табл. 1 експериментальні дані свідчать про те, що механохімічна обробка в'язучого в протитечійному млину приведе до зростання його питомої поверхні з 415 м²/кг (активація відсутня) до 450 м²/кг (активація протягом 600 сек).

Таблиця 1 – Вплив терміну активації на зміну питомої поверхні цементу

| Вид випробування | Термін активації в'язучого, сек | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 0 (контроль) | 60 | 180 | 300 | 600 |
| Питома поверхня, м ² /кг | 415 | 430 | 440 | 445 | 450 |

Слід відмітити досить інтенсивне зростання питомої поверхні цементу в перші 60 сек активації (від 415 до 430 м²/кг). В подальшому зростання питомої поверхні сповільнюється, досягаючи 445 м²/кг після 300 сек активації. Подальша обробка цементу в протитечійному млині (від 300 до 600 сек) викликає незначний приріст питомої поверхні (не більше ніж на 5 м²/кг – з 445 до 450 м²/кг).

Експериментально встановлено, що активація цементу в роторному протитечійному млину викликає зростання нормальної густоти в'язучого з 28,0 (активація відсутня) до 29,0% (активація впродовж 300 сек), табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив терміну активації цементу на зміну нормальної густоти цементного тіста

| Вид випробування в'язучого | Термін активації в'язучого, сек | | | | |
|----------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
| | 0 (контроль) | 60 | 180 | 300 | 600 |
| Нормальна густота, % | 28,0 | 28,4 | 28,7 | 29,0 | 29,2 |

Зростання терміну активації цементу від 300 до 600 сек викликає незначне зростання нормальної густоти в'язучого з 29,0 до 29,2 %. Таким чином, можливо вважати в розрахунках, пов'язаних з підбором складу бетону, що зростання нормальної густоти цементного тіста внаслідок механоактивації в'язучого не перевищує 3...5 % (в порівнянні з контролем). Експериментальні дані термінів тужавлення цементного тіста нормальної густоти свідчать про те, що активація цементу в протитечійному млині викликає прискорення як початку, так і кінця тужавлення, табл. 3.

Таблиця 3 – Вплив активації цементу в роторному млині на терміни тужавлення цементного тіста нормальної густоти

| Термін активації, сек | Початок тужавлення, год-хв | Кінець тужавлення, год-хв |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0 | 2 - 55 | 4 - 50 |
| 60 | 2 - 25 | 4 - 20 |
| 180 | 2 - 05 | 4 - 00 |
| 300 | 1 - 55 | 3 - 40 |
| 600 | 1 - 50 | 3 - 30 |

Слід відзначити, що активація цементу протягом перших 300 сек викликає скорочення термінів тужавлення (в порівнянні з контролем) в середньому на 1 год. Подальша обробка цементу в протитечійному млині практично не позначається на скороченні як початку, так і кінця тужавлення.

В дослідженнях, які пов'язані з визначенням механізму гідратації активованого цементу до першочергових задач відносять визначенню кінетичних параметрів процесів структуроутворення і, зокрема, кількості хімічно зв'язаної води. Як відзначалося раніше, в результаті зіткнення двох твердих тіл в локальній зоні спостерігається руйнування кристалічної

решітки, що приведе до зародження тріщин в зернах цементу. Зіткнення часток в'язучого викликає зростання питомої поверхні цементу. Зростання питомої поверхні викликає появу нової кількості активних центрів в одиниці об'єму, що веде до зміни умов контактування часток цементу як між собою, так і з дисперсійним середовищем. Таким чином, взаємодія часток цементу при їх зіткненні викликає аморфізацію їх поверхонь, що веде до підвищення їх реакційної здатності, яка віддзеркалюється кількістю хімічно зв'язаної води. Для визначення кількості хімічно зв'язаної води передбачалось виготовлення цементного тіста з В/Ц = 0,28 (нормальна густина) із якого виготовлялись зразки (по одному для кожного терміну активації – 60, 180, 300 і 600 сек), і які витримувалися в нормальних умовах протягом 1, 3 та 28 діб. Через задані терміни тверднення зразки тонко подрібнювалися і підлягали висушуванню при температурі 105...110°C до постійної маси. Висушену навіску (приблизно 5г) розміщували у порцеляновому тиглі і піддавали прожарюванню до постійної маси при температурі 950 – 1000°C. Кількість хімічно зв'язаної води B (в %) розраховувалася за формулою (1):

$$B = \frac{a-b}{a} \cdot 100, \quad (1)$$

де: a – маса абсолютно сухого зразка до прожарювання, г;

b – маса прожареного зразка, г.

