

DOI: 10.32347/2076-815x.2025.90.181-190

УДК 666.9.022

д.т.н., професор **Барабаш І.В.**,
dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728,
Кірсанов М.В.,
niki.reserve@gmail.com, ORCID: 0009-0009-2377-159X,
к.т.н., доцент **Стрельцов К.О.**,
0989051837@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5463-7395,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ З ДОБАВКОЮ МЕЛЕНОГО КВАРЦОВОГО ПІСКУ НА ТЕРМО - МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ ТА БУДІВЕЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА ЙОГО ОСНОВІ

В практиці виробництва розчинових сумішей та будівельних розчинів на їх основі широке розповсюдження одержали змішані цементи з використанням мінеральних добавок і, зокрема, меленого кварцового піску. Технологічно такі цементи одержують як сумісним помелом портландцементного клінкеру, двоводного гіпсового каменю та добавки кварцового піску так і ретельним змішуванням портландцементу з меленим кварцовим піском. Перспективним методом покращення механічних характеристик будівельних розчинів з використанням такого виду в'язучого є інтенсивна механохімічна активація його в швидкісних змішувачах турбулентного типу. Розглянуті у статті питання пов'язані з визначенням впливу питомої поверхні меленого піску ($S = 200; 350; 500 \text{ м}^2/\text{кг}$), а також його кількості в змішаному в'язучому (цемент + мелений пісок в діапазоні від 0 до 60 %) на властивості цементного каменю та будівельного розчину. Експериментально виявлено, що розглянута питома поверхня кварцового піску (в зазначеному діапазоні його витрати) практично не впливає як на міцність цементного каменю, так і будівельного розчину на його основі. Стосовно механохімічної активації цементно-водної композиції слід відмітити, що швидкісна обробка сприяє як зростанню кінетики її екзотермічного розігріву так і підвищенню її максимальної температури, досягаючи значення 68°C (в порівнянні з контролем - 54°C – активація в'язучого відсутня).

Експериментальні дані по визначенню впливу механохімічної активації на міцність будівельного розчину свідчать про те, що активована протягом 2-х хвилин цементно-піщана суміш без добавки суперпластифікатора SP-5 забезпечує зростання міцності зразків в 7-и добовому віці з 12,0 МПа до 15,6 МПа – (30%), а в присутності 1,0 % суперпластифікатора – з 18,1 МПа до 23,2

МПа, тобто більше ніж на 28%. Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що сумісне використання механоактивації в присутності меленого кварцового піску та суперпластифікатору SP-5 є ефективним технологічним прийомом, який з успіхом вирішує питання техніко-економічного характеру.

Ключові слова: механоактивація; швидкісний змішувач; екзотермічний розігрів; мелений кварцовий пісок; міцність на стиск.

Постановка проблеми. Підвищення цін на мінеральні в'язучі надають особливу цінність дослідженням, які направлені на вирішення питань, пов'язаних із зниженням матеріало- і енергоємності виробництва розчинових та бетонних сумішей. Зниження енергетичних витрат в процесі їх виробництва досягається як за рахунок інтенсифікації процесів структуроутворення гідратуючих композицій так і внаслідок використання тонкодисперсних мінеральних добавок до цементів. Перспективним методом інтенсифікації процесів структуроутворення є механохімічна активація змішаного портландцементу в швидкісних змішувачах турбулентного типу в присутності суперпластифікуючих добавок. Технологічно механохімічна активація досить легко вписується в існуючі технологічні схеми виробництва розчинових сумішей, що забезпечує більш повне розкриття потенціальних можливостей як змішаного цементу так і будівельних розчинів на його основі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Застосування в технології виготовлення будівельних розчинів портландцементу з мінеральними добавками є одним із пріоритетних напрямків розвитку технологічних прийомів, застосування яких забезпечує як зниження витрати енергоємного мінерального в'язучого так і зниження, при цьому, обсягів викидів парникових газів[1]. Відомо, що мінеральні добавки природного походження при роздільному або спільному помелі з клінкером утворюють змішані цементи, які з успіхом використовуються в будівельній практиці [2-6]. В значній мірі підсилюється ефект від введення в портландцемент мінеральних добавок за рахунок механохімічної активації змішаного цементу в турбулентних потоках [7-10]. В роботах [11-14] показано, що використання швидкісних турбулентних змішувачів сприяє вирішенню комплексу задач, які пов'язані як з покращенням гомогенності свіжоприготовленої суміші так і з зростанням міцності цементного каменю та будівельного розчину на його основі. Застосування швидкісних змішувачів для активації цементу в поєднанні з використанням мінеральних добавок і, зокрема, меленого кварцового піску забезпечить, на наш погляд, як прискорення процесів гідратації цементу так і інтенсифікацію екзотермічного розігріву, що дозволять відмовитися як від термовологої

