

УДК 666.9.022

ВПЛИВ МЕХАНОХІМІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ КОМПОЗИЦІЙНОГО ЦЕМЕНТУ НА МІЦНІСТЬ БУДІВЕЛЬНОГО РОЗЧИНУ

Барабаш І. В.¹, Пірогов Д. О.¹

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація. В статті розглянуті питання, які пов'язані з використанням в технології виготовлення розчинових сумішей та будівельних розчинів на їх основі швидкісних змішувачів, робота яких викликає механохімічну активацію в'язучого. Використаний в роботі роторний протитечійний млин виконує роль активатора поверхневої зони як зерен портландцементу, так і зерен кварцового піску і, таким чином, сприяє інтенсифікації процесів структуроутворення як цементного тіста, так і будівельного розчину на його основі. Виходячи з того, що одним із перспективних напрямів зниження витрат на активацію цементу є зниження енергоємності самого процесу диспергації, то використання відносно малоенергоємних роторних млинів може розглядатися як ефективний спосіб підвищення активності в'язучого.

Після сумісної активації портландцементу та немолотого кварцового піску (кількість якого корегувалася від 0 до 50 % маси цементу; термін активації - 300 сек) були виготовлені зразки із рівнов'язкого цементного тіста. Експериментально встановлено, що максимальна міцність цементного каменю в 28-и денному віці досягалася при використуванні композиційного цементу з 20 %-им вмістом активованого піску. Для визначення впливу досліджуваних факторів, таких, як витрата механоактивованого композиційного в'язучого, концентрації суперпластифікатору С-3 (0...1,5 %) та витрати мікрокремнезему (0...10 %) на міцність будівельного розчину в 2-х та 28-и денному віці, був проведений 3-х факторний експеримент. Встановлено, що в дослідженому періоді тверднення найбільший вплив на міцність на стиск для досліджених складів будівельного розчину (від 1:3 до 1:1) надає вміст в них механоактивованого композиційного цементу. Наступним за впливом на міцність будівельного розчину є витрата суперпластифікатору С-3. Зростання міцності на стиск будівельного розчину від введення до його складу мікрокремнезему не перевищує 10-15 %. Сумісний вплив механоактивації в'язучого і використання добавки С-3 забезпечує зростання міцності будівельного розчину (склад розчину 1:1) в 28-и денному віці з 43,5 МПа (неактивоване в'язуче; добавка С-3 відсутня) до 63 МПа, тобто майже на 45 %. Для будівельного розчину аналогічного віку з меншою витратою композиційного цементу (склад розчину 1:3) механоактивація в'язучого в присутності 1,5 % добавки С-3 забезпечує зростання міцності розчину на стиск з 21 МПа (в'язуче немеханоактивоване; С-3 =0 %) до 39 МПа.

Ключові слова: композиційний цемент, будівельний розчин, розчинова суміш, активація, протитечійний млин.

INFLUENCE OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION OF COMPOSITE CEMENT FOR THE STRENGTH OF MORTAR

I. Barabash¹, D. Pirogov¹

¹Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article discusses issues related to the use of technology for the production of mortar mixtures and mortars based on high-speed mixers, the operation of which causes mechanochemical activation of the binder. The rotary counterflow mill used in the work acts as an activator of the surface zone of both Portland cement grains and quartz sand grains and, thus, contributes to the intensification of the processes of structure formation of cement paste and mortar based on it. Based on the fact that one of the promising ways to reduce the cost of cement activation is



to reduce the energy intensity of the dispersion process itself, the use of relatively low-energy rotary mills can be considered as an effective way to increase the activity of the binder.

After the joint activation of Portland cement and unground quartz sand (the amount of which was adjusted from 0 to 50 % of the cement mass; activation period - 300 seconds), samples were made from equal-viscosity cement paste. It was experimentally established that the maximum strength of cement stone at 28 days of age was achieved when using composite cement with a 20 % content of activated sand. To determine the influence of the studied factors, such as the consumption of mechanically activated composite binder, the concentration of superplasticizer C-3 (0...1,5 %) and the consumption of microsilica (0...10 %) on the strength of the mortar in 2 and 28-day old, a 3-factor experiment was conducted. It was established that in the studied hardening period, the content of mechanically activated composite cement has the greatest influence on the compressive strength for the studied mortar compositions (from 1:3 to 1:1). The next most important influence on the strength of the mortar is the consumption of superplasticizer C-3. The increase in compressive strength of a mortar from the introduction of microsilica into its composition does not exceed 10-15 %. The combined effect of mechanical activation of the binder and the use of the C-3 additive ensures an increase in the strength of the mortar (mortar composition 1:1) at 28 days of age from 43,5 MPa (non-activated binder; no C-3 additive) to 63 MPa, that is, almost by 45 %. For a mortar of similar age with a lower consumption of composite cement (mortar composition 1:3), mechanical activation of the binder in the presence of 1,5 % C-3 additive ensures an increase in the compressive strength of the mortar from 21 MPa (non-mechanically activated binder; C-3 = 0 %) to 39 MPa.