Приведені графічні залежності, рис. 1, свідчать про те, що активація зерен цементу викликає підвищення кількості хімічно зв'язаної води (в порівнянні з цементним каменем, в'язуче якого активації не підлягало). Аналіз графічних залежностей показує, що термін активації цементу впливає на кількість хімічно зв'язаної води, досягаючи максимального значення при його 10-ти хвилинній обробці в роторному протитечійному млині. Слід відзначити, що основна кількість хімічно зв'язаної води досягається при активації цементу протягом 300 сек. Подальше зростання терміну активації (до 600 сек) незначно впливає на збільшення кількості хімічно зв'язаної води і не перевищує 3...5 %.

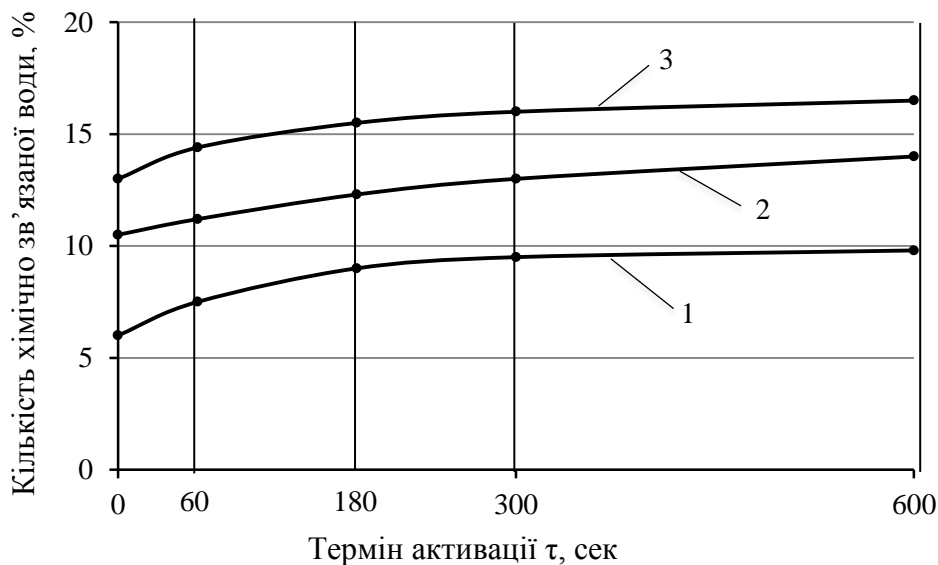


Рис. 1. Вплив терміну активації цементу (сек) на кількість хімічно зв'язаної води (%) в цементному камені:

1, 2, 3 – терміни тверднення цементного каменю 1, 3 та 28 діб відповідно

Важливою характеристикою в'язучого є його кінетика екзотермічного розігріву, яка досліджувалася за допомогою термосної установки з використанням сосуда Д'юара. Для визначення екзотермічного розігріву готувалися зразки із цементного тіста з В/Ц=0,28. Фіксація температури тверднучого цементного тіста здійснювалася через кожну годину до того моменту, коли наступний показник розігріву не змінювався по абсолютній величині або був нижче попереднього. Механоактивація цементу здійснювалася в роторному протитечійному млині протягом 60, 180, 300 і 600 сек. Для контролю виготовлявся зразок із

цементного тіста на немеханоактивованому в'язучому. Результати екзотермічного розігріву тверднучого цементного каменю приведені в табл. 4.

