

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.276-286

УДК 666.9.022

Горбовий О.Л.,
gorbovoy@gmail.com, ORCID: 0009-0001-5425-4327,
к.т.н., доцент **Стрельцов К.О.,**
0989051837@ukr.net, ORCID: 0000-0021-5463-7395,
д.т.н, професор **Барабаш І.В.,**
dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

МЕХАНОАКТИВАЦІЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ З ДОБАВКОЮ МЕЛЕНОГО ВАПНЯКУ І ЇЇ ВПЛИВ НА ЕКЗОТЕРМІЮ І МІЦНІСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ

Розглянуті у статті результати дослідів пов'язані з визначенням впливу механохімічної активації портландцементу з добавкою меленого вапняку (до 40 %) на термо-механічні характеристики тверднучого і затверділого цементного каменю. Актуальним для даного дослідження є активація змішаного в'язучого (портландцемент + мелений вапняк) в присутності суперпластифікуючої добавки Релаксол-Супер ПК в кількості до 1 % від його маси. Використання швидкісного активатора ($n=1800$ об/хв) забезпечує прискорення процесів гідратації цементу, збереження необхідного рівня рухливості цементно-вапнякової композиції при меншій витраті води замішування, (в порівнянні з немеханоактивованою композицією), інтенсифікацію екзотермічного розігріву. Наведені експериментальні дані дозволили оцінити вплив терміну механоактивації та витрати суперпластифікатора на водовміст цементно-вмішуючої композиції. Виявлено пріоритетну роль суперпластифікатора, а також механоактивації цементно-вапнякової композиції впродовж 180 сек на зниження її водо-твердого відношення

Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що введення до складу цементно-водної композиції меленого вапняку приводе до підвищення її водо-твердого відношення (при умові збереження заданої рухливості). Так, заміна 20 % портландцементу на мелений вапняк викликає підвищення В/Т з 0,38 до 0,41, тобто майже на 8 %. Зростання вмісту меленого вапняку до 40 % викликає підвищення В/Т до 0,42 (майже на 11%). Активація цементно-водної композиції з добавкою меленого вапняку сприяє підвищенню інтенсивності її розігріву, а також зростанню її максимальної температури. Експериментальні дані свідчать про наявність індукційного періоду екзотермічного розігріву цементно-водної композиції як на портландцементі,

який не підлягав механоактивації (цей період складав приблизно 3...3,5 год з моменту змішування в'язучого водою) так і на портландцементі, який підлягав механоактивації – індукційний період в цьому разі не перевищував 2-х годин. Механохімічна активація цементно-вапнякової композиції сприяє зростанню міцності цементного каменю в 3-х добовому віці на 30...35%, а з урахуванням суперпластифікатору – майже на 70%.

Ключові слова: механоактивація; суперпластифікатор; мелений вапняк; екзотермія; водо-тверде відношення.

Постановка проблеми. У статті розглядаються питання, які пов'язані з впливом механохімічної активації портландцементу з добавкою меленого вапняку на термо-механічні характеристики тверднучого цементного каменю. Такі цемента одержують як сумісним помелом цементу з добавкою вапняку так і ретельним змішуванням портландцементу з меленим вапняком. Відомо про підсилюючий ефект на швидкість протікання процесу гідратації портландцементу як механоактивації так і наявності суперпластифікуючих добавок. Тому, на наш погляд, актуальними є питання, які пов'язані з розглядом сумісного впливу механохімічної активації портландцементу, добавки меленого вапняку та суперпластифікуючої добавки на екзотермію та міцність цементного каменю.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним із ефективних способів зниження собівартості портландцементу є введення до його складу тонкомелених мінеральних добавок[1-4]. Набирає темпів використання вапняку в якості мінеральної добавки до портландцементів, кількість яких безперервно зростає і, на даний час, об'єм таких цементів перевищує об'єм портландцементів типу ПЦ І. Поряд з економічним ефектом та економічною ефективністю використання вапняку забезпечує одержання цементів з покращеними технологічними властивостями[5]. Значно підсилює позитивний ефект від введення в портландцемент мінеральних добавок механохімічна активація в'язучого в турбулентних потоках[6-8]. Використання механохімічної активації сприяє вирішенню комплексу питань, які пов'язані як з покращенням гомогенності свіжоприготовленої суміші так і з зростанням міцності цементного каменю [9-12]. Використання швидкісного гідродинамічного змішування для активації цементу в поєднанні з оптимальними за кількістю мінеральними наповнювачами та ефективними добавками суперпластифікаторів забезпечує, поряд з пластифікацією суміші, різке прискорення гідратації цементу, що дозволяє відмовитись як від використання швидкотверднучих цементів так і від теплової обробки.

