

УДК 666.9.022

БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗЧИН НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ ЗМІШАНОМУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ

MORTAR ON MECHANOACTIVATED MIXED PORTLAND CEMENT

Пірогов Д.О., аспірант, ORCID: 0009-0003-4096-3186, Барабаш І.В. д.т.н., проф., ORCID: 0000-0003-0241-4728 (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Pirohov D.O., postgraduate, ORCID: 0009-0003-4096-3186, Barabash I.V., Doctor of Engineering, Professor, ORCID: 0000-0003-0241-4728 (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine)

Проведені дослідження фізико-механічних властивостей цементу та тверднучих композицій на його основі показали, що механоактивація в'язучого в роторному протитечійному млині викликає прискорення процесів структуроутворення. Зростання швидкості процесів твердіння в'язучого виражається в інтенсифікації процесів гідратування, що відображається на прискоренні термінів тужавлення, кінетики екзотермічного розігріву та підвищенню степеню гідратації. Це дозволяє зробити висновок, що запропонований механізм механоактивації змішаного в'язучого (цемент + кварцовий пісок) варто віднести до явищ, які пов'язані з проявом активації поверхні часток як цементу, так і кварцового піску.

Здійснювана механохімічна активація портландцементу, а також портландцементу з добавкою кварцового піску в кількості від 10 до 50% маси цементу дозволила оптимізувати як термін активації змішаного в'язучого (300 сек), так і кількість кварцового піску в ньому (20%). Для визначення впливу цементно-піщаного відношення X_1 – (від 1:3 до 1:1), кількості суперпластифікатору С-3 X_2 - (0,75±0,75%) і кількості мікрокремнезему X_3 – (5±5%) на міцність будівельного розчину при стиску в 28-и денному віці, був використаний трифакторний Д-оптимальний математичний план. Величини коефіцієнтів при варіюваних факторах свідчать про те, що найбільший вплив на міцність будівельного розчину надає витрата механоактивованого в'язучого. Наступним по впливу на міцність розчину йде витрата суперпластифікатору С-3. Мікрокремнезем незначно впливає на міцність при стиску будівельного розчину (зростання міцності не перевищує 8 – 10% при 10%-му вмісту його в складі в'язучого). Сумісний вплив механоактивації змішаного в'язучого (склад розчину 1:1), суперпластифікатору С-3 (1,5%) та мікрокремнезему (10%) забезпечує

отримання будівельного розчину з міцністю при стиску 65 МПа, що більше ніж на 60% перевищує міцність розчину на змішаному в'язучому, яке механоактивації не підлягало.

Conducted studies of the physical and mechanical properties of cement and hardening compositions based on it have shown that mechanical activation of the binder in a rotary counterflow mill causes acceleration of structure formation processes. An increase in the rate of hardening processes of the binder is expressed in the intensification of hydroformation processes, which is reflected in the acceleration of setting times, the kinetics of exothermic heating and an increase in the degree of hydration. This allows us to conclude that the proposed mechanism of mechanical activation of a mixed binder (cement and quartz sand) should be attributed to phenomena associated with the manifestation of activation of the surface of particles of both cement and quartz sand.

The mechanochemical activation of Portland cement, as well as Portland cement with the addition of quartz sand in an amount from 10 to 50% of the cement mass, made it possible to optimize both the activation period of the mixed binder (300 sec.) and the amount of quartz sand in it (20%). To determine the influence of the cement-sand ratio X_1 - (from 1:3 to 1:1), the amount of superplasticizer S-3 X_2 - (0.75±0.75%) and the amount of microsilica X_3 - (5±5%) on strength mortar under compression at 28 days of age, a three-factor D-optimal mathematical plan was used. The values of the coefficients for varying factors indicate that the consumption of mechanically activated binder has the greatest influence on the strength of the mortar. The next most important influence on the strength of the solution is the consumption of superplasticizer S-3. Microsilica has a slight effect on the compressive strength of the mortar (the increase in strength does not exceed 8–10% at 10% of its content in the binder). The combined effect of mechanical activation of the mixed binder (mortar composition 1:1), superplasticizer S-3 (1.5%) and microsilica (10%) ensures the production of a mortar with a compressive strength of 65 MPa, which is more than 60% higher than the strength of the mortar with a mixed binder that was not subject to mechanical activation .