обробки так і від використання енергозатратних швидкотверднучих цементів [15, 16].

Перспективним напрямом слід вважати механохімічну активацію змішаного портландцементу в присутності суперпластифікуючих добавок [17]. На наш погляд, сумісне використання механохімічної активації в поєднанні з використанням меленого кварцового піску та суперпластифікатору є запорукою вирішення комплексу питань, які пов'язані як з покращенням гомогенності свіжоприготовленої розчинової суміші так і з зростанням механічних характеристик затверділого композиту.

Мета дослідження. Вище викладене зумовило мету даних досліджень, яка полягає у визначенні впливу питомої поверхні меленого піску та його кількості, а також витрати суперпластифікатору на екзотермію цементного каменю та міцність на стиск будівельного розчину як на механоактивованому портландцементі так і на в'язучому, яке механоактивації не підлягало.

Методи досліджень. Сумісна активація портландцементу та добавки меленого піску здійснювалася шляхом інтенсивного впливу на водну цементну та цементно-піщану суміш у швидкісному турбулентному змішувачі. Використання швидкісного змішувача є запорукою фізико-хімічної активації поверхневого шару як зерен портландцементу так і меленого піску. Саме така активація забезпечує прискорення процесів гідратації цементу, що віддзеркалюється як на інтенсифікації екзотермічного розігріву цементно-водної композиції так і на зростанні міцності як цементного каменю так і будівельного розчину на його основі. Використаний для активації зерен цементу турбулентний змішувач характеризується відносно високою швидкістю обертів робочого органу, яка складає 1800 об/хв. В експериментальних дослідженнях визначався також вплив терміну механоактивації цементно-піщаної суміші на ефективну в'язкість, яка визначалася за результатами розпливу цементно-водної композиції на приборі Сутторда ($d=120$ мм).

Визначення екзотермічного розігріву водних цементно-вміщуючих композицій здійснювалося за рахунок використання термосу. Термос представляє собою скляну колбу з подвійними стінками, між якими створено вакуум. Фіксація температури здійснювалася за рахунок використання ртутного термометра, який розміщався в центрі зразка з використанням мідної трубки, заповненою трансформаторною оливою. Фіксація температури здійснювалася до того моменту, коли наступний показник розігріву не змінювався або був меншим попереднього.

Для визначення впливу рецептурно-технологічних факторів (механоактивація, тонина помелу кварцового піску та його кількість, витрата

суперпластифікуючої добавки та води замішування) на міцність на стиск виготовлялися цементно-піщані зразки розміром 4*4*16 см). Зразки отримувалися шляхом змішування активованої цементно-водної композиції з добавкою необхідної кількості меленого кварцового піску та немеленого кварцового піску, табл.1. Для контролю виготовлялися зразки аналогічного складу на в'язучому, яке механоактивації підлягало.

Результати досліджень. В експериментальних дослідженнях в якості в'язучого використовувався портландцемент СЕМ І 52,5 N ПАТ «Волинь Цемент». За своїми властивостями портландцемент відповідає вимогам ДСТУ 2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівного призначення. Технічні умови». Цементно-піщане в'язуче отримували шляхом ретельного змішування портландцементу та меленого кварцового піску, витрата якого коливалася від 0 до 60% (від маси в'язучого). Питома поверхня меленого кварцового піску приймалася рівною 200, 350 та 500 м²/кг. В якості заповнювача для отримання будівельного розчину використовувався кварцовий пісок Олександрівського кар'єру Одеської області з Мк=2,2. Склад розчину приймався 1:2 (за масою). Для пластифікації суміші використовувався суперпластифікатор SP-5, який виробляється в Україні згідно з ТУ У В.2.7-24.6-35365973-001:2008 та відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-171:2008, EN 934-2. Витрата суперпластифікатору коливалася в діапазоні від 0 до 1 % (від маси змішаного в'язучого).