Keywords: composite cement, mortar, mortar mixture, activation, counterflow mill.

1 ВСТУП

Цементний камінь, який має в своєму складі мелений кварцовий пісок, характеризується відносно незначними об'ємними деформаціями і володіє високою міцністю та корозійною стійкістю. Вміст меленого кварцового піску в цементі, який використовується для виготовлення будівельних розчинів і які твердіють в нормальних умовах, складає 20...40 %. Кварцовий пісок, який використовується в якості мінеральної добавки до портландцементу, повинен характеризуватися високим вмістом кремніюкислоти (не менше 90 %), а вміст часток менше 0,05 мм не повинен перевищувати 3 %. В умовах традиційної технології виготовлення будівельних розчинів мелений кварцовий пісок практично не вступає в хімічну взаємодію з продуктами гідратації в'язучого і введення його до складу цементу викликає зниження міцності як цементного каменю, так і будівельного розчину на його основі. Тому особливо актуальним є пошук нових технологічних прийомів, які дозволяють активувати поверхневий шар як зерен кварцового піску так і часток цементу і, таким чином, прискорити процес структуроутворення тверднучої системи і зростання її міцності.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Використання в технології виготовлення портландцементу мінеральних добавок з метою економії в'язучого, регулювання властивостей будівельних розчинів і бетону є одним із найбільш ефективних технологічних прийомів, який з успіхом застосовується в будівельній практиці [1-3]. Серед мінеральних добавок природного походження особливе місце займають кварцові піски, які при спільному подрібненні з портландцементом утворюють композиційний цемент [4-6]. Композиційний цемент сприяє формуванню більш щільної дрібнопористої структури цементного каменю, підвищенню його водонепроникності та морозостійкості [7-9]. Покращення властивостей цементного каменю на композиційному цементі, на наш погляд, обумовлено тим, що частки кварцового піску, маючи достатньо високу міцність, рівномірно розподіляються в процесі активації в порожнинах між зернами цементу, виконуючи роль центрів кристалізації і після завершення процесу гідратації остаються рівномірно розподіленими в камені, покращуючи його структуру. Саме наявність значної кількості центрів кристалізації забезпечує утворення щільної структури цементного каменю. В технології виготовлення будівельних розчинів значна увага приділяється як вивченню властивостей розчинових сумішей, так і раціональним способам їх виготовлення для отримання будівельних розчинів заданої якості [10, 11]. В практиці приготування розчинових сумішей широке розповсюдження одержали швидкісні змішувачі різних конструкцій, робота яких викликає активацію в'язучого. Перспективним напрямком слід вважати механохімічну обробку портландцементу в трибозмішувачах особливих конструкцій - струйних млинах, які досить ефективно забезпечують зростання поверхневої енергії часток в'язучого. Виходячи з того, що найбільш перспективним напрямом зниження собівартості активації цементу є зниження енергоємності самого процесу активації, то використання таких агрегатів може розглядатися як безальтернативний спосіб підвищення активності в'язучого. Перспективним напрямом слід рахувати механохімічну обробку композиційного портландцементу в спеціально сконструйованому роторному протитечійному млині, який є різновидом струйних млинів [12].

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вище викладене зумовило мету даної роботи, яка полягає в експериментальному підтвердженні можливості підвищення міцності будівельного розчину за рахунок використання механоактивованого композиційного цементу.

Сумісна активація портландцементу та немолотого кварцового піску здійснювалася в роторному протитечійному млині протягом 60, 180, 300 і 600 сек. Концентрація кварцового піску в композиційному цементі коливалась від 0 до 50 % (по масі). Для контролю виготовлялось змішане в'язуче (цемент + кварцовий пісок), яке механоактивації не підлягало. Концентрація кварцового піску в змішаному в'язучому коливалась в тому ж діапазоні (від 0 до 50 % по масі).