Одержані експериментальні результати свідчать про те, що активація цементу в роторному протитечійному млині суттєво впливає на кінетику екзотермічного розігріву твердіючого цементного каменю. Слід відмітити якісний вплив зростання терміну активації (до 300 сек) на величину максимального розігріву цементного каменю. Зростання терміну активації цементу від 300 до 600 сек сприяє підвищенню екзотермічного розігріву, але в значно меншій мірі, ніж при активації впродовж 300 сек. Так, якщо зростання терміну активації від 0 до 300 сек сприяє зростанню максимальної температури розігріву від 53,8°C до 64,0°C (активація – 300 сек), то подальша активація цементу (від 300 до 600 сек) викликає зростання температури розігріву цементного каменю не більше, ніж на 2,1 °С.

Таблиця 4 – Вплив активації на екзотермічний розігрів цементного каменю

| Термін активації цементу, сек | Початкова тем-ра цем. тіста, С | Температура екзотермічного розігріву цементного каменю через, год | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| 0 | 20,6 | 20,6 | 20,6 | 20,7 | 21,0 | 22,0 | 26,2 | 30,0 | 34,8 | 44,5 | 53,8 | 53,6 | 53,1 |
| 60 | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 21,0 | 21,8 | 22,7 | 26,9 | 32,8 | 39,2 | 50,2 | 59,2 | 59,2 | 58,6 |
| 180 | 20,5 | 20,5 | 20,7 | 21,8 | 22,6 | 25,8 | 31,4 | 38,0 | 49,1 | 61,0 | 60,8 | 60,4 | 59,4 |
| 300 | 20,3 | 20,3 | 20,3 | 23,2 | 26,4 | 31,5 | 40,6 | 51,1 | 64,3 | 64,3 | 64,0 | 63,8 | 63,6 |
| 600 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 23,9 | 28,4 | 34,0 | 42,4 | 57,8 | 66,2 | 66,2 | 66,1 | 66,0 | 65,5 |

Експериментально визначався також вплив механохімічної активації цементу з добавкою кварцового піску (в кількості до 50 % маси в'язучого) на міцність наповненого цементного каменю в 28-и денному віці. В цьому разі в дослідженнях використовувався портландцемент ПЦ П/А-Ш-500 з високим вмістом клінкеру (від 80 до 94%) та кварцовий пісок з $M_k=2,5$. Механохімічна активація портландцементу, а також суміші (портландцемент + кварцовий пісок) в роторному протитечійному млині здійснювалася протягом 60, 180, 300 і 600 сек. Одержане цементно-піщане в'язуче після механоактивації трактується як змішане в'язуче. Для контролю використовувався портландцемент з добавкою немеленого кварцового піску в тій же кількості (від 10 до 50 % маси цементу). Одержана суміш механоактивації не підлягала. В експерименті визначалася міцність на стиск зразків-балочок розміром $4 \times 4 \times 16$ см, які були виготовлені з використанням змішаного в'язучого. Витрата води визначалася діаметром розпливу цементного тіста на приборі Суттарда в діапазоні 90 ± 5 мм. Наведені на рис. 2 експериментальні криві свідчать про те, що активація змішаного в'язучого викликає підвищення міцності на стиск цементного каменю в зоні максимуму з 52 МПа (термін активації 60 сек) до 62 МПа (термін активації 300 сек), тобто майже на 20 %. Зростання терміну активації до 600 сек незначно впливає на зростання міцності цементного каменю і не перевищує 3...5 %. Слід відмітити неоднозначний вплив вмісту кварцового піску на міцність цементного каменю для різних технологій виготовлення в'язучого. Якщо для контрольних зразків характерно зниження міцності на стиск при зростанні вмісту в цементі кварцового піску, то для цементного каменю на змішаному в'язучому спостерігається підвищення міцності із зростанням витрати кварцового піску. Максимальний приріст міцності спостерігається при введенні в змішане в'язуче 20 % кварцового піску. В цьому разі міцність на стиск цементного каменю стає рівною 62 МПа (термін активації 300 сек), що на 10 % перевищує міцність бездобавочного цементного каменю на механоактивованому портландцементі.