Для визначення ефективності питомої поверхні меленого піску, концентрації суперпластифікатору та технології виготовлення (контроль, механоактивація) на міцність на стиск будівельного розчину у віці 3-х та 7-и діб використовувалися склади цементно-вміщуючих композицій, які наведені у табл. 1. Умовами експерименту передбачено отримання у кожній строчці експерименту рівнов'язкої композиції з розпливом конусу суміші d=120 мм.

Таблиця 1

Склади цементно-вміщуючих композицій з розпливом конусу суміші (d=120 мм) та міцність будівельного розчину на стиск у 3-х та 7-и добовому віці

№	Цемент, г	Мелений Пісок, м ² /кг			SP- 5, г	Вода замішу- вання, г	Кварцо- вий пісок немеле- ний, г	$R_{ср}^x$, МПа		$R_{ср}^x$, МПа	
		200	350	500							
		г	г	г				3 доби	7 діб	3 доби	7 діб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1000	-	-	-	-	412	2000	11,3	19,2	15,3	24,9
2	1000	-	-	-	5,0	367	2000	14,5	23,5	19,4	30,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	1000	-	-	-	10,0	335	2000	15,2	25,1	20,5	32,6
4	700	300	-	-	-	397	2000	7,4	12,0	9,8	15,6
5	700	-	300	-	-	387	2000	8,1	13,5	10,9	17,3
6	700	-	-	300	-	384	2000	7,8	12,8	10,5	16,4
7	400	600	-	-	-	377	2000	5,6	9,3	7,5	12,1
8	400	-	600	-	-	370	2000	6,3	10,5	8,5	13,7
9	400	-	-	600	-	368	2000	6,2	10,1	8,4	13,3
10	700	300	-	-	5,0	362	2000	8,7	14,6	11,7	18,5
11	700	-	300	-	5,0	355	2000	9,9	16,4	13,3	21,0
12	700	-	-	300	5,0	351	2000	9,4	15,7	12,7	20,1
13	400	600	-	-	5,0	339	2000	7,1	11,5	9,5	14,7
14	400	-	600	-	5,0	334	2000	7,7	13,0	10,4	16,6
15	400	-	-	600	5,0	328	2000	7,5	12,4	10,1	16,0
16	700	300	-	-	10,0	322	2000	10,7	18,1	14,1	23,2
17	700	-	300	-	10,0	316	2000	11,4	19,2	15,2	24,6
18	700	-	-	300	10,0	311	2000	11,3	18,7	15,1	24,3
19	400	600	-	-	10,0	311	2000	7,4	12,6	10,0	16,1
20	400	-	600	-	10,0	305	2000	8,5	14,4	11,4	18,6
21	400	-	-	600	10,0	301	2000	7,9	13,2	10,7	17,2

Примітка: $R_{сж}^к$ - міцність на стиск зразків (МПа) із будівельного розчину складу 1:2 з розпливом цементно-водної композиції з добавкою меленого кварцового піску в діапазоні від 0 до 60 % - 120 мм; $R_{сж}^м$ - міцність на стиск зразків (МПа) із будівельного розчину складу 1:2 із аналогічним розпливом, але на механоактивованому впродовж 120 сек, в'язучому з добавкою меленого кварцового піску в діапазоні від 0 до 60 %.

Аналіз експериментальних даних, наведених у табл. 1 свідчить про те, що питома поверхня меленого кварцового піску (діапазон від 200 до 500 м²/кг) практично не впливає на водовміст цементно-водних композицій. Що стосується впливу кількості меленого піску у змішаному в'язучому на розплив конусу суміші (d=120 мм) то слід відзначити, що зростання витрати меленого піску від 0 до 60 % викликає зниження водовмісту рівнов'язких композицій, рис. 1.

