

РЕСУРСОЕКОНОМНІ МАТЕРІАЛИ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

УДК 666.9.022

**МЕХАНОАКТИВАЦІЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ З ДОБАВКОЮ
МЕЛЕНОГО КВАРЦОВОГО ПІСКУ І ЇЇ ВПЛИВ НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ ТА БУДІВЕЛЬНОГО
РОЗЧИНУ НА ЙОГО ОСНОВІ**

**INFLUENCE OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION OF MIXED
PORTLAND CEMENT ON THE STRENGTH OF CEMENT STONE**

**Барабаш І.В., д.т.н, професор, ORCID: 0000-0003-0241-4728, Кірсанов М.В.,
аспірант, ORCID: 0009-0009-2377-159X , Стрельцов К.О., к.т.н., доцент,
ORCID: 0000-0002-5463-7395 (Одеська державна академія будівництва та
архітектури)**

**Barabash Ivan, Doctor of Technical Sciences, Professor ORCID: 0000-0003-
0241-4728, Kirsanov Mykola, graduate student ORCID: 0009-0009-2377-159X,
Streletsov Kostiantyn, Ph.D., Associate Professor ORCID: 0000-0002-5463-
7395(Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture)**

Для виробництва розчинових сумішей та будівельних розчинів на їх основі використовуються, у тому числі змішані цементи з застосуванням в якості мінеральної добавки меленого кварцового піску. Технологічно такі цементи одержують як сумісним помелом портландцементного клінкеру, двоводного гіпсового каменю і 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 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 (від 0 до 60 %) на властивості як цементного каменю та і будівельного розчину на його основі. Експериментально виявлено, що використана питома поверхня кварцового піску (в зазначеному діапазоні його витрати) в значній мірі 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 суперпластифікатору SP-5 забезпечує зростання міцності зразків в 28-и добовому віці з 30,0 МПа до 38,3 МПа – (27,7%), а в присутності 1,0 % суперпластифікатору – з 37,3 МПа до 46,2 МПа, тобто майже ніж на 24 %. 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.

For the production of mortar mixtures and mortars based on them, mixed cements are used, including those with the use of ground quartz sand as a mineral additive. Technologically, such cements are obtained both by joint grinding of Portland cement clinker, dihydrate gypsum stone and quartz sand additive and by thorough mixing of Portland cement with ground quartz sand. A promising method for improving the mechanical characteristics of mortars using this type of binder is its mechanochemical activation in high-speed turbulent mixers. The issues considered in the article are related to determining the influence of the specific surface area of ground sand ($S = 200; 350; 500 \text{ m}^2/\text{kg}$), as well as its amount in the mixed binder (from 0 to 60%) on the properties of both cement stone and mortar based on it. It was experimentally found that the specific surface area of quartz sand used (in the specified range of its consumption) significantly affects both the strength of cement stone and the mortar based on it. Regarding the mechanochemical activation of the cement-water composition, it should be noted that high-speed processing contributes to both an increase in the kinetics of its exothermic heating and an increase in its maximum temperature, reaching a value of 68°C (compared to the control - 54°C - there is no activation of the binder).

Experimental data on determining the influence of mechanochemical activation on the strength of the mortar indicate that the cement-sand mixture activated for 2 minutes without the addition of the superplasticizer SP-5 provides an increase in the strength of the samples at 28 days of age from 30.0 MPa to 38.3 MPa - (27.7%), and in the presence of 1.0% of the superplasticizer - from 37.3 MPa to 46.2 MPa, i.e. almost by 24%. The results of experimental studies indicate that the combined use of mechanical activation in the presence of ground quartz sand and superplasticizer SP-5 is an effective technological method that successfully solves the issues of a technical and economic nature.