For a mortar of similar age with a lower consumption of mixed 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.

Ключові слова: механоактивація, змішаний цемент, в'язуче, суперпластифікатор, мікрокремнезем, технологія, математична модель.
mechanical activation, mixed cement, binder, superplasticizer, microsilica, technology, mathematical model.

Вступ. Дослідження фізико-механічних властивостей тверднучих цементних композицій показали, що механохімічна активація цементного в'язучого викликає прискорення процесів структуроутворення. Зростання швидкості тверднення в'язучого виражається, зокрема, в інтенсифікації процесів гідратування (кількість хімічно зв'язаної води), прискоренні термінів тужавлення та кінетики екзотермічного розігріву, а також підвищення ступеня гідратації. Це дозволяє зробити висновок, що механізм механоактивації варто віднести до явищ, які пов'язані із проявом активації поверхні часток дисперсної фази. Зіткнення часток цементу в активній зоні веде до модифікації їх поверхні, що викликає зміну фізико-хімічних процесів і явищ на кордоні розподілу фаз. Сукупні процеси, які є функцією трибохімічних ефектів, прискорюють обмінні реакції внаслідок взаємодії тонкодисперсних часток в'язучого з водою. В силу того, що продукти новоутворень з'являються практично відразу після розчинення в'язучого, то можливо припустити, що в процесі активації цементу виникають нові складові, які на правах самостійних структурних елементів беруть участь у наступних етапах гідратування. Можливості підвищення міцності цементного каменю, особливо в ранні періоди тверднення, можуть бути здійснені шляхом цілеспрямованої зміни його структури. Така зміна може бути досягнута за рахунок активації зерен цементу в процесі механохімічної обробки і, особливо, в присутності зерен кварцового піску.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання кварцового піску в якості мінеральної добавки до цементу є одним із ефективних технологічних прийомів, який з успіхом застосовується в будівельному виробництві [1-3]. Цементний камінь, який має в своєму складі кварцовий пісок характеризується відносно незначними об'ємними деформаціями і має високу корозійну стійкість [4, 5]. Кварцові піски при спільному подрібненні з портландцементом утворюють змішаний цемент, який сприяє утворенню більш щільної структури цементного каменю, підвищенню його міцності та довговічності [6-8]. В умовах традиційної технології виготовлення бетонних і залізобетонних виробів навіть мелений кварцовий пісок практично не вступає в хімічну взаємодію з гідроксидом кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, який виділяється в процесі гідратації цементу. В таких умовах виготовлення виробів кварцовий пісок виконує тільки роль затравки, провокуючі, в деякій мірі, прискорення процесів гідратування. Для підвищення активності в'язучих особливе місце займають механохімічні способи їх активації, які досить ефективно ув'язуються з іншими способами фізико-хімічної активації (ультразвукова обробка, віброактивація, магнітний вплив та інше) [9-12]. Перспективним напрямом слід вважати механохімічну обробку портландцементу в швидкісних змішувачах оригінальних конструкцій, які в значній мірі забезпечують зростання поверхневої енергії тонкодисперсних часток

в'язучого [13-14]. В процесі хаотичних переміщень часток в'язучого, які летять з високою швидкістю, в місцях їх зіткнень утворюються, на дуже короткий час, збуджені стани, які в значній мірі послаблюють кристалічні решітки. Підсумком зіткнень тонкодисперсних часток в'язучого є їх яскраво виражена розпоряджена структура. Продовження активації в'язучого приводе до того, що первісні пластичні деформації на частках змінюються появою тріщин з утворенням нових поверхонь. Таким чином, одержання цементу з підвищеною активністю пов'язано із зростанням тонини помелу в'язучого [15]. Існуючі кульові млини, які на практиці використовують для помелу цементу, в цьому разі значно підвищують собівартість продукції за рахунок значного зростання витрати електроенергії [16]. Альтернативою кульовим млинами можливо вважати механохімічну обробку змішаного портландцементу в спеціально створених роторних протитечійних млинах, які є різновидами струменевих млинів [17].