Після визначення оптимального за складом композиційного цементу (критерій - максимальна міцність на стиск в 28-и денному віці) був проведений 3-х факторний експеримент з метою визначення впливу досліджуваних факторів (витрата композиційного в'язучого, концентрація суперпластифікуючої добавки С-3 та витрати мікрокремнезему) на міцність будівельного розчину в 2-х та 28-и денному віці.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В дослідженнях в якості в'язучого використовувався портландцемент ПЦ П/А-Ш-500, який відповідає вимогам ДСТУ Б В. 2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівного призначення. Технічні умови».

Для визначення оптимального складу композиційного цементу здійснювалася механохімічна активація портландцементу, а також портландцементу з добавкою кварцового піску (в кількості від 10 до 50 % його маси) впродовж 60, 180, 300 і 600 сек. За критерій оптимальності була прийнята максимальна міцність цементного каменю в 28-и денному віці. Для цього досліджувалася міцність на стиск зразків-балочок розміром 40x40x160 мм, які були виготовлені з використанням композиційного цементу. Витрата води визначалася діаметром розпливу цементного тіста на приборі Суттарда в діапазоні 90 ± 5 мм. Наведені на рис. 1 експериментальні криві свідчать про те, що активація композиційного цементу протягом 300 сек викликає підвищення міцності на стиск цементного каменю в зоні максимуму з 52 МПа (термін активації 60 сек) до 62 МПа (термін активації 300 сек).

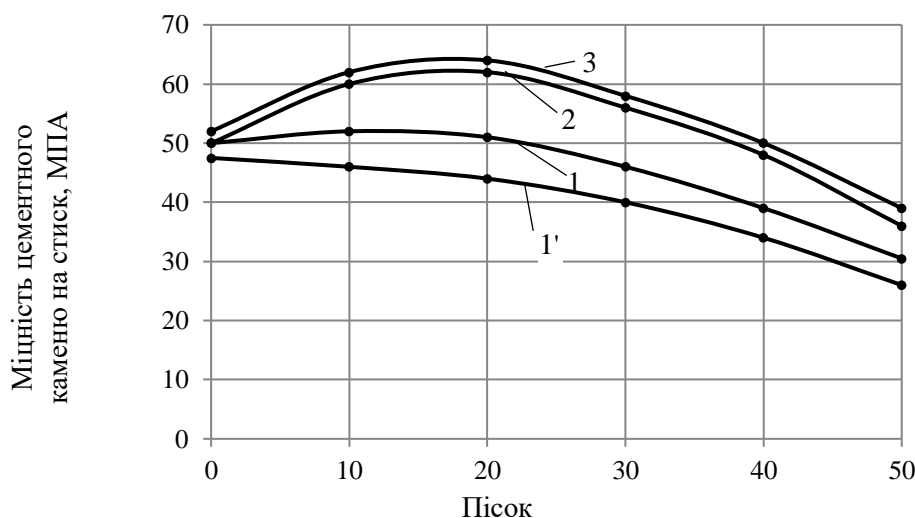


Рис. 1. Вплив вмісту кварцового піску на міцність цементного каменю в віці 28-и днів:
1,2,3 - цементний камінь на композиційному цементі, активованого протягом 60, 300 і 600 сек;
1' - цементний камінь на немеханоактивованому портландцементі з добавкою кварцового піску

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 композиційному цементі спостерігається підвищення міцності із зростанням витрати кварцового піску. Максимальний приріст міцності спостерігається при введенні в композиційний цемент 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 композиційному цементі з 20 %-ою добавкою кварцового піску майже на 30 % перевищує міцність цементного каменю на бездобавочному портландцементі, який механоактивації не підлягав. В подальшому в дослідженнях використовувався композиційний портландцемент, який отримувался механоактивацією протягом 300 сек суміші портландцементу з 20%-ою добавкою кварцового піску.

Представляв інтерес з'ясувати вплив витрати композиційного цементу на міцність будівельного розчину. Поряд з цим фактором варіювалися також наступні незалежні змінні: витрата суперпластифікатору С-3 та мікрокремнезему.

Для вирішення поставленої задачі був реалізований 3-х факторний експеримент з 15-ти точковим симетричним планом. В експерименті варіювалися такі фактори складу:

X_1 – цементно-піщане відношення від 1:3 до 1:1;

X_2 – кількість суперпластифікатору С-3 (в % від маси цементу) $-0,75 \pm 0,75$;

X_3 – кількість мікрокремнезему (в % від маси цементу) -5 ± 5 .

Для контролю проводився планований експеримент на немеханоактивованому портландцементі з 20 %-ою добавкою кварцового піску. Всі досліджені розчинні суміші характеризувалися рівною рухомістю, яка складала 130 мм розпливу конусу (після 30-и струшувань на струшуючому столику).

План експерименту і склади досліджених будівельних розчинів приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

План експерименту і склади будівельних розчинів

№ з/п	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	Склад будівельної розчинової суміші			
				В'язуче/ Пісок	С-3, %	МК, %	В'язуче, г	Пісок кв., г	С-3, г	Мікро- кремнезем, г
1	-	-	-	0,33	0	0	500	1500	0	0
2	-	+	-	0,33	1,5	0	500	1500	6,0	0
3	0	0	-	0,50	0,75	0	667	1333	3,75	0
4	+	-	-	1,00	0	0	1000	1000	0	0
5	+	+	-	1,00	1,5	0	1000	1000	12,0	0
6	-	0	0	0,33	0,75	5	500	1500	3,0	20,0
7	0	-	0	0,50	0	5	667	1333	0	25,0
8	0	0	0	0,50	0,75	5	667	1333	3,75	25,0
9	0	+	0	0,50	1,5	5	667	1333	7,5	25,0
10	+	0	0	1,00	0,75	5	1000	1000	6,0	40,0
11	-	-	+	0,33	0	10	500	1500	0	40,0
12	-	+	+	0,33	1,5	10	500	1500	6,0	40,0
13	0	0	+	0,50	0,75	10	667	1333	3,75	50,0
14	+	-	+	1,00	0	10	1000	1000	0	80,0
15	+	+	+	1,00	1,5	10	1000	1000	12,0	80,0

В результаті статистичної обробки експериментальних даних одержані поліноміальні моделі (1–4) залежності міцності будівельного розчину на стиск (МПа) від досліджуваних факторів:

$$R_{\text{ст}}^{\text{м.2}} = 36,3 + 7,9 \cdot X_1 - 4,6 \cdot X_1^2 + 0,3 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,2 \cdot X_1 \cdot X_3 + 4,7 \cdot X_2 - 0,6 \cdot X_2^2 + 0,5 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2,2 \cdot X_3 - 0,2 \cdot X_3^2 \quad (1)$$

$$R_{\text{ст}}^{\text{м.28}} = 51,2 + 12,0 \cdot X_1 - 6,6 \cdot X_1^2 - 0,5 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,6 \cdot X_1 \cdot X_3 + 5,5 \cdot X_2 + 0,8 \cdot X_2^2 + 0,6 \cdot X_2 \cdot X_3 + 3,1 \cdot X_3 - 1,0 \cdot X_3^2 \quad (2)$$

$$R_{\text{ст}}^{\text{к.2}} = 22,1 + 7,7 \cdot X_1 - 1,7 \cdot X_1^2 + 1,4 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,2 \cdot X_1 \cdot X_3 + 4,4 \cdot X_2 + 0,8 \cdot X_2^2 + 0,7 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,4 \cdot X_3 + 0,3 \cdot X_3^2 \quad (3)$$

$$R_{\text{ст}}^{\text{к.28}} = 40,3 + 10,6 \cdot X_1 - 4,8 \cdot X_1^2 - 0,6 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,5 \cdot X_1 \cdot X_3 + 4,4 \cdot X_2 + 0,4 \cdot X_2^2 + 0,7 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2,3 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_3^2 \quad (4)$$

де $R_{\text{ст}}^{\text{м.2}}$, $R_{\text{ст}}^{\text{м.28}}$ – міцність будівельного розчину на композиційному механоактивованому портландцементі у 2-х денному та 28-и денному віці, МПа;

$R_{\text{ст}}^{\text{к.2}}$, $R_{\text{ст}}^{\text{к.28}}$ – міцність будівельного розчину на традиційному (немеханоактивованому) портландцементі з добавкою 20 % немеленого кварцового піску, МПа.

Аналіз математичних моделей (1–4) показав, що по величині коефіцієнтів при варійованих факторах як на механоактивованому в'язучому, так і на в'язучому, яке не піддавалося механоактивації, найбільший вплив на міцність на стиск будівельного розчину в досліджуваному періоді тверднення надає вміст композиційного цементу в розчині.

Підтвердженням вищесказаного є графічні залежності (рис. 2), які відображають вплив витрати механоактивованого композиційного цементу в розчині на міцність будівельного розчину на стиск в 28-и денному віці.

Експериментально виявлено, що зростання вмісту композиційного цементу в будівельному розчині (від 1:3 до 1:1) приведе до зростання міцності на стиск розчину на механоактивованому в'язучому з 27 МПа до 52 МПа (С-3 = 0 %). Зростання витрати С-3 до 1,5 % маси цементу викликає зростання міцності будівельного розчину на механоактивованому в'язучому від 39 МПа до 63 МПа, тобто більше ніж на 60 %. Міцність розчину на стиск аналогічного за витратою в'язучого, але яке механоактивації не підлягало, не перевищує 51 МПа. Наступним за впливом на міцність будівельного розчину є витрата суперпластифікатору С-3. Зростання його кількості від 0 до 1,5 % викликає зростання міцності розчину на стиск в 28-и денному віці майже на 10 МПа (контроль) і на 12 МПа – на механоактивованому в'язучому. Введення до складу розчинової суміші мікрокремнезему викликає відносно менший приріст міцності на стиск (по відношенню до витрати С-3) і не перевищує 4...5 МПа. Сумісний вплив механоактивації в'язучого і введення добавки С-3 забезпечує зростання міцності будівельного розчину на композиційному цементі в 28-и денному віці (склад розчину 1:1) з 43,5 МПа (контроль) до 63 МПа, тобто майже на 45 %. Для будівельного розчину з меншою витратою композиційного цементу (склад розчину 1:3)

механоактивоване в'язуче в присутності 1,5 % С-3 забезпечує більш значне зростання міцності розчину на стиск - з 20,6 МПа (контроль) до 39 МПа, тобто майже в 1,9 рази.

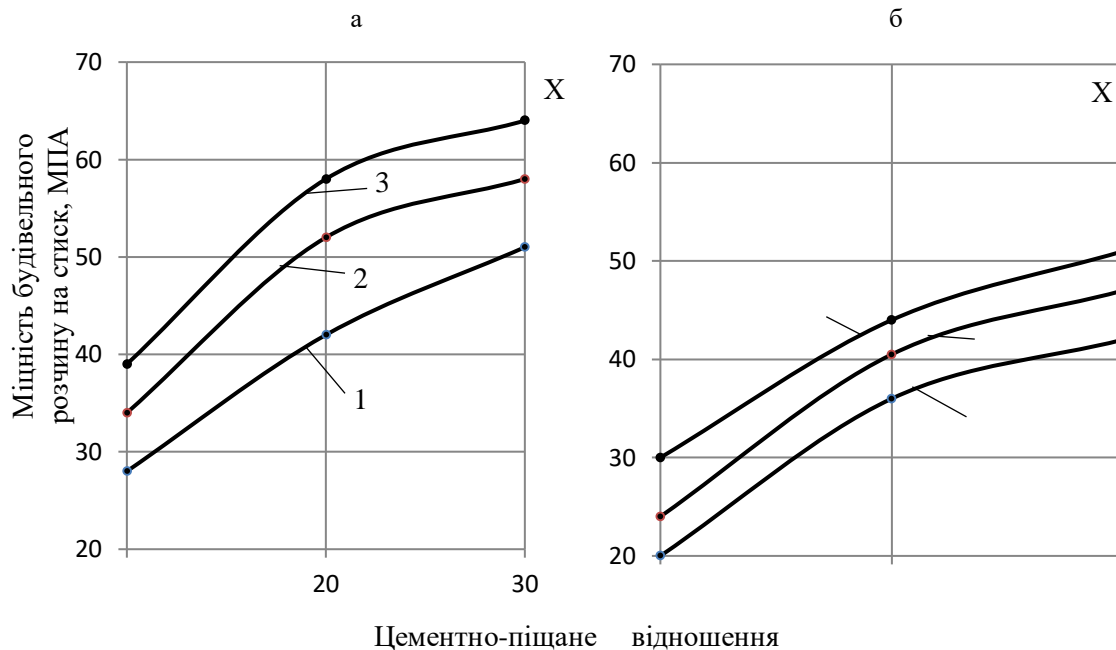


Рис. 2. Вплив цементно-піщаного відношення на міцність будівельного розчину в 28 денному віці: 1,2,3 – витрата суперпластифікатора С-3 в кількості 0, 0,75 і 1,5 % від маси цементу, відповідно; а) в'язуче механоактивоване; б) в'язуче немеханоактивоване (контроль)

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сумісна обробка в протитечійному млині портландцементу з добавкою кварцового піску (до 50 % маси в'язучого) забезпечує зростання міцності цементного каменю, що, на наш погляд, пов'язано із зростанням реакційної здатності як зерен цементу, так і активованої поверхні часток піску. Підвищення реакційної здатності компонентів в'язучого пов'язано з механічним руйнуванням поверхневої зони тонкодисперсних часток цементу та зерен піску в процесі контактної взаємодії між ними в повітряному турбулентному потоці протитечійного млина. Результати експериментальних досліджень дозволили оптимізувати як термін механоактивації, так і кількість кварцового піску в композиційному цементі, які в сукупності забезпечують одержання цементного каменю максимальної міцності.

Для визначення впливу витрати механоактивованого композиційного цементу, вмісту суперпластифікуючої добавки С-3 та витрати мікрокремнезему на міцність будівельного розчину був проведений 3-х факторний планований експеримент. По ефективності впливу на міцність будівельного розчину незалежні фактори розподілилися наступним чином:

- витрата композиційного в'язучого в складі будівельного розчину (в'язуче: кварцовий пісок) - в діапазоні від 1:3 до 1:1;
- витрата суперпластифікатора С-3;
- витрата мікрокремнезему.

Результати досліджень свідчать про ефективність механохімічної обробки композиційного цементу в протитечійному роторному млині. Механоактивоване таким чином композиційне в'язуче забезпечує зростання міцності будівельного розчину в 28-и денному віці від 1,4 до 1,9 рази (в порівнянні з контролем).

5 ВИСНОВКИ

1. Визначено, що механохімічна активація протягом 300 сек портландцементу з добавкою 20 % кварцового піску забезпечує одержання композиційного цементу з міцністю на стиск в 28-и денному віці 62 МПа, що майже на 30 % вище міцності цементного каменю на немеханоактивованому портландцементі без добавки кварцового піску.

2. Використання тільки механоактивації композиційного портландцементу сприяє підвищенню міцності будівельного розчину на стиск в середньому на 23-25 % (в порівнянні з міцністю розчину на цементному в'язучому, яке механоактивації не підлягало).

3. Сумісний вплив механоактивації і суперпластифікуючої добавки С-3 забезпечує зростання міцності будівельного розчину (склад 1:3) на композиційному цементі в 28-и денному віці майже в 1,9 рази (в порівнянні з міцністю розчину аналогічного складу на неактивованому в'язучому і без добавки С-3).

Література

1. Кривенко П. В., Пушкарёва К.К., Гоц В.И., Ковальчук Г.Ю. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков. Киев: Экспресс-Полиграф, 2012. 258с.
2. Дворкін Л. Й., Дворкін О.Л., Мироненко А.В., Степасюк Ю.О. Бетон на малоклінкерному шлакопортландцементі. Будівельні матеріали та виробы, 2013. №4 С.15–18.
3. Саницький М. А., Кропивницька Т.П., Гев'юк І.М. Швидкотверднучі портландцементи з добавкою вапняку. Будівельні матеріали та виробы, 2019. №1/2 (100). С.34–37.
4. Соболев Х. С. Концепція застосування модифікованих композиційних цементів у будівельному виробництві. Вісник НУЛП. Теорія і практика будівництва, 2004. №520. С.179–182.
5. Токарчук В. В., Сокольников В. Ю., Свідерський В. А. Особенности твердения композиционных цементов с силикатными добавками различного происхождения. Східно-Європейський журнал передових технологій, 2015. №3/11 (75) С.9–14.
6. Krivenko P., Sanytsky M., Kropyvnytska T. The effect of nano-silica on the early strength of alkali-activated Portland composite cements. *Solid State Phenomena*. 2018. 296. P.21–26.
7. Троян В. В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Київ: Аспект-Полиграф, 2010. 228с.
8. Дворкін Л. Й., Марчук В.В. Композиційні цементы низької водопотреби і бетони на їх основі. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 2015. Вип. 31. С.59–67.
9. Саницький М. А., Соболев Х. С., Марків Т. Є. Модифіковані композиційні цементы. Львів: НУЛП, 2001. 130с.
10. Рунова Р. Ф., Носовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ: КНУБА, 2007. 256с.
11. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини. Київ: УВПК ЕксОб, 2003. 468с.
12. Пірогов Д. О., Барабаш І.В. Вплив режиму активації на властивості цементу, цементного тіста та каменю на його основі. Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій, 2023. С.109–110.

References

1. Krivenko, P. V., Pushkaryova, K.K., Gots, V.I., Kovalchuk, G.Yu. (2012). *Tsementi i betoni na osnovе toplivnikh zol i shlakov*. [Cements and concretes based on fuel ashes and slags]. (monograph). Kyiv. Ekspress-Poligraf. [in Russian].
2. Dvorkin, L. I., Dvorkin, O.L., Myronenko, A.V., Stepasiuk, Yu.O. (2013). Beton na maloklinkernomu shlakoportlandtsementi. [Concrete on low-clinker slag portland cement]. *Building materials and products*. (4). 15–18. [in Ukraine].

3. Sanytskyi, M.A., Kropyvnytska, T.P., Heviuk, I.M. (2019). Shvidkotverdnuchi portlandtsementi z dobavkoju vapnyaku. [Quick-hardening Portland cements with the addition of limestone]. *Building materials and products*. 1/2 (100). 34–37. [in Ukraine].
4. Sobol, Kh. S. (2004). Kontsepsiya zastosuvannya modifikovanikh kompozitsiynikh tsementiv u budivelnomu virobnitstvi. [The concept of using modified composite cements in construction production]. *Bulletin NULP. Theory and Building Practice*. (520). 179–182. [in Ukraine].
5. Tokarchuk, V. V., Sokoltsov, V.Iu., Sviderskyi, V.A. (2015). Osoblivosti tverdnennya kompozitsiynikh tsementiv z silikatnimi dobavkami riznogo pokhodzhennya. [Features of hardening of composite cements with silicate additives of various origins]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/11 (75). 9–14. [in Ukraine].
6. Krivenko, P., Sanytsky, M., Kropyvnytska, T. (2018). The effect of nano-silica on the early strength of alkali-activated Portland composite cements. *Solid State Phenomena*. (296). 21–26.
7. Troian, V. V. (2010). *Dobavki dlya betoniv i budivelnykh rozchiniv*. [Additives for concrete and mortars]. Kyiv. Aspekt-Poligraf. [in Ukraine].
8. Dvorkin, L. I., Marchuk, V.V. (2015). Kompozitsiini tsementi nizkoї vodopotrebi i betoni na ikh osnovi. [Composite cements of low water consumption and concrete based on them]. *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*. no. 31. 59–67. [in Ukraine].
9. Sanytskyi, M. A., Sobol, Kh.S., Markiv, T.Ie. (2001). *Modifikovani kompozitsiini tsementi*. [Modified composite cements]. Lviv. NULP. [in Ukraine].
10. Runova, R. F., Nosovskyi, Yu.L. (2007). *Tekhnologiya modifikovanikh budivelnykh rozchiniv*. [Technology of modified construction mortars]. Kyiv. KNUBA. [in Ukraine].
11. Hots, V.I. (2003). *Betoni i budivelni rozchini*. [Concretes and mortars]. Kyiv. UVPK EksOb. [in Ukraine].
12. Pirohov, D. O., Barabash, I.V. (2023). Vpliv rezhimu aktivatsii na vlastivosti tsementu, tsementnogo tista ta kamenyu na yogo osnovi. [The influence of the activation mode on the properties of cement, cement paste and stone based on it]. *Structure formation and destruction of composite building materials and structures*. 109–110. [in Ukraine].

Барабаш Іван Васильович

Одеська державна академія будівництва та архітектури
д.т.н., професор
вул. Дідріхсона, 4 Одеса, Україна 65029
dekansti@ukr.net,
ORCID: 0000-0003-0241-4728

Пірогов Дмитро Олексійович

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

Для посилань:

Барабаш І. В., Пірогов Д. О. Вплив механохімічної активації композиційного цементу на міцність будівельного розчину. *Механіка та математичні методи*, 2023. Т. V. № 2. С. 51–59.

For references:

I. Barabash, D. Pirogov (2023). Influence of mechanochemical activation of composite cement for the strength of mortar. *Mechanics and Mathematical Methods*. V(2). 51–59.