Ключові слова: механоактивація, швидкісний змішувач, екзотермічний розігрів, мелений кварцовий пісок, міцність на стиск
mechanical activation, high-speed mixer, exothermic heating, ground quartz sand, compressive strength

Вступ. Зростання 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 виробництва мінеральних в'язучих досягається як за рахунок інтенсифікації процесів структуроутворення гідратуючих композицій так і внаслідок використання тонкодисперсних мінеральних добавок до них. Перспективним методом інтенсифікації процесів структуроутворення є механохімічна активація змішаного портландцементу в швидкісних змішувачах турбулентного типу в присутності суперпластифікуючих добавок. 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. Використання портландцементу з мінеральними добавками у технології виготовлення будівельних розчинів належить до пріоритетних напрямів удосконалення технологічних процесів, реалізація яких сприяє зменшенню витрат енергоємних в'язучих матеріалів та одночасному скороченню обсягів викидів парникових газів. [1]. Відомо, що мінеральні добавки природного походження при роздільному або спільному помелі з клінкером утворюють змішані цементы, 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.

Постановка мети і задач дослідження. Вище наведене визначило мету даного дослідження, яка полягає у встановленні впливу кількості меленого піску, його питомої поверхні та витрати суперпластифікатора на екзотермічні процеси у цементному камені та міцність на стиск будівельного розчину, виготовленого як на основі механоактивованого портландцементу, так і на в'язучому, що не піддавалося механоактивації.

Активацію портландцементу та меленого піску здійснювали шляхом інтенсивного впливу на водно-цементну та цементно-піщану суміші у високошвидкісному турбулентному змішувачі. Застосування такого обладнання забезпечує фізико-хімічну активацію поверхневих шарів частинок як портландцементу, так і меленого піску. Цей процес сприяє прискоренню гідратації цементу, що проявляється у підвищенні інтенсивності екзотермічного розігріву цементно-водної системи та збільшенні міцності як цементного каменю, так і будівельного розчину на його основі.

Турбулентний змішувач, використаний для активації зерен цементу та меленого піску, характеризується високою швидкістю обертання робочого органу - близько 1800 об/хв, що забезпечує ефективну механоактивацію компонентів суміші.

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 проводилось за рахунок використання термосу, який 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 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 ПЦ І-500 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 кварцевого піску, витрата якого коливалася від 0 до 60% (від маси в'язучого). В експериментах питома поверхня меленого кварцевого 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 3-х, 7-и та 28-и добовому віці 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 композиції з розпливом конусу суміші (d=120 мм) та міцність будівельного розчину на стиск у 3-х, 7-и та 28 добовому віці

№	Цемент, г	Мелений Пісок, м ² /кг			SP-5, г	Вода замішуванн	Кварцовий пісок	R _{ст} ^к , МПа			R _{ст} ^м , МПа		
		200	350	500				3	7	28	3	7	28
		г	г	г				доб	дб	дб	доб	дб	дб
1	1000	-	-	-	-	412	2000	11,3	19,2	30,1	15,3	24,9	38,3
2	1000	-	-	-	5,0	367	2000	14,5	23,5	36,5	19,4	30,6	44,4
3	1000	-	-	-	10,0	335	2000	15,2	25,1	37,3	20,5	32,6	46,2
4	700	300	-	-	-	397	2000	7,4	12,0	18,5	9,8	15,6	23,5
5	700	-	300	-	-	387	2000	8,1	13,5	21,2	10,9	17,3	26,9
6	700	-	-	300	-	384	2000	7,8	12,8	19,2	10,5	16,4	25,5
7	400	600	-	-	-	377	2000	5,6	9,3	14,5	7,5	12,1	18,8
8	400	-	600	-	-	370	2000	6,3	10,5	16,0	8,5	13,7	20,7
9	400	-	-	600	-	368	2000	6,2	10,1	15,3	8,4	13,3	19,5
10	700	300	-	-	5,0	362	2000	8,7	14,6	23,2	11,7	18,5	29,7
11	700	-	300	-	5,0	355	2000	9,9	16,4	26,1	13,3	21,0	32,0
12	700	-	-	300	5,0	351	2000	9,4	15,7	25,4	12,7	20,1	32,1
13	400	600	-	-	5,0	339	2000	7,1	11,5	17,2	9,5	14,7	21,5
14	400	-	600	-	5,0	334	2000	7,7	13,0	20,1	10,4	16,6	25,9
15	400	-	-	600	5,0	328	2000	7,5	12,4	19,3	10,1	16,0	24,7
16	700	300	-	-	10,0	322	2000	10,7	18,1	27,5	14,1	23,2	34,9
17	700	-	300	-	10,0	316	2000	11,4	19,2	29,9	15,2	24,6	37,5
18	700	-	-	300	10,0	311	2000	11,3	18,7	28,9	15,1	24,3	36,8