Мета та методи дослідження. Мета даної роботи полягає в експериментальному підтвердженні можливості підвищення міцності будівельного розчину за рахунок використання механоактивованого в роторному протитечійному млину змішаного цементу. Досліджувався вплив механохімічної обробки тільки портландцементу, а також цементу з добавкою кварцового піску (в кількості від 10 до 50% маси цементу) на міцність цементного каменю та будівельного розчину в 28-и денному віці. Механохімічна активація портландцементу, а також суміші портландцементу та кварцового піску (змішаний цемент), в роторному протитечійному млині здійснювалась протягом 60, 180, 300 та 600 секунд. Для контролю використовувалася суміш портландцементу з добавкою (від 10 до 50% маси цементу) немеленого кварцового піску. Одержана таким чином суміш механоактивації не підлягала. Після визначення оптимального за складом змішаного цементу (критерій – максимальна міцність на стиск цементного каменю в 28-и денному віці) був проведений трифакторний експеримент, метою якого було визначення впливу досліджуваних факторів (витрата змішаного в'язучого – X_1 , витрата суперпластифікатору С-3 – X_2 , витрата мікрокремнезему – X_3) на міцність при стиску будівельного розчину в 2-х та 28-и денному віці.

Результати досліджень. В експериментальних дослідженнях в якості в'язучого використовувався портландцемент ПЦ II/A-III-500, який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7–46:2010 «Цементи загально будівельного призначення технічні умови».

Досліджувалася міцність при стиску зразків – балочок розміром 4x4x16 см, які були виготовлені з використанням змішаного цементу. Витрата води замішування визначалася розпливом цементного тіста на приборі Суттарда в діапазоні 90±5 мм. Наведені в табл. 1 експериментальні дані свідчать про те, що при відсутності механохімічної активації змішаного в'язучого, введення до

складу цементу кварцового піску викликає зниження міцності затверділої цементної композиції з 47,2 МПа (добавка кварцового піску відсутня) до 28,7 МПа (добавка до цементу 50% кварцового піску), тобто майже на 65%. В випадку активації змішаного цементу добавка до цементу оптимальної кількості кварцового піску викликає підвищення міцності цементного каменю. Так, при 60-и секундній активації максимальна міцність при стиску (53,1 МПа) досягається для цементного каменю на змішаному в'язучого з 10%-ою добавкою кварцового піску. В разі 300-т секундної активації максимальна міцність цементного каменю (62,5 МПа) досягається на змішаному в'язучому з 20%-ою добавкою кварцового піску до портландцементу. Подальше зростання терміну активації незначно впливає на зростання міцності цементного каменю при стиску, досягаючи значення 63,1 МПа при активації змішаного в'язучого впродовж 600 сек.

Таблиця 1

Вплив терміну активації змішаного в'язучого на міцність при стиску зразків-балочок 4x4x16 см

№ п/п	Вміст кварцового піску в змішаному в'язучому, %	Міцність при стиску зразків в 28-и денному віці, МПа				
		Термін активації змішаного в'язучого, сек.				
		0	60	180	300	600
1	0	47,2	52,3	54,1	57,0	59,1
2	10	46,4	53,1	56,3	60,2	61,3
3	20	44,3	52,4	57,0	62,5	63,1
4	30	40,6	47,2	51,3	55,4	56,3
5	40	35,8	40,3	43,6	47,8	48,3
6	50	28,7	32,3	34,6	37,5	38,3

Слід відмітити, що міцність цементного каменю на активованому змішаному в'язучому з 20%-ою добавкою кварцового піску більш ніж на 30% перевищує міцність цементного каменю на портландцементі, який механоактивації не підлягав і без добавки кварцового піску до нього. В подальших дослідженнях використовувався змішаний портландцемент, який отримувався механоактивацією протягом 300 секунд суміші портландцементу з 20%-ою добавкою кварцового піску.

Представляв інтерес з'ясувати вплив витрати механоактивованого змішаного цементу на міцність будівельного розчину. Поряд з цим фактором варіювалися також наступні незалежні змінні: витрата суперпластифікатора С-3 та мікрокремнезему. Експериментальні дослідження проводилися з використанням трифакторного Д-оптимального математичного плану. В експерименті варіювалися наступні фактори:

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

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

X_3 – кількість мікрокремнезему (від маси цементу) - $5 \pm 5\%$

В якості в'язучого в експерименті використовувалася активована суміш портландцементу ПЦ II/A-Ш-500 (80% за масою) та кварцового піску – 20%. Для контролю проводився також планований експеримент на портландцементі, який механоактивації не підлягав. Витрата води змішування для кожної строчки планованого експерименту приймалася з розрахунку одержання діаметру розпливу конусу на струшувальному столику (після 30-и струшувань) в діапазоні 130 ± 2 мм. Заданий діаметр розпливу конусу розчинової суміші приймався однаковим для двох порівнюваних технологій.