Що стосується впливу суперпластифікуючої добавки на розплив цементно-водної композиції слід відзначити, що введення суперпластифікатору SP-5 (0,5 %) приводе до зниження кількості води замішування з 412 до 367 г тобто майже на 12 %. Зростання витрати суперпластифікатору до 1 % викликає зниження кількості води замішування з 412 г до 335 г (19 %). Для цементно-водних композицій з добавкою 30 % меленого піску введення

суперпластифікатору (0,5 %) знижує кількість води замішування в середньому на 14 %. При введенні 1 % суперпластифікатору зниження кількості води замішування досягає 24 % (з 412 г до 316 г). Заміна 60% портландцементу на мелений пісок забезпечує зниження кількості води замішування за рахунок введення 0,5 % суперпластифікатору на 19 %. Введення 1 % суперпластифікатору знижує кількість води замішування з 412 г до 305 г, тобто майже на 26 %.

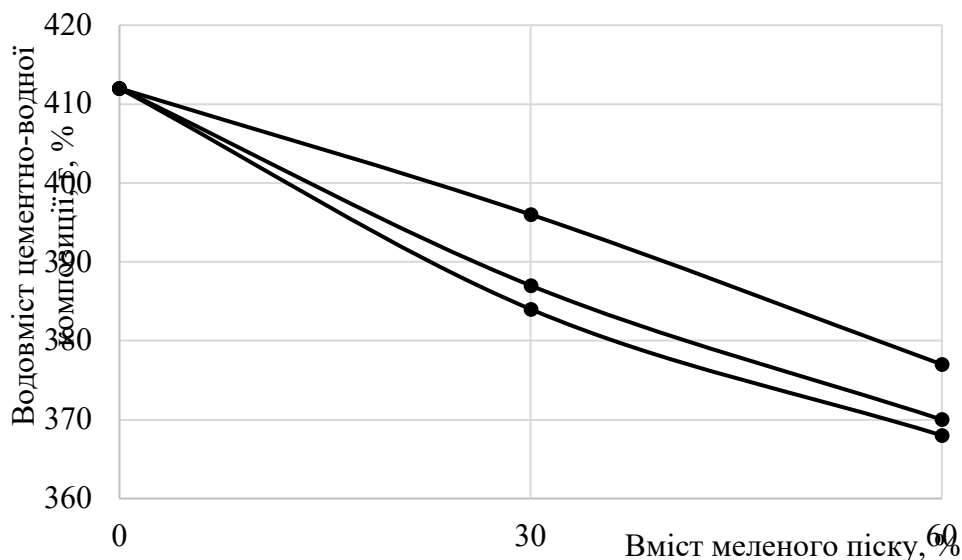


Рис.1. Вплив витрати меленого піску на водовміст цементно-водної композиції:
1, 2, 3 – питома поверхня піску відповідаю 200, 350 та 500 м²/кг

На заключному етапі дослідження було визначено вплив механохімічної активації портландцементу з добавкою меленого піску та суперпластифікатору на екзотермічний розігрів тверднучого цементного каменю та міцність будівельного розчину.

Експериментальні результати екзотермічного розігріву цементно-водних композицій приведені в табл. 2. В дослідженнях використовувався мелений кварцовий пісок з $S=200$; 350 та 500 м²/кг. Концентрація суперпластифікатору приймалася рівною 0,5 % (від маси змішаного в'язучого).