Продовження табл.1.													
19	400	600	-	-	10,0	311	2000	7,4	12,6	19,8	10,0	16,1	25,0
20	400	-	600	-	10,0	305	2000	8,5	14,4	22,0	11,4	18,6	27,1
21	400	-	-	600	10,0	301	2000	7,9	13,2	20,7	10,7	17,2	26,4

Примітка: $R_{\text{ст}}^{\text{к}}$ - 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; $R_{\text{ст}}^{\text{м}}$ - 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.

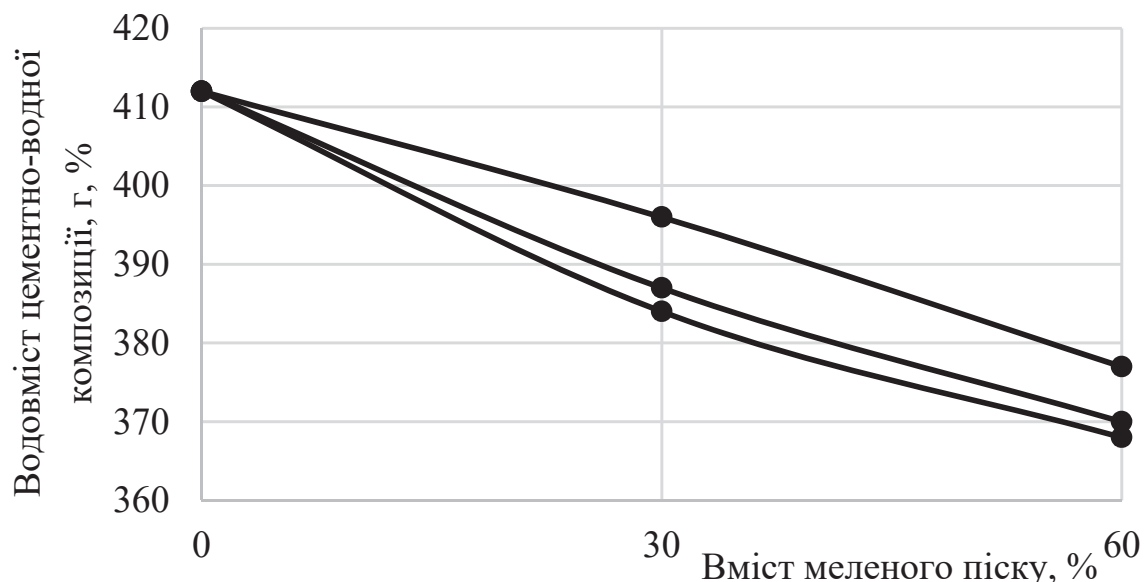


Рис.1. Вплив витрати меленого піску на водовміст цементно-водної композиції:
1, 2, 3 – питома поверхня піску відповідаю 200, 350 та 500 м²/кг

Що стосується впливу суперпластифікуючої добавки на розплив цементно-водної композиції слід відзначити, що введення суперпластифікатору SP-5 (0,5 %) приведе до зниження кількості води замішування з 412 до 367 г тобто майже на 12 %. Зростання вмісту суперпластифікатору від 0 % до 1 % викликає зниження кількості води замішування в експерименті 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 %.

Представляв інтерес визначення впливу 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 композиції 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, м ² /кг			SP-5, г	Вода замішування, г	Екзотермічний розігрів, °С, через, год							
		200	350	500										
		г	г	г			1	3	5	7	9	11	13	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 °С) 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, 7-и та 28-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. Так, наприклад, сумісне використання механоактивації портландцементу з добавкою 60 % меленого піску та 1 % SP-5 забезпечує зростання міцності будівельного розчину в 28-и денному віці з 27,5 контроль до 34,9 МПа, тобто майже на 27 %.

Висновки і рекомендації. 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, 7-и та 28-и добовому віці.

1. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк У.М. Швидкотверднучі клінкер-ефективні цементи та бетони. Монографія. Львів: ТОВ «Простір-М». 2021. 206с.