Мета дослідження. Мета запропонованої роботи полягає у визначенні сумісного впливу механоактивації, концентрації меленого вапняку та суперпластифікуючої добавки у в'язучому на водотверде відношення (при сталому розпливі цементно-вапнякової композиції на приборі Сутторда в діапазоні 120 ± 5 мм), екзотермічний розігрів та міцність при стиску цементного каменю в 3-х добовому віці.

Методи дослідження. Активація досліджуємої суміші здійснювалася в швидкісному змішувачі протягом 90 та 180 сек. Для контролю використовувалися ідентичні за рухливістю суміші, які механоактивації не підлягали. Визначення екзотермічного розігріву здійснювалося шляхом фіксації температури досліджуємої композиції в термосі, який представляє собою скляну колбу з подвійними стінками, між якими був створений вакуум. Фіксація температури тверднучої суміші здійснювалася кожну годину до того моменту поки наступний показник розігріву не змінювався, або був нижчим попереднього. Для визначення впливу варійованих факторів (механоактивація, кількість меленого вапняку та витрата суперпластифікуючої добавки) на міцність при стиску виготовлювалися зразки-балочки розміром $4 \times 4 \times 16$ см із цементно-вапнякових композицій заданої рухливості.

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 загальнобудівного призначення. Технічні умови". В якості мінеральної добавки до цементу використовувався мелений вапняк ($S=350$ м²/кг) в кількості 20 і 40 % від маси в'язучого. Для підвищення рухливості суміші використовувався суперпластифікатор Релаксол-Супер ПК в кількості 0,5 і 1 % від маси в'язучого.

Наведені в табл. 1 експериментальні дані відзеркалюють вплив рецептурно-технологічних факторів, а саме - вмісту меленого вапняку у в'язучому (20 ± 20 %), концентрації суперпластифікуючої добавки ($0,5 \pm 0,5$ %) та механохімічної активації протягом 180 сек на водотверде відношення (В/Т) цементно-вміщуючих композиції з розпливом конусу суміші в діапазоні 120 ± 5 мм. Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що введення в портландцемент меленого вапняку приводить до підвищення водотвердого відношення цементно-вміщуючих композицій. Так, забезпечення необхідної рухливості ($d=120$ мм розпливу конусу) суміші (після механохімічної її активації протягом 180 сек) з використанням тільки портландцементу досягається при водоцементному (в подальшому водотвердому) відношенні 0,38. Заміна 20 % портландцементу на мелений вапняк приводить до підвищення В/Т з 0,38 до 0,41, тобто майже на 8 %. Зростання вмісту меленого вапняку до 40 % викликає підвищення водотвердого відношення до 0,42, тобто майже на

11 % в порівнянні з в'язучим без добавки меленого вапняку. Аналогічний, вплив вмісту меленого вапняку на підвищення водотвердого відношення спостерігається також і для активованих протягом 180 сек цементно-вміщуючих композицій з добавкою суперпластифікатору. Підвищення водовмісту із зростанням кількості меленого вапняку спостерігається також і для немеханоактивованих цементно-вміщуючих композицій. В цьому разі зростання вмісту меленого вапняку у в'язучому викликає зростання водотвердого відношення від 0,42 (мелений вапняк відсутній) до 0,45 (40 % меленого вапняку).

Таблиця 1

Вплив рецептурно-технологічних факторів на водотверде відношення цементно-вміщуючих композицій

№ складу	Портландцемент, %	Мелений вапняк, %	Релаксол - Супер ПК, %	В/Г	№ складу	Портландцемент, %	Мелений вапняк, %	Релаксол - Супер ПК, %	В/Г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КОНТРОЛЬ					МЕХАНОАКТИВАЦІЯ – 180 сек				
1	100	0	0	0,42	10	100	0	0	0,38
2	100	0	0,5	0,36	11	100	0	0,5	0,32
3	100	0	1,0	0,34	12	100	0	1,0	0,31
4	80	20	0	0,44	13	80	20	0	0,41
5	80	20	0,5	0,39	14	80	20	0,5	0,35
6	80	20	1,0	0,35	15	80	20	1,0	0,33
7	60	40	0	0,45	16	60	40	0	0,42
8	60	40	0,5	0,39	17	60	40	0,5	0,36
9	60	40	1,0	0,36	18	60	40	1,0	0,33

Що стосується впливу механохімічної активації на рухливість суміші, то слід відмітити, що швидкісне змішування цементно-вміщуючої композиції протягом 180 сек дозволяє отримувати необхідний її розплив на приборі Сутторда при знижених величинах водотвердого відношення. Так, швидкісне

змішування цементно-вміщуючої композицій (№ складу 10, табл. 1) забезпечує одержання розпливу суміші (120 ± 5 мм) при $V/T = 0,38$. Аналогічний розплив (120 ± 5 мм) для цементно-вміщуючої композиції заданого складу, але яка механоактивації не підлягала (№ складу-1, табл. 1) забезпечується при підвищеній (на 10,5 %) витраті води змішування.

Із наведених факторів впливу (вміст меленого вапняку, механохімічна активація, кількість суперпластифікатора) найбільший вплив на водовміст цементно-вапнякової композиції надає суперпластифікатор Релаксол-Супер ПК. Зростання його кількості від 0 до 1,0% викликає зниження водовмісту в середньому на 23...27 %.

Підтвердженням впливу перерахованих факторів на кінетику протікання процесів гідратації є дані по екзотермічному розігріву активованих цементно-водних композицій з добавкою меленого вапняку у кількості 20 %, табл. 2.

Таблиця 2

Екзотермічний розігрів цементно-вміщуючих композицій

№	Вміст меленого вапняку у в'язучому, %	Концентрація Релаксол-Супер ПК, %	Термін активації в'язучого, сек	Початкова температура композиції, °С	Екзотермічний розігрів, °С, через, год										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	25	25,0	25,0	25,2	26,0	30,0	37,5	50,1	60,3	61,6	60,0	59,7
2	0	0	180	25	25,0	26,9	30,0	40,2	51,8	62,0	68,1	67,8	67,4	66,3	64,9
3	0	1	0	25	25,0	25,8	27,0	31,2	37,0	42,1	54,0	71,2	76,9	76,1	74,0
4	0	1	180	25	25,1	25,9	28,7	34,1	42,0	52,6	71,9	84,1	83,7	82,3	79,9
5	20	0	0	25	25,0	25,0	25,2	25,2	29,0	32,5	37,4	42,5	48,8	52,5	50,4
6	20	0	180	25	25,0	26,0	28,6	36,1	42,0	49,8	55,1	59,0	58,6	58,0	57,4
7	20	1	0	25	25,0	25,1	26,0	29,5	34,5	40,4	46,2	50,6	59,0	65,2	64,8
8	20	1	180	25	25,0	25,2	27,0	29,8	40,0	50,0	62,1	70,0	75,1	74,8	74,1

Графічне відображення впливу механохімічної активації на екзотермічний розігрів цементно-вміщуючих композицій наведено на рис. 1.

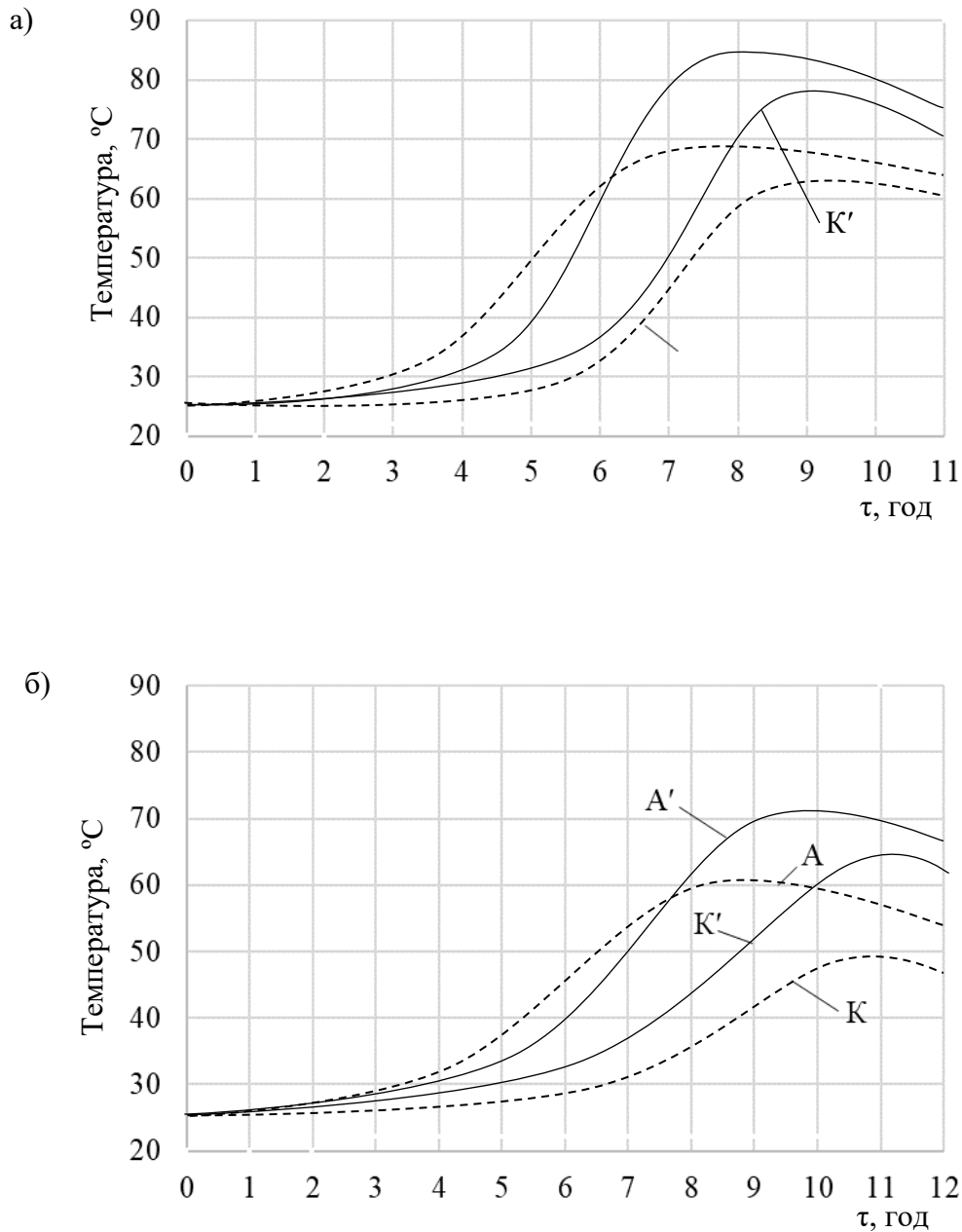


Рис.1 Вплив механохімічної активації на екзотермічний розігрів цементно-вміщуючої водної композиції:

- а) – цементно-водна композиція без добавки меленого вапняку;
- б) – цементно-водна композиція з добавкою 20 % меленого вапняку;
- К – контроль (механоактивація відсутня, Релаксол-Супер ПК = 0 %);
- А – механоактивована цементно-вміщуюча композиція, Релаксол-Супер ПК = 0 %);
- К' – контроль (механоактивація відсутня, Релаксол-Супер ПК = 1 %);
- А' – механоактивована цементно-вміщуюча композиція, Релаксол-Супер ПК = 1 %);

Одержані експериментальні дані свідчать про наявність індукційного

періоду екзотермічного розігріву цементно-водної композиції як на портландцементі, який не підлягав механоактивації (цей період складав приблизно 3...3,5 год з моменту замішування в'язучого водою) так і на портландцементі, який підлягав механоактивації. В цьому разі індукційний період складав не більше 2-х годин. По завершенню індукційного періоду спостерігається відносно різке підвищення температури тверднучої цементно-водної композиції, досягаючи максимального розігріву 82,5 °С через 8 годин після замішування цементу водою. Введення до портландцементу 20 % меленого вапняку позначається як на зниженні інтенсивності так і на зменшенні максимальної температури розігріву композиції (75 °С).

Заключним етапом дослідження було визначення впливу механохімічної активації в'язучого, витрати меленого вапняку в ньому та концентрації суперпластифікатору на міцність при стиску зразків-балочок із цементного каменю. Склади цементно-вміщуючих композиції та технології їх виготовлення приймалися згідно таким, які наведені у табл. 1. Аналіз експериментальних даних, наведених у табл. 3, свідчить про те, що механоактивація є потужним технологічним впливом на міцнісні характеристики цементного каменю.

Таблиця 3

Вплив рецептурно-технологічних факторів на міцність цементного каменю (МПа)

№	Активация суміші, сек	Склад суміші в'язучого		
		Портландцемент – 100 %	Портландцемент – 80 %, мелений вапняк – 20 %	Портландцемент – 60 %, мелений вапняк – 40 %
Вміст суперпластифікатору – 0 %				
1	0	25,5	14,9	11,4
2	90	32,6	17,7	12,8
3	180	34,6	19,4	14,2
Вміст суперпластифікатору – 0,5 %				
4	0	28,7	16,3	12,7
5	90	38,7	22,1	15,8
6	180	40,1	23,9	18,3
Вміст суперпластифікатору – 1 %				
7	0	32,1	18,5	13,1
8	90	40,1	22,9	16,7
9	180	43,0	25,3	18,9

Позитивний вплив механоактивації спостерігається для всіх досліджуваних

складів цементно-вміщуючих водних композицій. Особливо значна роль механоактивації для складів з суперпластифікуючою добавкою. Так, введення до складу цементно-вміщуючих композиції 1 % Релаксолу - Супер ПК сприяє зростанню міцності цементного каменю в 3-х денному віці з 32,1 до 43,0 МПа, тобто майже на 35 %. Сумісний вплив механоактивації і суперпластифікуючої добавки забезпечує зростання міцності цементного каменю з 25,5 МПа (контроль) до 43,0 МПа, тобто майже на 70 %. Такий технологічний прийом дозволяє вводити до складу портландцементу 20 % меленого вапняку, забезпечуючи при цьому таку ж міцність при стиску цементного каменю в 3-х денному віці, як і в разі використання немеханоактивованого портландцементу, але без добавки меленого вапняку. Слід відмітити, що аналогічний позитивний вплив механохімічної активації спостерігається також і для цементного каменю на змішаному в'язучому з добавкою до портландцементу 40 % меленого вапняку.

Висновки:

1. Механохімічна активація водних цементно-вміщуючих композиції з добавкою меленого вапняку викликає зростання як інтенсивності екзотермії так і підвищення величини її максимального розігріву.

2. Використання суперпластифікатору Релаксол-Супер ПК в поєднанні з механохімічною активацією забезпечує зниження водовмісту цементно-вапнякової композиції в середньому на 23...27 %, що позитивно віддзеркалюється на підвищенні міцності цементного каменю.

Список літератури

1. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Київ. Аспект-Поліграф. 2010.228с.

2. Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. К: КНУБА, 2007.256с.

3. 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.

4. Вплив активних мінеральних додатків на властивості композиційних цементів /Х.С. Соболев, Т.С. Марків, М.А. Саницький, Г.В. Когуч //Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – «Хімія та хімічна технологія». – 2003.№755. С.274-278

5. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк У.М. Швидкотверднучі клінкер – ефективні цементи та бетони: Монографія – Львів: Вид-во ТОВ «Простір –М», 2021.206с

6. Пірогов Д.О., Барабаш І.В. Вплив режиму активації на властивості цементу, цементного тіста та каменю на його основі./Збірник тез міжнародної н/т конференції « Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій». Одеса: ОДАБА, 2023.С.109-110.

7. Саницький М.А, Модифіковані композиційні цементи /М.А. Саницький, Х.С. Соболю, Т.Є. Марків //Львів: Вид-во Львів.політехніки. – 2010 – 132 с.

8. Вплив активних мінеральних додатків на властивості композиційних цементів /Х.С. Соболю, Т.Є. Марків, М.А. Саницький, Г.В. Когуч //Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – «Хімія та хімічна технологія». – 2003.№755. С.274-278.

9. Дворкін Л.Й. Житковський В.В., Марчук В.В. та ін.. 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.

10. Саницький М.А, Модифіковані композиційні цементи /М.А. Саницький, Х.С. Соболю, Т.Є. Марків //Львів: Вид-во Львів.політехніки. – 2010 – 132 с.

11. 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. №21. 2012. С.28-32.

12. Пушкарьова К.К., Зайченко М.М., Плугін А.А. та ін. Енергозберігаючі мінеральні в'язучі речовини та композиційні будівельні матеріали на їх основі: монографія. Київ: Задруга.2014.272с.

graduate student **Gorbovoy Oleh**,
Ph.D., Associate Professor **Streltsov Kostiantyn**,
Doctor of Technical Sciences, Professor **Barabash Ivan**,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

MECHANICAL ACTIVATION OF PORTLAND CEMENT WITH GROUND LIMESTONE ADDITION AND ITS INFLUENCE ON EXOTHERM AND STRENGTH OF CEMENT STONE

The results of experiments discussed in the article are related to the influence of mechanochemical activation of Portland cement with the addition of ground limestone (up to 40 %) on the thermo-mechanical characteristics of hardening cement stone. The activation of a mixed binder (portland cement + mechanical activation) using the superplasticizing additive Relaxol-Super PC in the amount of up to 1 % of its mass is relevant for this study. The use of a high-speed activator (n=1500 rpm) ensures the acceleration of cement hydration processes, the maintenance of the

necessary level of mobility of cement-limestone compositions with a lower consumption of mixing water, (compared to a mechano-activated composition of intensification of exothermic heating. The given experimental data made it possible to evaluate the influence of the activation period and superplasticizer consumption on the water content of the cement mixing composition. The priority role in reducing the water-hardening ratio of the mechano-activation of the binder within 180 seconds was revealed, and as well as the content of the superplasticizer.

The analysis of experimental data shows that the introduction of ground limestone into the composition of the cement-water composition leads to an increase in the water-solid ratio (under the condition of maintaining the given mobility of the composition). Thus, replacing 20 % of Portland cement with ground limestone causes an increase in W/T from 0.38 to 0.41, that is, by almost 8 %. An increase in the content of ground limestone to 40 % causes an increase in W/T to 0.42 (almost 11 %). Activation of the cement-water composition with the addition of ground limestone helps to increase the intensity of its heating, as well as to increase its temperature. Experimental data indicate the presence of an induction period of exothermic heating of the cement-water composition both on Portland cement that was not subject to mechanical activation (this period was approximately 3...3.5 hours from the moment the binder was mixed with water) and on Portland cement that was not subject to mechanical activation - the induction period in this case did not exceed 2 hours. The mechanochemical activation of the cement-limestone composition helps to increase the strength of the cement stone at the age of 3 days by 25...30 %, and taking into account the superplasticizer - by 35...45 %.