Таблиця 2

Екзотермічний розігрів цементно-водних композицій на механоактивованому в'язучому (чисельник) і на в'язучому, яке механоактивації не підлягало (знаменник)

№	Цемент, г	Мелений пісок, м²/кг			SP-5, г	Вода замішування, г	Екзотермічний розігрів, °С, через, год							
		200	350	500			1	3	5	7	9	11	13	15
		г	г	г			8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1000	-	-	-	0	412	$\frac{28}{28}$	$\frac{32}{28}$	$\frac{52}{36}$	$\frac{70}{57}$	$\frac{67}{61}$	$\frac{-}{60}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$
2	1000	-	-	-	5	367	$\frac{29}{28}$	$\frac{33}{28}$	$\frac{55}{31}$	$\frac{72}{48}$	$\frac{75}{68}$	$\frac{73}{64}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$
3	1000	-	-	-	10	335	$\frac{29}{28}$	$\frac{35}{28}$	$\frac{55}{29}$	$\frac{72}{43}$	$\frac{73}{57}$	$\frac{71}{67}$	$\frac{-}{64}$	$\frac{-}{-}$
10	700	300	-	-	5	362	$\frac{28}{28}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{30}{28}$	$\frac{38}{28}$	$\frac{49}{33}$	$\frac{59}{38}$	$\frac{68}{54}$	$\frac{65}{53}$
11	700	-	300	-	5	355	$\frac{28}{28}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{31}{28}$	$\frac{40}{28}$	$\frac{51}{32}$	$\frac{62}{39}$	$\frac{68}{56}$	$\frac{66}{53}$
12	700	-	-	300	5	357	$\frac{28}{28}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{32}{29}$	$\frac{41}{32}$	$\frac{51}{42}$	$\frac{64}{54}$	$\frac{68}{52}$	$\frac{67}{50}$
13	400	600	-	-	5	339	$\frac{28}{28}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{30}{29}$	$\frac{36}{33}$	$\frac{41}{34}$	$\frac{47}{35}$	$\frac{46}{38}$	$\frac{45}{36}$
14	400	-	600	-	5	334	$\frac{28}{28}$	$\frac{29}{28}$	$\frac{33}{31}$	$\frac{42}{35}$	$\frac{48}{37}$	$\frac{51}{39}$	$\frac{50}{41}$	$\frac{49}{39}$
15	400	-	-	600	5	328	$\frac{28}{28}$	$\frac{29}{28}$	$\frac{33}{33}$	$\frac{42}{35}$	$\frac{48}{37}$	$\frac{51}{39}$	$\frac{49}{41}$	$\frac{48}{40}$

Примітка. В чисельнику приведена температура тверднучого цементного каменю (в °C) на механоактивованому портландцементі. В знаменнику приведена температура тверднучого цементного каменю на портландцементі, який не підлягав механоактивації.

Аналізуючи експериментальні дані слід відмітити той факт, що механохімічна активація як тільки портландцементу так і портландцементу з добавкою кварцового піску викликає інтенсифікацію процесу гідратації цементу, що віддзеркалюється на підвищенні температури тверднучого цементного каменю. Слід відмітити той факт, що питома поверхня меленого піску практично не впливає на кінетику екзотермічного розігріву цементного каменю. В значно більшій степені як на кінетику розігріву так і на досягнення максимальної температури розігріву надає вміст портландцементу в змішаному в'язучому.

Заключним етапом дослідження було визначення перерахованих факторів впливу на міцність на стиск будівельного розчину в 3-х та 7-и добовому віці. Аналізуючи експериментальні дані міцності на стиск будівельного розчину, які наведені в табл. 1, слід відзначити, що із перерахованих факторів впливу на міцність розчину пріоритетний вплив надає механохімічна активація портландцементу в присутності суперпластифікуючої добавки. Сумісне використання механоактивації та 1 % SP-5 забезпечує зростання міцності будівельного розчину в 7-и денному віці з 18,1 МПа до 23,2 МПа, тобто більше ніж на 28 %.

Висновок: Проведені експериментальні дослідження свідчать про позитивний вплив механохімічної активації портландцементу, наповненого меленим піском (до 60 %), в присутності суперпластифікуючої добавки SP-5 (до

1 %) як на екзотермічний розігрів так і на зростання міцності будівельного розчину в 3-х та 7-и добовому віці.

Список літератури

1. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев□юк У.М. Швидкотверднучі клінкер-ефективні цементи та бетони. Монографія. Львів: ТОВ «Простір-М». 2021. 206с.
2. Рунова Р.Ф., Косовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ: КНУБА. 2007. 236 с.
3. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Гарніцький Ю.В. Модифіковані золівмісні сухі будівельні суміші для мурувальних та клейових розчинів. НУВГП. Рівне. 2013. 325с.
4. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Саницький М.А. та ін. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво. К.:УВПК «ЕксОб». 2008. 360с.
5. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини. Київ: УВПК «ЕксОб». 2003. 468с.
6. Linbo Jiang, Zhi Wang, Xueliang Gao. Effect of nanoparticles and surfactans on properties and microstructures of foam and foamed concrete. Construction and Building Materials. 2024. Vol.411.
7. Barabash I.V., Babiy 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. Issue № 2. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. 2022. P.44-51.
8. Кондратьєва Н.В. Нанотехнології у виробництві будівельних матеріалів. Будівництво України. № 6. 2012. С.2-9.
9. Маслов А.Г., Саленко Ю.С., Стукота Є.В. Розробка установки для вібромеханічної обробки будівельних сумішей. Вісник ХНАУ. Вип. 57. 2012. С.59-62.
10. Хайніке Г. Трибохімія. Переклад з нім. 1987. 584с.
11. Вировой В.М. та ін. Механоактивація в технології бетонів. ОДАБА. 2014. 148с.
12. Барабаш І.В., Пірогов Д.О. Активация цементу і її вплив на структуроутворення цементновміщуючих композицій. Зб. наукових праць «Сучасне будівництво та архітектура». Вип. 6. Одеса, ОДАБА. 2023. С.82-89.
13. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В. та ін. Ефективні технології бетонів та розчинів із застосуванням техногенної сировини: Монографія. Рівне: НУВГП. 2017. 424с.
14. Хинт И.О. О четвертом компоненте технологии. Научно-информационный сборник СКТБ «Дезинтегратор». Таллин: Вилгус. 1979. С.66-72.
15. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Рихліцька О.В., Яніцький О.Б. Швидкотверднучі клінкер-ефективні бетони. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип. 38. Рівне. 2020. С.258-266.
16. Коваль С.В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов. Одесса: Астропринт. 2012. 424с.
17. Саницький М.А., Позняк О.Р., Кіракевич І.І., Топилко Н.І. Сучасні бетони на основі комплексних модифікаторів нової генерації. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2008. №2(29). С.98-102.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Barabash Ivan**,
graduate student **Kirsanov Mykola**,
Ph.D., Associate Professor **Streltsov Kostiantyn**,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

INFLUENCE OF MECHANICAL ACTIVATION OF PORTLAND CEMENT WITH GROUND QUARTZ SAND ADDITION ON THE THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT STONE AND BUILDING MORTAR BASED ON IT

Cements incorporating mineral additives, especially ground quartz sand, are widely spread in the field of mortar compositions and building mortars. Technologically, such cements are produced either by co-grinding Portland cement clinker, gypsum dihydrate, and quartz sand, or by thoroughly mixing Portland cement with ground quartz sand. A promising method for improving the mechanical properties of mortars based on such binders is intensive mechanical activation in high-speed turbulent mixers.

This study examines the influence of the specific surface area of ground quartz sand ($S = 200, 350, \text{ and } 500 \text{ m}^2/\text{kg}$) and its content in the blended binder (cement plus ground sand) in the range of 0 to 60%. Experimental results show that within the studied dosage range, the specific surface area of quartz sand has almost no effect on the strength of either the cement stone or the mortar based on it.

Mechanical activation of the cement-water mixture leads to more intense exothermic heating and increases the peak temperature, reaching a maximum of 68°C compared to 54°C in the control sample without binder activation.

Experimental data on the effect of mechanical activation on mortar strength show that a cement-sand mixture activated for 2 minutes without a superplasticizer SP-5 increases the 7-day compressive strength from 12.0 MPa to 15.6 MPa (an increase of 30 %). In the presence of 1.0% superplasticizer, the strength increases from 18.1 MPa to 23.2 MPa, which is more than 28%. These findings indicate that the combined use of mechanical activation and superplasticizer is a highly effective technological approach that addresses both technical and economic challenges.

Keywords: mechanical activation; high-speed mixer; exothermic heating; ground quartz sand; compressive strength; thermal mechanical properties.

REFERENCES

1. Sanytskyi M.A., Kropyvnytska T.P., Heviuk U.M. Shvydkotverdnuchi klinker – efektyvni tsementy ta betony: Monohrafiia – Lviv: Vyd-vo TOV «Prostir – M», 2021.206s. {in Ukrainian}
2. Runova R.F., Nosovskyi Yu.L. Tekhnolohiia modyfikovanykh budivelnykh rozchyniv. K: KNUBA, 2007.256s. {in Ukrainian}
3. Dvorkin L.Y., Dvorkin O.L., Harnitskyi Yu.V. Modyfikovani zolovmisni sukhi budivelni sumishi dlia muruvalnykh ta kleiovykh rozchyniv. NUVHP. Rivne. 2013. 325s. {in Ukrainian}

4. Runova R.F., Hots V.I., Sanytskyi M.A. ta in. Konstruktsiini materialy novoho pokolinnia ta tekhnolohii yikh vprovadzhennia v budivnytstvo. K.:UVPK «EksOb». 2008. 360s. {in Ukrainian}
5. Hots V.I. Betony i budivelni rozchyny. Kyiv: UVPK «EksOb». 2003. 468s. {in Ukrainian}
6. Linbo Jiang, Zhi Wang, Xueliang Gao. Effect of nanoparticles and surfactans on properties and microstructures of foam and foamed concrete. Construction and Building Materials. 2024. Vol.411. {in Ukrainian}
7. Barabash I.V., Babiy 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. Issue № 2. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. 2022. P.44-51. {{in English}}
8. Kondratieva N.V. Nanotekhnolohii u vyrobnytstvi budivelnykh materialiv. Budivnytstvo Ukrainy. № 6. 2012. S.2-9. {in Ukrainian}
9. Maslov A.H., Salenko Yu.S., Stukota Ye.V. Rozrobka ustanovky dlia vibromekhanichnoi obrobky budivelnykh sumishei. Visnyk KhNAU. Vyp. 57. 2012. S.59-62. {in Ukrainian}
10. Khainike H. Trybokhimiia. Pereklad z nim. 1987. 584s.
11. Vyrovoi V.M. ta in. Mekhanoaktyvatsiia v tekhnolohii betoniv. ODABA. 2014. 148s. {in Ukrainian}
12. Barabash I.V., Pirohov D.O. Aktyvatsiia tseментu i yii vplyv na strukturoutvorennia tseментnovmishchuiuchykh kompozytsii. Zb. naukovykh prats «Suchasne budivnytstvo ta arkhitektura». Vyp. 6. Odesa, ODABA. 2023. S.82-89. {in Ukrainian}
13. Dvorkin L.Y., Zhytkovskyi V.V., Marchuk V.V. ta in. Efektyvni tekhnolohii betoniv ta rozchyniv iz zastosuvanniam tekhnohennoi syrovyny: Monohrafiia. Rivne: NUVHP. 2017. 424s. {in Ukrainian}
14. Khynt Y.O. O chetvertom komponente tekhnolohyy. Nauchno-ynformatsyonnyi sbornyk SKTB «Dezyntehrator». Tallyn: Vylhus. 1979. S.66-72. {in Ukrainian}
15. Sanytskyi M.A., Kropyvnytska T.P., Rykhlitska O.V., Yanitskyi O.B. Shvydkotverdnuchi klinker-efektyvni betony. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zb. nauk. prats. Vyp. 38. Rivne. 2020. S.258-266. {in Ukrainian}
16. Koval S.V. Modelyrovanye y optymyzatsiia sostava y svoistv modyfytsyrovannykh betonov. Odessa: Astroprynt. 2012. 424s. {in Ukrainian}
17. Sanytskyi M.A., Pozniak O.R., Kirakevych I.I., Topylko N.I. Suchasni betony na osnovi kompleksnykh modyfikativ novoi heneratsii. Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika. 2008. №2(29). S.98-102. {in Ukrainian}