План експерименту і склади досліджених будівельних розчинів приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

План експерименту і склади будівельних розчинів.

№ п/п	Рівні незалежних факторів			Вміст сухих компонентів розчинової суміші на один заміс, г			
	X_1	X_2	X_3	Змішане в'язуче	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор С-3	Мікрокремнезем
1	-	-	-	500	1500	0,0	0,0
2	-	+	-	500	1500	6,0	0,0
3	0	0	-	667	1333	3,75	0,0
4	+	-	-	1000	1000	0,0	0,0
5	+	+	-	1000	1000	12,0	0,0
6	-	0	0	500	1500	3,0	20,0
7	0	-	0	667	1333	0,0	25,0
8	0	0	0	667	1333	3,75	25,0
9	0	+	0	667	1333	7,5	25,0
10	+	0	0	1000	1000	6,0	40,0
11	-	-	+	500	1500	0,0	40,0
12	-	+	+	500	1500	6,0	40,0
13	0	0	+	667	1333	3,75	50,0
14	+	-	+	1000	1000	0,0	80,0
15	+	+	+	1000	1000	12,0	80,0

В результаті статистичної обробки експериментальних даних одержані поліноміальні моделі (1, 2) залежності міцності будівельного розчину при стиску в 28-и денному віці від досліджуваних факторів:

$$R_{\text{CT}}^{\text{M},28} = 51,2 + 12,0 * X_1 - 6,6 * X_1^2 - 0,5 * X_1 X_2 + 0,6 * X_1 X_3 + 5,5 * X_2 + 0,8 * X_2^2 + 0,6 * X_2 X_3 + 3,1 * X_3 - 1,0 * X_3^2 \quad (1)$$

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

де: $R_{\text{CT}}^{\text{M},28}$ – міцність будівельного розчину на змішаному механоактивованому портландцементі у 28-и денному віці, МПа;

$R_{\text{CT}}^{\text{K},28}$ – міцність будівельного розчину на традиційному (не механоактивованому) портландцементі з добавкою 20% немеленого кварцового піску, МПа.

Аналіз математичних моделей свідчить про те, що згідно величин коефіцієнтів при варійованих факторах як на механоактивованому змішаному в'язучому так і на в'язучому, яке механоактивації не підлягало, найбільший вплив на міцність при стиску будівельного розчину в 28-и денному віці надає вміст змішаного цементу в ньому. Підтвердженням цього є графічні залежності, які приведені на рис. 1

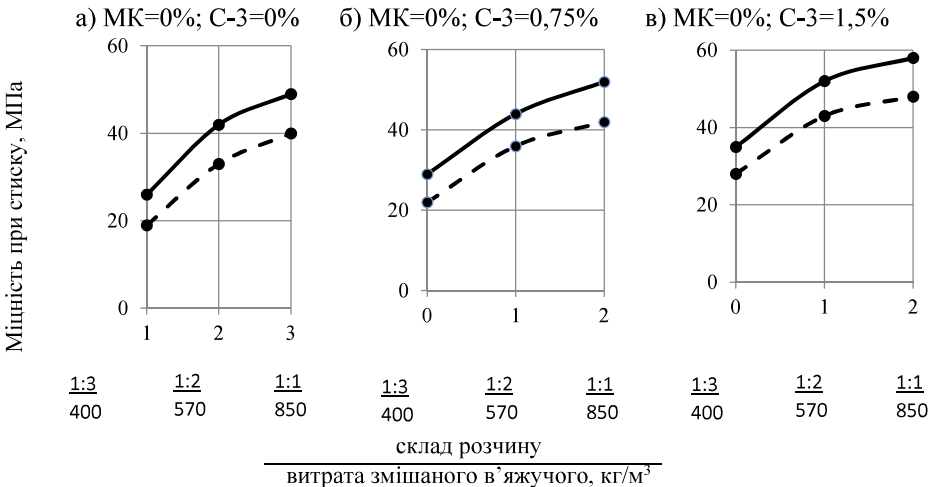


Рис. 1 Вплив вмісту змішаного в'язучого на міцність при стиску будівельного розчину в 28-и денному віці:

- - розчин на механоактивованому змішаному в'язучому;
- - - - - контроль (активація в'язучого відсутня)

Аналізуючи експериментальні дані слід відзначити, що зростання вмісту змішаного цементу в будівельному розчині від 440 до 850 кг/м³ приводе до підвищення його міцності при стиску з 25 МПа до 48 МПа (вміст С-3=0%). Наступним за впливом на міцність будівельного розчину є витрата суперпластифікатору С-3. Зростання витрати С-3 до 1,5% від маси цементу викликає зростання міцності будівельного розчину на механоактивованому в'язучому від 36 МПа (витрата змішаного цементу 448 кг/м³) до 58 МПа, (витрата в'язучого 850 кг/м³) тобто більше ніж на 60%. Найменший вклад в підвищення міцності будівельного розчину надає витрата мікрокремнезему. Введення його до складу розчину в кількості 10% (від маси в'язучого) викликає підвищення міцності будівельного розчину в марочному віці не більше ніж на 4...5 МПа. Сумісний вплив механоактивації змішаного в'язучого, використання С-3 (1,5%) та мікрокремнезему (10%) забезпечує отримання будівельного розчину з міцністю при стиску 65 МПа, що більше ніж на 60% перевищує міцність контрольного розчину (в'язуче не активоване; С-3 і мікрокремнезем відсутні).

Висновки:

1. Механохімічна обробка протягом 300 секунд портландцементу з добавкою 20% кварцовому піску в роторному протитечійному млині забезпечує одержання цементного каменю з міцністю при стиску в 28-и денному віці 62,5 МПа, що більше ніж на 30% перевищує міцність каменю на портландцементі, який механоактивації не підлягав.

2. Сумісний вплив механоактивації змішаного в'язучого, використання суперпластифікатору С-3 (1,5%) та мікрокремнезему (10%) забезпечує одержання будівельного розчину з міцністю при стиску 65 МПа, що більше ніж на 60% перевищує міцність розчину на немеханоактивованому в'язучому.

В подальших дослідженнях передбачено вивчення впливу рецептурних факторів (змішане в'язуче, добавка С-3 та мікрокремнезему) на морозостійкість та зносостійкість бетонів. Визначення довговічності бетонів на механоактивованому змішаному в'язучому є досить актуальним і своєчасним.

1. Krivenko P., Sanytsky M., Kropyvnytska T. The effect of nanosilica on the early strength of alkali-activated Portland composite cements. *Solid State Phenomena*, 2018. 296. P.21-26.

2. 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.

3. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Київ: Аспект-Поліграф, 2010. 228с.

Troian V.V., *Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv*. Kyiv: Aspekt-Polihraf, 2010.

4. Дворкін Л.Й. Ефективні технології бетонів та розчинів із застосуванням техногенної сировини/ Л.Й Дворкін, В.В. Житковський, В.В. Марчук, Ю.Стасюк, М.М. Скрипник. Монографія. Рівне: НУВГП, 2017. 424с.

Dvorkin L.I., *Efektivni tekhnologii betoniv ta rozchyniv iz zastosuvanniam tekhnogennoi syrovyny*/ L.I Dvorkin, V.V. Zhytkovskiy, V.V. Marchuk, Yu.Stasiuk, M.M. Skrypnyk. Monohrafiia. Rivne: NUVHP, 2017.

5. Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ: КНУБА, 2007. 256с.

Runova R.F., Nosovskiy Yu.L., *Tekhnologiiia modyfikovanykh budivelnykh rozchyniv*. Kyiv: KNUBA, 2007.

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

Koval S.V., *Modelirovanie i optimizatsiya sostava i svoistv modifi- tsirovannikh betonov*. Odessa: Astroprint, 2012.

7. 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*, Issue № 2. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2022. P.44-51.

8. Токарчук В.В., Сокольников В.Ю., Свідерський В.А. Особливості тверднення композиційних цементів з силікатними добавками різного походження. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2015. №3/11(75). С.9-14.

Tokarchuk V.V., Sokoltsov V.Iu, Sviderkyi V.A., "Osoblyvosti tverdnennia kompozytsiinykh tsementiv z sylikatnymy dobavkamy riznoho pokhodzhennia", *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii*, 2015. no. 3/11(75). pp.9-14.

9. Соболев Х.С. Влияние активных минеральных добавок на свойства композиционных цементов/ Х.С. Соболев, Т.С. Марків, М.А. Саницький, Г.В. Когуч. *Вісник НУЛП: Хімія та хімічна технологія*, 2003. №755. С.274-278.

Sobol Kh.S., "Vplyv aktyvnykh mineralnykh dodatkov na vlastyvoli kompozytsiinykh tsementiv"/ Kh.S. Sobol, T.S. Markiv, M.A. Sanytskyi, H.V. Kohuch. *Visnyk NULP: Khimiia ta khimichna tekhnologiiia*, 2003. no. 755. pp.274-278.

10. Рунова Р.Ф. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво/ Р.Ф.Рунова, В.І.Гоць, М.А.Саницький та ін. Київ: УВПК ЕксОб, 2008. 360с.

Runova R.F., *Konstruktsiini materialy novoho pokolinnia ta tekhnologii yikh vprovadzhenia v budivnytstvo*/ R.F. Runova, V.I. Hots, M.A. Sanytskyi ta in. Kyiv: UVPK EksOb, 2008.

11. Загребя В.П., Дудар І.Н. Формування бетонів і залізобетонних виробів методом пульсуючого пресування бетонних сумішей. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2009. 104с.

Zahreba V.P., Dudar I.N., Formuvannia betoniv i zalizobetonnykh vyrobiv metodom pulsuiiuchoho presuvannia betonnykh sumishei. Monohrafiia. Vinnytsia: UNIVERSUM, 2009.

12. Шпирько М.В., Дубов Т.М. Дослідження впливу електромагнітної активації концентрованої цементної суспензії на властивості цементного каменю й бетону. *Вісник ПДАБА*, 2020. №2(263-264). С.102-107.

Shpyrko M.V., Dubov T.M., "Doslidzhennia vplyvu elektromahnitnoi aktyvatsii kontsntrovanoi tsementnoi suspenszii na vlastyvoli tsementnoho kameniu y betonu", *Visnyk PDABA*, 2020. no. 2(263-264). pp.102-107.

13. Пушкарьова К.К. Энергозберігаючі мінеральні в'язучі речовини та композиційні будівельні матеріали на їх основі/ К.К. Пушкарьова, М.М. Зайченко, А.А. Плуґін та ін. Монографія. Київ: Задруга, 2014. 272с.

Pushkarova K.K., *Enerhozberihaiuchi mineralni viazhuchi rehovyny ta kompozytsiini budivelni materialy na yikh osnovi/* K.K. Pushkarova, M.M. Zaichenko, A.A. Pluhin ta in. Monohrafiia. Kyiv: Zadruga, 2014.

14. Barabash I., Harashenko D. Mechanoactivation of the Portland cement in technology of manufacturing self-compacting concrete. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2018. №3/6(93). P.12-17.

15. Башинський О.І., Пелешко М.З., Бережанський Т.Г. Віброактивовані портландцементи та їх міцність за різних температурних режимах/ *Збірник наукових праць ЛДУ БЖД: Пожежна безпека*, 2012. №21. С.28-32.

Bashynskiy O.I., Peleshko M.Z., Berezhanskyi T.H., "Vibroaktyvovani portlandtsementy ta yikh mitsnist za riznykh temperaturnykh rezhymakh", *Zbirnyk naukovykh prats LDU BZhD: Pozhezhna bezpeka*, 2012. no. 21. pp.28-32.

16. Саницький М.А., Соболев Х.С., Марків Т.Є. Модифіковані композиційні цементы. Львів: Львівська політехніка, 2010. 132с.

Sanytskyi M.A., Sobol Kh.S., Markiv T.Ie., *Modyfikovani kompozytsiini tsementy*. Lviv: Lvivska politekhnikha, 2010.

17. 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"*. Одеса: ОДАБА, 2023. С.109-110.

Pirohov D.O., Barabash I.V., "Vplyv rezhymu aktyvatsii na vlastyvoli tsementu, tsementnoho tista ta kameniu na yoho osnovi", *Zbirnyk tez mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Strukturoutvorennia ta ruinuvannia kompozytsiinykh budivelnykh materialiv ta konstruksii"*. ODABA, 2023. pp.109-110.