Слід відмітити, що міцність цементного каменю на змішаному в'язучому з 20%-ною добавкою кварцового піску майже на 30 % перевищує міцність цементного каменю на портландцементі, який механоактивації не підлягав.

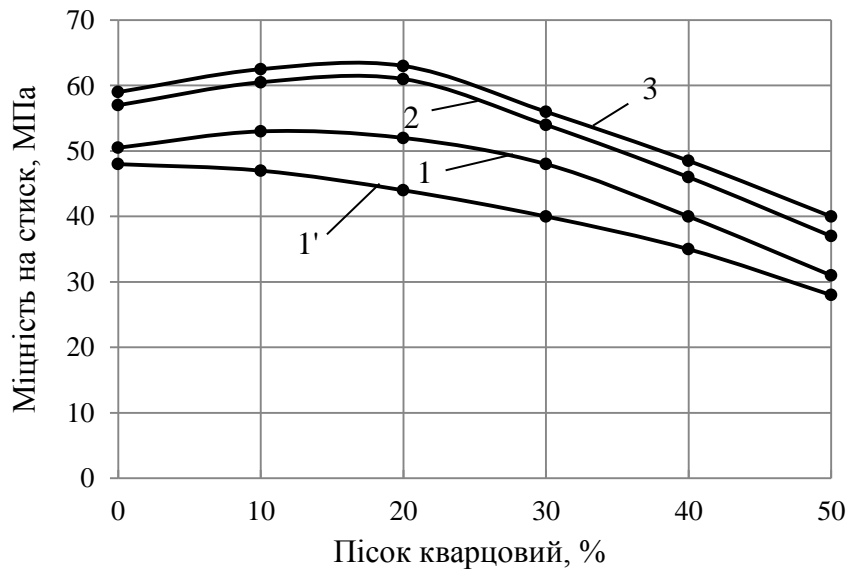


Рис. 2. Вплив вмісту кварцового піску на міцність цементного каменю в віці 28-и днів:
1, 2, 3 – цементний камінь на змішаному в'язучому, активованого протягом 60, 300 і 600 сек;
1' – цементний камінь на немеханоактивованому цементі з добавкою кварцового піску
(контроль)

Висновки.

1. Експериментальні дані свідчать про те, що активація цементу в роторному протитечійному млині викликає підвищення швидкості реакції гідратації в'язучого, що відображається на скороченні термінів тужавлення цементу, підвищенні кількості хімічно зв'язаної води, інтенсифікації екзотермічного розігріву та зростанні міцності на стиск цементного каменю.

2. Одержані експериментальні результати свідчать про те, що оптимальний термін активації цементу в протитечійному млині не перевищує 300 сек. Подальше зростання терміну активації незначно впливає на покращення досліджуваних характеристик як цементу, так і тверднучого цементного каменю.

Література

1. Сокольцов В.Ю., Шпілер Г.С. Вплив стану кремнезему на його реакційну здатність. *Мат-ли VI міжнародної науково-технічної WEB конференції "Композиційні матеріали"*, Київ: НТТУ. КПІ, 2012. С.64-66.
2. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Проектування складів бетонів. Монографія. Рівне: НУВГП, 2015. 353с.
3. Дворкін Л.Й. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони. Дворкін Л.Й., Бабич Є.М., Житковський В.В., Бордюженко О.М., Кочкар'єв Д.В., Філіпчук С.В., Ковалик І.В., Ковальчук Т.В., Скрипник М.М. Рівне: НУВГП, UNSPECIFIED, 2017. 331с.
4. Johann Plank, Christian Hirsch. Impact of zeta potenzial of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption. *Cement and Concrete Research: Germany*, 2007. №37. P. 537-542.
5. Ушеров-Маршак О.В. Хімічні і мінеральні добавки в бетон. Харків: Колорит, 2005. 280с.
6. Ушеров-Маршак А.В., Кабусь А.В. Функціонально-кінетический анализ влияния добавок на твердение цементов. *Неорганические материалы*, 2016. Том 52, №4. С. 479-484.
7. Соболев Х.С. Концепція застосування модифікованих композиційних цементів у будівельному виробництві. *Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва*, 2004. №520. С.179-182.
8. Соболев Х.С., Марків Т.Є, Саницький М.А., Когуц Г.В. Вплив активних мінеральних додатків на властивості композиційних цементів. *Вісник НУЛП: Хімія, технологія речовин та їх застосування*, 2003. №488. С. 274-278.
9. Токарчук В.В., Сокольцов В.Ю., Свідерський В.А. Вплив складу мінеральних

- добавок на властивості цементів. *Технологический аудит и резервы производства*, 2014. №3(5). С. 9-12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2014_3.
10. Giergiczny Z., Malolepszy J., Szwabowski J., Sliwinski J. Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonow nowej generacji. *Gorazdze cement*. Opole, 2002. 191s.
 11. Composite cements modified by chemical admixtures. *Proc. International conference*. Kosice (Slovakia), 2005. P. 102-107.
 12. Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ: КНУБА, 2007. 256 с.
 13. Kropyvnytska T., Sanytsky M., Geviuk J. Properties of Portland-composite cements with zeolite tuff. *Journal of Civil Engineering Environment and Architecture, JCEEA*. 2018. Т. XXXV. № 65(3/18). P. 25-34.
 14. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Київ: Аспект-Поліграф, 2010. 228 с.
 15. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин. Одеса: Астропринт, 2002. 100с.
 16. Barabash I.V., Babii I.M., Streltsov K.O. Intensive separate technology and its influence on the properties of cement-water compositions, solutions and concretes on their basis. *Modern construction and architecture*, 2022. Issue № 2. P. 44-51.
 17. Хайнике Г. Трибохимия. М.: Мир, 1987. 584 с.
 18. Пірогов Д.О., Барабаш І.В. Вплив режиму активації на властивості цементу, цементного тіста та каменю на його основі. *Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції "Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій"*, 2023, Одеса: ОДАБА. С. 109-110.

References

- [1] V.Iu. Sokoltsov, H.S. Shpiler, "Vplyv stanu kremnezemu na yoho reaktsiinu zdatnist", *Mat-ly VI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi WEB konferentsii "Kompozytsiini materialy"*, Kyiv: NTTU. KPI, 2012, pp. 64-66.
- [2] L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin, *Proektuvannia skladiv betoniv*. Monohrafiia. Rivne: NUVHP, 2015.
- [3] L.I. Dvorkin, *Vysokomitsni shvydkotverdnuchi betony ta fibrobetony*. Dvorkin L.I., Babych Ye.M., Zhytkovskyi V.V., Bordiuzhenko O.M., Kochkarov D.V., Filipchuk S.V., Kovalyk I.V., Kovalchuk T.V., Skrypnyk M.M. Rivne: NUVHP, UNSPECIFIED, 2017.
- [4] Johann Plank, Christian Hirsch, "Impact of zeta potenzial of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption", *Cement and Concrete Research: Germany*, no. 37, pp. 537-542, 2007.
- [5] O.V. Usherov-Marshak, *Khimichni i mineralni dobavky v beton*. Kharkiv: Koloryt, 2005.
- [6] A.V. Usherov-Marshak, A.V. Kabus, "Funktsionalno-kineticheskii analiz vliyaniya dobavok na tverdenie tsementov", *Neorganicheskie materialy*, Tom 52, no. 4, pp. 479-484, 2016.
- [7] Kh.S. Sobol, "Kontseptsiiia zastosuvannia modyfikovanykh kompozytsiinykh tsementiv u budivelnomu vyrobnystvvi", *Visnyk NULP: Teoriia i praktyka budivnystva*, no. 520, pp.179-182, 2004.
- [8] Kh.S. Sobol, T.Ie. Markiv, M.A. Sanytskyi, H.V. Kohuch, "Vplyv aktyvnykh mineralnykh dodatkov na vlastyvoli kompozytsiinykh tsementiv", *Visnyk NULP: Khimiia, tekhnolohiia rehovyn ta yikh zastosuvannia*, no. 488, pp. 274-278, 2003.
- [9] V.V. Tokarchuk, V.Iu. Sokoltsov, V.A. Sviderskyi, "Vplyv skladu mineralnykh dobavok na vlastyvoli tsementiv", *Tekhnologicheskii audit i rezervi proizvodstva*, no. 3(5), pp. 9-12, 2014.
- [10] Z. Giergiczny, J. Malolepszy, J. Szwabowski, J. Sliwinski, *Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonow nowej generacji*. Gorazdze cement. Opole, 2002.
- [11] Composite cements modified by chemical admixtures. *Proc. International conference*. Kosice (Slovakia), 2005. pp. 102-107.

- [12] R.F. Runova, Yu.L. Nosovskyi, *Tekhnolohiia modyfikovanykh budivelnykh rozchyniv*. Kyiv: KNUBA, 2007.
- [13] T. Kropyvnytska, M. Sanytsky, J. Geviuk, "Properties of Portland-composite cements with zeolite tuff", *Journal of Civil Engineering Environment and Architecture, JCEEA*, T.XXXV, no. 65(3/18), pp. 25-34, 2018.
- [14] V.V. Troian, *Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv*. Kyiv: Aspekt-Polihraf, 2010.
- [15] I.V. Barabash, *Mekhanokhimichna aktyvatsiia mineralnykh viazhuchykh rehovyn*. Odesa: Astroprint, 2002.
- [16] I.V. Barabash, I.M. Babii, K.O. Streltsov, "Intensive separate technology and its influence on the properties of cement-water compositions, solutions and concretes on their basis", *Modern construction and architecture*, Issue no. 2, pp. 44-51, 2022.
- [17] G. Khainike, *Tribokhimiya*. Moskva: Mir, 1987.
- [16] D.O. Pirohov, I.V. Barabash, "Vplyv rezhymu aktyvatsii na vlastyvoli tseментu, tseментного тiста та kameniu na yoho osnovi", *Zbirnyk tez mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Strukturoutvorennia ta ruinuvannia kompozytsiinykh budivelnykh materialiv ta konstruksii"*, Odesa: ODABA. 2023, pp.109-110.

ACTIVATION OF CEMENT AND ITS INFLUENCE ON STRUCTURE FORMATION OF CEMENT-CONTAINING COMPOSITIONS

¹**Barabash I.V.**, Doctor of Engineering, Professor, dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728

¹**Pirogov D.O.**, graduate student, pirogovdima45@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4096-3186
¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrikhson str., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The article discusses issues related to the mechanochemical activation of the cement binder in a specially designed rotary counterflow mill. The given brief description of the design of a counterflow mill gives a general idea of the principle of its operation as an activator of the surface zone of a mineral binder. Typically, a positive characteristic of mineral binders is their rapid increase in strength. Therefore, scientific research related to the development of technology aimed at intensifying the processes of structure formation of cement paste and stone based on it is relevant. The use of this technology makes it possible to significantly increase the specific surface area of cement during its activation, reduce the setting time, increase the amount of chemically bound water and intensify the exothermic heating of hardening cement stone. The presented experimental data made it possible to optimize the activation period of the binder, which ranged from 60 to 600 seconds. It has been established that the optimal time from the point of view of the energy intensity of the process is the activation period of the binder for 300 seconds. During this activation period, there is an increase in the specific surface area of cement by an average of 8...10%, acceleration of setting time by 50...60 minutes, an increase in the amount of chemically bound water at 28 days of age from 13 to 16.3%, an increase in the maximum temperature of exothermic heating cement stone from 53.8 to 64.0 °C. A further increase in the activation period (up to 600 seconds) has little effect on the change in the listed properties. The effect of mechanochemical activation is significantly reflected in the compressive strength of cement stone. It has been established that activation of cement for 300 seconds causes an increase in the compressive strength of cement stone from 48 to 57 MPa, that is, by almost 20%. The effect of mechanochemical activation of cement is enhanced by the introduction of quartz sand into its composition. It has been experimentally established that the activation of cement with the addition of 20% quartz sand increases the strength of the filled cement stone by almost 30% relative to the strength of the stone using unadded cement that is not subject to mechanical activation.

Keywords: cement, activation, exothermic heating, mechanically activated binder.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2023