Keywords: mechanoactivation; superplasticizer; ground limestone; exothermy; water-hardening ratio.

REFERENCES

1. Troian V.V. *Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv*. Kyiv. Aspekt-Polihrاف. 2010.228s. {in Ukrainian}
2. Runova R.F., Nosovskyi Yu.L. *Tekhnolohiia modyfikovanykh budivelnykh rozchyniv*. K: KNUBA, 2007.256s. {in Ukrainian}
3. Tokarchuk V.V., Sokoltsov V.Iu, Sviderkyi V.A. *Osoblyvosti tverdnenn kompozytsiinykh tsementiv z sylikatnymy dobavkamy riznoho pokhodzhennia*. *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 2015. №3/11(75).S.9-14. {in Ukrainian}
4. *Vplyv aktyvnykh mineralnykh dodatkov na vlastyvoli kompozytsiinykh tsementiv* /Kh.S. Sobol, T.S. Markiv, M.A. Sanytskyi, H.V. Kohuch // *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. – «Khimiiia ta khimichna tekhnolohiia». – 2003.№755. S.274-278. {in Ukrainian}

5. 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}
6. Pirohov D.O., Barabash I.V. Vplyv rezhymu aktyvatsii na vlastyvoli tsementu, tsementnoho tista ta kameniu na yoho osnovi./Zbirnyk tez mizhnarodnoi n/t konferentsii « Strukturoutvorennia ta ruinuvannia kompozytsiinykh budivelnykh materialiv ta konstruktsii». Odesa: ODABA, 2023.S.109-110. {in Ukrainian}
7. Sanytskyi M.A, Modyfikovani kompozytsiini tsementy /M.A.Sanytskyi, Kh.S.Sobol, T.Ie.Markiv //Lviv: Vyd-vo Lviv.politekhniky. – 2010 – 132 s. {in Ukrainian}
8. Vplyv aktyvnykh mineralnykh dodatkov na vlastyvoli kompozytsiinykh tsementiv /Kh.S. Sobol, T.S. Markiv, M.A. Sanytskyi, H.V. Kohuch //Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». – «Khimiia ta khimichna tekhnolohiia». – 2003.№755. S.274-278. {in Ukrainian}
9. Dvorkin L.I. Zhytkovskyi V.V., Marchuk V.V. ta in.. Efektyvni tekhnolohii betoniv ta rozchyniv iz zastosuvanniam tekhnohennoi syrovyny /L.I Dvorkin, V.V. Zhytkovskyi, V.V. Marchuk, Yu.Stasiuk, M.M. Skrypnyk /monohrafiia. Rivne: NUVHP.2017.424s. {in Ukrainian}
10. Sanytskyi M.A. Modyfikovani kompozytsiini tsementy /M.A. Sanytskyi, Kh.S. Sobol, T.Ie. Markiv //Lviv: Vyd-vo Lviv.politekhniky. – 2010 – 132 s. {in Ukrainian}
11. Bashynskyi O.I., Peleshko M.Z., Berezhanskyi T.H.Vibroaktyvovani portlandtsementy ta yikh mitsnist za riznykh temperaturnykh rezhymakh/ Zbirnyk naukovykh prats LDU BZhD. Pozhezhna bezpeka. №21. 2012. S.28-32. {in Ukrainian}
12. Pushkarova K.K., Zaichenko M.M., Pluhin A.A. ta in. Enerhozberihaiuchi mineralni viazhuchi rechovyny ta kompozytsiini budivelni materialy na yikh osnovi: monohrafiia. Kyiv: Zadruha.2014.272s. {in Ukrainian}