Sanytskyi M.A., Kropyvnytska T.P., Heviuk U.M. Shvydkotverdnuchi klinker-efektyvni tsementy ta betony. Monohrafiia. Lviv: TOV «Prostir-M». 2021. 206s.

2. Рунова Р.Ф., Косовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ: КНУБА. 2007. 236с.

Runova R.F., Kosovskiy Yu.L. Tekhnolohiia modyfikovanykh budivelnnykh rozchyniv. Kyiv: KNUBA. 2007. 236s.

3. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Гарніцький Ю.В. Модифіковані золотмісні сухі будівельні суміші для мурувальних та клейових розчинів. НУВГП. Рівне. 2013. 325с.

Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Harnitskyi Yu.V. Modyfikovani zolovmisni sukhi budivelni sumishi dlia murvalnykh ta kleiovykh rozchyniv. NUVHP. Rivne. 2013. 325s.

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.
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.

5. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини. Київ: УВПК «ЕксОб». 2003. 468с.

Hots V.I. Betony i budivelni rozchyny. Kyiv: UVPK «EksOb». 2003. 468s.

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., Babiyy 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. Кондратьева Н.В. Нанотехнології у виробництві будівельних матеріалів. Будівництво України. № 6. 2012. С.2-9.

Kondratieva N.V. Nanotekhnolohii u vyrobnytstvi budivelnykh materialiv. Budivnytstvo Ukrainy. № 6. 2012. S.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.

Maslov A.H., Salenko Yu.S., Stukota Ye.V. Rozrobka ustanovky dlia vibromekhanichnoi obrobky budivelnykh sumishei. Visnyk KhNAU. Vyp. 57. 2012. S.59-62.

10. Хайніке Г. Трибохімія. Переклад з нім. 1987. 584с.

Khainike H. Trybokhimii. Pereklad z nim. 1987. 584s.

11. Вировой В.М. та ін. Механоактивація в технології бетонів. ОДАБА.2014. 148с.

Vyrovoi V.M. ta in. Mekhanoaktyvatsiia v tekhnolohii betoniv. ODAVA. 2014. 148s.

12. Барабаш І.В., Пірогов Д.О. Активація цементу і її вплив на структуроутворення цементновміщуючих композицій. Зб. наукових праць «Сучасне будівництво та архітектура». Вип. 6. Одеса, ОДАБА. 2023. С.82-89.

Barabash I.V., Pirohov D.O. Aktyvatsiia tsementu i yii vplyv na strukturoutvorennia tsementnovmishchiuchykh kompozytsii. Zb. naukovykh prats «Suchasne budivnytstvo ta arkhitektura». Vyp. 6. Odesa, ODAVA. 2023. S.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.

Dvorkin L.I., Zhytkovskyi V.V., Marchuk V.V. ta in. Efektyvni tekhnolohii betoniv ta rozchyniv iz zastosuvanniam tekhnogennoi syrovyny: Monohrafiia. Rivne: NUVHP. 2017. 424s.

14. Хинт И.О. О четвертом компоненте технологии. Научно-информационный сборник СКТБ «Дезинтегратор». Таллин: Вилгус. 1979. С.66-72.

Khynt Y.O. O chetvertom komponente tekhnolohyy. Nauchno-ynformatsyonnyi sbornyk SKTB «Dezyntehrator». Tallyn: Vylhus. 1979. S.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.

Sanytskyi M.A., Kropyvnytska T.P., Rykhlytska 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.

16. Коваль С.В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов. Одесса: Астропринт. 2012. 424с.

Koval S.V. Modelyrovanye u optymizatsiya sostava y svoistv modyfytsyrovannykh betonov. Odessa: Astroprynt. 2012. 424s.

17. Саницький М.А., Позняк О.Р., Кіракевич І.І., Топилко Н.І. Сучасні бетони на основі комплексних модифікаторів нової генерації. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2008. №2(29). С.98-102.

Sanytskyi M.A., Pozniak O.R., Kirakevych I.I., Topylko N.I. Suchasni betony na osnovi kompleksnykh modyfikatoriv novoi heneratsii. Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika.