

УДК 666.9.022

МЕХАНОАКТИВАЦІЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ З ДОБАВКОЮ МЕЛЕНОГО ВАПНЯКУ І ЇЇ ВПЛИВ НА МІЦНІСТЬ БУДІВЕЛЬНОГО РОЗЧИНУ

Барабаш І. В.¹, Горбовий О. Л.¹

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація: В практиці виробництва мінеральних в'язучих широке розповсюдження одержали змішані цементи з використанням мінеральних добавок і, зокрема, меленого вапняку. Однією з важливих проблем в технології виробництва змішаних цементів є створення оптимальних комбінацій портландцементу з меленим вапняком, які, окрім економічної ефективності, сприяють одержанню в'язучого з покращеними властивостями. Актуальним для даного дослідження є активація змішаного в'язучого з використанням суперпластифікуючої добавки Релаксол-Супер ПК в кількості до 1 % від його маси. В роботі розглядається роздільний та сумісний вплив механоактивації, витрати змішаного в'язучого та добавки меленого вапняку у ньому, а також витрата суперпластифікатору на міцність на стиск будівельного розчину у віці 3-х та 28-и діб тверднення в нормальних умовах. Для визначення впливу та оптимізації перерахованих факторів на міцність на стиск будівельного розчину проведено 3-х факторний експеримент. Одержані поліноміальні моделі дозволили встановити пріоритетний вплив на міцність будівельного розчину витрату механоактивованого змішаного в'язучого. Зростання його вмісту в складі розчину викликає підвищення його міцності на стиск в 3-х добовому віці з 24 МПа (контроль) до 40,5 МПа, тобто майже на 70 %. Наступним за значимістю фактором впливу на міцність будівельного розчину на механоактивованому змішаному в'язучому є витрата суперпластифікатору. Зростання його вмісту від 0 до 1 % викликає зростання міцності розчину в 3-х добовому віці з 31 МПа до 41,2 МПа, тобто майже на 35 %. Що стосується впливу механоактивації на міцність будівельного розчину, то слід відзначити, що максимальний ефект від швидкісної обробки цементно-вміщуючої композиції з добавкою меленого вапняку спостерігається також у 3-х добовому віці – в цьому разі зростання міцності на стиск зразків становить не менше 60 %.

Ключові слова: механоактивація, суперпластифікатор, мелений вапняк, математичний план, будівельний розчин.

MECHANICAL ACTIVATION OF PORTLAND CEMENT WITH THE ADDITION OF GROUND LIMESTONE AND ITS EFFECT ON THE PLACE OF BIND SOLUTION

I. Barabash¹, O. Gorboviy¹

¹Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract: In practice, the production of mineral binders has become widespread with mixed cements using mineral additives and, in particular, ground limestone. One of the important problems in the technology of production of mixed cements is the creation of optimal combinations of Portland cement with ground limestone, which, in addition to economic efficiency, contribute to the production of a binder with improved properties. The activation of a mixed binder using the superplasticizing additive Relaxol-Super PC in an amount of up to 1% of its mass is relevant for this study. The work considers the separate and combined effects of mechanical activation, the consumption of mixed binder and ground limestone additives in it, as well as the consumption of SP on the compressive strength of the mortar at the age of 3 and 28 days of hardening under normal conditions. A 3-factor experiment was conducted to determine the influence and optimization of the listed factors on the compressive strength of the mortar. The obtained polynomial models allowed to establish the priority influence on the strength of the mortar of the consumption of mechanically activated mixed binder. The increase in its content in the composition of the mortar causes an increase in its compressive strength at 3-day age from 24 MPa (control) to 40.5 MPa, i.e. by almost 70%. The next most important factor influencing the strength of the mortar on mechanically



activated mixed binder is the consumption of SP. The increase in its consumption from 0 to 1% causes an increase in the strength of the mortar at 3-day age from 31 MPa to 41.2 MPa, i.e. by almost 35%. As for the influence of mechanical activation on the strength of the mortar, it should be determined that the maximum effect of high-speed processing of the cement-containing composition with the addition of ground limestone is also observed at a 3-day age - in this case, the increase in compressive strength of the samples is not less than 60%.

Keywords: mechanical activation, superplasticizer, ground limestone, mathematical plan, mortar.

1 ВСТУП

Одним із ефективних методів підвищення експлуатаційних характеристик будівельного розчину є механохімічна активація мінерального в'язучого в поєднанні з використанням суперпластифікаторів та мінеральних добавок. В практиці виробництва розчинових сумішей та будівельних розчинів на їх основі широке розповсюдження одержав портландцемент ПЦ II/A-B з добавкою вапняку від 6 до 20 %. Технологічно такий портландцемент з вапняком (в подальшому змішаний цемент) одержують як сумісним помелом портландцементного клінкеру, двоводного гіпсу та добавки вапняку так і ретельним змішуванням портландцементу з необхідною (6...20 %) кількістю меленого вапняку. Відомо, що зростання процентного вмісту вапняку (>20 %) приводить до активності змішаного цементу, що потребує зростання його витрати в будівельному розчині. Перспективним методом покращення механічних характеристик як цементного каменю так і будівельного розчину на його основі є механоактивація змішаного цементу в швидкісному змішувачі турбулентного типу. Технологічно механохімічна активація досить легко вписується в існуючі технологічні схеми виробництва розчинових сумішей, що сприяє більш повному розкриттю потенційних можливостей як змішаного цементу так і будівельного розчину на його основі.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В практиці використання розчинових сумішей та будівельних розчинів на їх основі все більше розповсюдження одержують змішані в'язучі [1-5]. В якості мінеральних добавок до цементів можливо використовувати різні неорганічні матеріали [6, 7]. Як правило, перевага надається тим матеріалам, які характеризуються високою міцністю і щільністю [8]. При введенні в портландцемент маломіцних і вологоємних матеріалів одержують змішане в'язуче з пониженою міцністю, морозостійкістю, підвищеною усадкою [9, 10]. Однією з таких мінеральних добавок до цементу є карбонат кальцію CaCO_3 (вапняк). Внаслідок великих розвіданих об'ємів вапняку використання його в якості мінеральної добавки до цементу безперервно зростає і, на даний час, об'єм таких цементів перевищує об'єм портландцементів типу ПЦ I. Поряд з позитивним екологічним аспектом застосування вапняку забезпечує одержання будівельних розчинів та бетонів зниженої енергоємності [11]. Значно підсилює позитивний ефект від введення в портландцемент меленого вапняку механохімічна активація в'язучого в турбулентних потоках [12, 13]. Використання швидкісного гідродинамічного змішування для активації цементу в поєднанні з оптимальною за кількістю добавкою меленого вапняку та суперпластифікатору забезпечують, поряд з пластифікацією, прискорення процесів гідратації цементу, що дозволить відмовитись від використання енергозатратних швидкотверднучих цементів [14].

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета запропонованої роботи полягає у визначенні роздільного та сумісного впливу механоактивації, витраті змішаного в'язучого та добавки меленого вапняку у ньому, а також витрати суперпластифікуючої добавки Релаксол-Супер ПК на міцність на стиск будівельного розчину у віці 3-х та 28-и діб тверднення в н.у. Механохімічна активація модифікованої водної композиції тільки з портландцементом, а також суміші в'язучого з меленим вапняком та суперпластифікатором здійснювалася в швидкісному млині ($n=1800$ об/хв) протягом 180 сек. Для контролю використовувалася суміш аналогічного складу, але яка механохімічній активації не підлягала. Для визначення впливу та

оптимізації перерахованих факторів на міцність на стиск будівельного розчину був проведений 3-х факторний експеримент, де в якості незалежних були прийняті наступні фактори: а) витрата змішаного в'язучого у складі будівельного розчину; б) витрата меленого вапняку у складі змішаного в'язучого; в) витрата суперпластифікуючої добавки Релаксол-Супер ПК (в подальшому СП).

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості в'язучого в експериментальних дослідженнях використовувався портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-500, який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010 "Цементи загальнобудівного призначення. Технічні умови". Змішане в'язуче одержували шляхом ретельного змішування віддозованої кількості меленого вапняку (20 і 40 % по масі) та портландцементу. В якості заповнювача для будівельного розчину використовувався кварцовий пісок з $M_{кр} = 2,2$. Досліджувалася міцність на стиск зразків балачок – розміром $4 \times 4 \times 16$ см, які були виготовлені із розчинової суміші як на механоактивованому змішаному в'язучому так і на в'язучому аналогічного складу, але яке механохімічній активації не підлягало. Експериментальні дослідження проводилися з використанням Д-оптимального математичного плану. В експерименті варіювалися наступні фактори:

X_1 – відношення маси змішаного в'язучого до немеленого кварцового піску – 1:3; 1:2; 1:1;

X_2 – витрата меленого вапняку у змішаному в'язучому – (20 ± 20) %;

X_3 – витрата СП (від маси змішаного в'язучого) – $(0,5 \pm 0,5)$ %.

Витрата води замішування для кожної строчки математичного плану приймалася з розрахунку одержання діаметру розпливу суміші на струшувальному столику у діапазоні 140 ± 5 мм. Заданий діаметр розпливу розчинової суміші приймався однаковим для двох порівнювальних технологій – з використанням механоактивації змішаного в'язучого і технології, в якій механоактивація в'язучого не передбачалася (контроль). План експерименту і склади досліджених будівельних розчинів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Математичний план експерименту і склади будівельних розчинів

№	Рівні незалежних факторів			ЗВ:П	Вміст сухих компонентів розчинової суміші на один заміс			
					Склад змішаного в'язучого		Кварцовий пісок, г	Релаксол-Супер ПК, г
	X_1	X_2	X_3		Портландцемент, г	Мелений вапняк, г		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-	-	1:3	500	-	1500	0,0
2	-	+	-	1:3	300	200	1500	0,0
3	0	0	-	1:2	534	133	1333	0,0
4	+	-	-	1:1	1000	-	1000	0,0
5	+	+	-	1:1	600	400	1000	0,0



1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	-	0	0	1:3	400	100	1500	2,5
7	0	-	0	1:2	667	-	1333	3,4
8	0	0	0	1:2	534	133	1333	3,4
9	0	+	0	1:2	400	267	1333	3,4
10	+	0	0	1:1	800	200	1000	5,0
11	-	-	+	1:3	500	-	1500	5,0
12	-	+	+	1:3	300	200	1500	5,0
13	0	0	+	1:2	534	133	1333	6,7
14	+	-	+	1:1	1000	-	1000	10,0
15	+	+	+	1:1	600	400	1000	10,0

Примітка: 1:3; 1:2; 1:1 – співвідношення між витратою змішаного в'язучого (г) і кварцового піску (г)

Статистична обробка експериментальних даних дозволила одержати поліноміальні моделі (1-4) міцності будівельного розчину на стиск в 3-х та 28-и добовому віці в залежності від досліджуваних факторів:

$$R_{cm}^{m.3} = 23,6 + 6,6X_1 + 2,5X_1^2 - 0,9X_1X_2 + 0,7X_1X_3 - 3,0X_2 - 0,9X_2^2 + 0,6X_2X_3 + 3,6X_3 - 0,2X_3^2; \quad (1)$$

$$R_{cm}^{m.28} = 39,0 + 10,7X_1 + 4,4X_1^2 - 1,3X_1X_2 + 0,8X_1X_3 - 4,9X_2 - 1,7X_2^2 - 0,7X_2X_3 + 5,7X_3; \quad (2)$$

$$R_{cm}^{k.3} = 13,3 + 3,6X_1 + 1,3X_1^2 - 0,5X_1X_2 + 0,2X_1X_3 - 1,7X_2 - 0,4X_2^2 + 1,8X_3; \quad (3)$$

$$R_{cm}^{k.28} = 29,8 + 8,2X_1 + 3,3X_1^2 - 0,9X_1X_2 + 0,6X_1X_3 - 3,9X_2 - 1,2X_2^2 + 4,5X_3. \quad (4)$$

де $R_{cm}^{m.3}$ (МПа), $R_{cm}^{m.28}$ (МПа) – міцність будівельного розчину на механоактивованому змішаному портландцементі у 3-х та 28-и добовому віці;

$R_{cm}^{к.3}$ (МПа), $R_{cm}^{к.28}$ (МПа) – міцність будівельного розчину на змішаному портландцементі, який механоактивації не підлягав (контроль), у 3-х та 28-и добовому віці.

Аналізуючи математичні моделі (1-4) слід відмітити, що максимальний вплив на міцність будівельного розчину як у 3-х добовому так і у 28-и добовому віці надає вміст змішаного в'язучого (X_1) у розчиновій будівельній суміші. Підтвердженням визначального впливу вмісту змішаного в'язучого на міцність будівельного розчину як на механоактивованому так і на в'язучому, яке не підлягало механоактивації, є однофакторні графічні залежності, які наведені на рис. 1.)

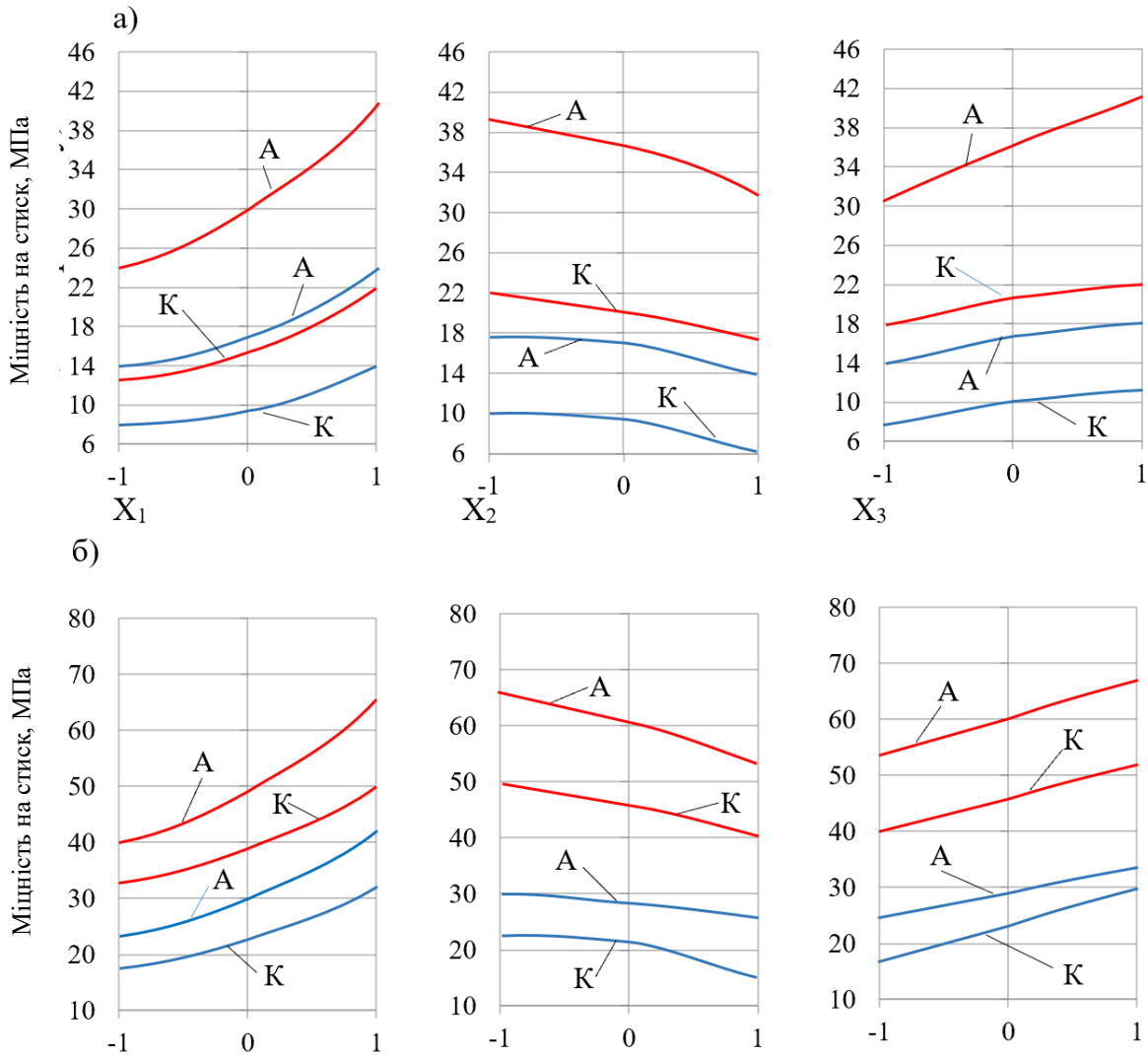


Рис. 1. Вплив рецептурних факторів на міцність будівельного розчину на стиск в зоні максимуму (—) та мінімуму (—):

- а – міцність будівельного розчину в 3-х добовому віці;
- б – міцність будівельного розчину в 28-и добовому віці;
- К – контроль (міцність зразків на в'язучому, яке механоактивації не підлягало);
- А – міцність зразків на механоактивованому в'язучому

Аналізуючи експериментальні дані слід визначити, що зростання вмісту механоактивованого змішаного в'язучого у складі розчинової суміші викликає підвищення міцності на стиск будівельного розчину в 3-х добовому віці з 24 МПа до 40,5 МПа, тобто майже на 70 %. В 28-и добовому віці вплив вмісту активованого

змішаного в'язучого на міцність будівельного розчину дещо знижується і не перевищує 62,5 %. Наступним за значимістю фактором впливу на міцність будівельного розчину на механоактивованому в'язучому є витрата СП. Слід відмітити, що зростання вмісту СП від 0 до 1 % маси змішаного в'язучого приведе до підвищення міцності цементно-піщаних зразків в 3-х добовому віці з 31 МПа до 41,2 МПа тобто майже на 33 %, а в 28-и добовому віці на 29 % - з 52 до 67 МПа. Що стосується впливу вмісту меленого вапняку на міцність на стиск будівельного розчину в зоні максимума, то експериментально встановлено, що в 3-х добовому віці зростання витрати вапняку у змішаному в'язучому від 0 до 40 % викликає зниження його міцності з 40,5 МПа до 32 МПа, тобто майже на 27 %. Для будівельного розчину на механоактивованому в'язучому у 28-и добовому віці введення до складу змішаного в'язучого 40 % меленого вапняку приведе до зниження міцності зразків (в порівнянні з використанням портландцементу без добавки меленого вапняку) на 23 % - з 65,2 до 53 МПа.

Що стосується впливу механоактивації на міцність будівельного розчину то слід визначити, що максимальний ефект від швидкісної обробки цементно-вміщуючої композиції з добавкою меленого вапняку спостерігається в 3-х добовому віці - в цьому разі зростання міцності на стиск зразків становить не менше 60 %. В 28-и добовому віці ефект від механоактивації дещо знижується і, в порівнянні з контролем, не перевищує 30...32 %.

Підтвердженням позитивного впливу механоактивації є графічні залежності, в яких віддзеркалюється вплив витрати змішаного в'язучого на міцність на стиск будівельного розчину в 28-и добовому віці, рис 2.

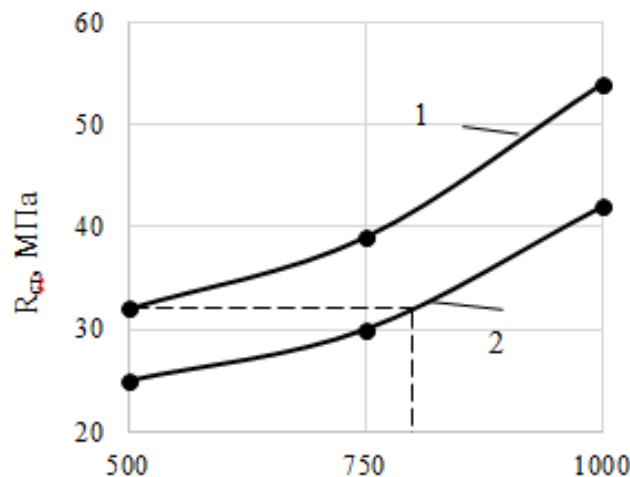


Рис.2. Вплив витрати змішаного в'язучого (кг/м³) на міцність будівельного розчину на стиск в 28-добовому віці:

- 1 - механоактивоване змішане в'язуче;
2- контроль (змішане в'язуче, яке механоактивації не підлягало)

Зафіксувавши фактори X_2 і X_3 (витрати меленого вапняку та СП) на нульових рівнях отримаємо математичні залежності, які мають вигляд:

$$R_{cm}^{m,28} (\text{МПа}) = 39,0 + 10,7 X_1 + 4,4 X_1^2, \quad (5)$$

$$R_{cm}^{k,28} (\text{МПа}) = 29,8 + 8,2 X_1 + 3,3 X_1^2. \quad (6)$$

Одержані графічні залежності наглядно підтверджують вплив механохімічної активації на зростання міцності будівельного розчину. Так, міцність будівельного розчину на механоактивованому змішаному в'язучому (32 МПа) забезпечується при витраті його в кількості 500 кг/м³. Для отримання аналогічної міцності будівельного

розчину на змішаному в'язучому, яке механоактивації на підлягало, необхідно витратити його в кількості 790 кг/м^3 , що майже на 60 % більше.

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянуті у статті результати дослідів пов'язані з визначенням впливу рецептурно-технологічних факторів, а саме: а) механохімічної активації змішаного в'язучого (суміш портландцементу з добавкою меленого вапняку; б) витрати змішаного в'язучого; в) витрати СП на міцність на стиск будівельного розчину. Витрата змішаного в'язучого приймалося в діапазоні від 500 до 1000 кг/м^3 . Статистична обробка експериментальних даних та одержані поліноміальні моделі як на механоактивованому в'язучому, так і на в'язучому, яке не підлягало механоактивації, дозволили зробити висновок про пріоритетний вплив на міцність будівельного розчину як в 3-х добовому так і в 28-и добовому віці витрату змішаного в'язучого. Експериментальні дані свідчать про те, що зростання вмісту в'язучого в складі розчинової суміші від 500 до 1000 кг/м^3 викликає підвищення міцності на стиск будівельного розчину в 3-х добовому віці з 24 до $40,5$ МПа, а 28-и добовому віці - з 33 до 54 МПа, тобто майже на 66 %. Наступним за значимістю фактором впливу на міцність будівельного розчину на механоактивованому в'язучому є витрата СП. Зростання його вмісту (від 0 до 1 % маси змішаного в'язучого) приводить до підвищення міцності цементно-піщаних зразків в 3-х добовому віці з 31 МПа до $41,2$ МПа, тобто майже на 33 %. Що стосується впливу меленого вапняку на міцність на стиск будівельного розчину, то слід визначити, що механоактивація в значній мірі нівелює спад його міцності, що дозволяє вводити до складу змішаного в'язучого до 40 % меленого вапняку без істотного зниження міцності розчину на стиск в 28-и добовому віці.

6 ВИСНОВОК

Механохімічна активація портландцементу з добавкою меленого вапняку (до 40 %) в присутності СП є ефективним технологічним впливом в процесі виробництва будівельного розчину.

7 ЕТИЧНІ ДЕКЛАРАЦІЇ

Автори не мають будь-яких фінансових чи нефінансових інтересів щодо матеріалів, представлених у цій статті, які слід розкривати.

Література

1. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В. та ін. Ефективні технології бетонів та розчинів із застосуванням технологічної сировини /Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський, В.В. Марчук, Ю.Стасюк, М.М. Скрипник /монографія. Рівне: НУВГП.2017.424с.
2. Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. К: КНУБА, 2007.256с.
3. Вировий В.М. Композиційні будівельні матеріали та конструкції. Структура, самоорганізація, властивості/В.М. Вировий, В.С. Дорофєєв, В.Г. Суханов//Одеса: Вид-во «ТЕС», 2010. 176с.
4. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Гарніцький Ю.В. Модифіковані золотмісні сухі будівельні суміші для мурувальних та клейових розчинів. НУВГП. Рівне. 2013. 325с.
5. Рунова Р.Ф. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво/ Р.Ф. Рунова, В.І. Гоц, М.А. Саницький та ін./ К: УВПК «Екс Об», 2008. 360с.
6. Русин Б.Г. Високофункціональні бетони на основі портландцементів, модифікованих

- ультрадисперсними мінеральними добавками: авторец. дис. на здобуття наук. ст. к.т.н. за спец. 05.23.05/ НУ «Львівська політехніка». Львів. 2014. 21с.
7. Соболев Х.С. Концентрація застосування модифікованих композиційних цементів у будівельному виробництві// Вісник НУ «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва. 2024. №520. С.179-182.
 8. Шнайдер М., Беунер З. Экономические и технические преимущества композиционных цементов. Цемент и его применение. 2016. С. 36-39
 9. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Київ. Аспект-Поліграф. 2010.228с.
 10. Giergiczny Z., Mololepszy J., Szwabowski J., Słwinski J. Cementy z dobrimi mineralnymi Wtechnologieii betonov nowej generacji. Gorazdze cement. Opole? 2002. 191 s.
 11. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк У. М. Швидкотверднучі клінкер-ефективні цементи та бетони. Монографія. Львів: ТОВ Простір-М, 2021, 206с.
 12. Barabash I.V., Davidchuk V.G., Streltsov K.A. Mechanochemical activation of portland cement and its influence on the thermomechanical characteristics of cement- water compositions and solutions based on them// Modern construction and architecture, no 8, page 43-49.
 13. Вировий В. Н. та ін. Механоактивація в технології бетонів. ОДАБА. 2014.148 с.

References

1. Dvorkin L.I. Zhytkovskyi V.V., Marchuk V.V. та in.. Efektyvni tekhnologii betoniv ta rozchyniv iz zastosuvanniam tekhnolog ennoi syrovyny /L.I Dvorkin, V.V. Zhytkovskyi, V.V. Marchuk, Yu.Stasiuk, M.M. Skrypnyk /monohrafiia. Rivne: NUVHP.2017.424s.
2. Runova R.F., Nosovskyi Yu.L. Tekhnologiiia modyfikovanykh budivelnykh rozchyniv. K: KNUBA, 2007.256s.
3. Vyrovyi V.M. Kompozytsiini budivelni materialy ta konstruktсии. Struktura, samoorhanizatsiia, vlastyvoli/V.M. Vyrovyi, V.S. Dorofieiev, V.H. Sukhanov//Odesa: Vyd-vo «TES», 2010. 176s.
4. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Harnitskyi Yu.V. Modyfikovani zolovmisni sukhi budivelni sumishi dlia muruvalnykh ta kleiovykh rozchyniv. NUVHP. Rivne. 2013. 325s.
5. Runova R.F. Konstruktsiini materialy novoho pokolinnia ta tekhnologii yikh vprovadzhennia v budivnytstvo/ R.F. Runova, V.I. Hots, M.A. Sanytskyi та in./ K: UVPK «Eks Ob», 2008. 360s.
6. Rusyn B.H. Vysokofunktsionalni betony na osnovi portlandtsementiv, modyfikovanykh ultradispersnymy mineralnymy dobavkamy: avtorets. dys. na zdobuttia nauk. st. k.t.n. za spets. 05.23.05/ NU «Lvivska politekhnika». Lviv. 2014. 21s.
7. Sobol Kh.S. Kонтсентратиia zastosuvannia modyfikovanykh kompozytsiinykh tsementiv u budivelnomu vyrobnytstvi// Visnyk NU «Lvivska politekhnika»: Teoriia i praktyka budivnytstva. 2024. №520. S.179-182.
8. Shnaider M., Beuner Z. Экономыcheskye y tekhnicheskye preymushchestva kompozytsyonnykh tsementov. Tsement y eho pryomenenye. 2016. S. 36-39
9. Troian V.V. Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv. Kyiv. Aspekt-Polihrاف. 2010.228s.
10. Giergiczny Z., Mololepszy J., Szwabowski J., Słwinski J. Cementy z dobrimi mineralnymi Wtechnologieii betonov nowej generacji. Gorazdze cement. Opole? 2002. 191 s.
11. Sanytskyi M.A., Kroptyvnytska T.P., Hev' yuk U. M. Shvydkotverdnuchi klinker-efektyvni tsementy ta betony. Monohrafiia. Lviv: TOV Prostir-M, 2021, 206s.
12. Barabash I.V., Davidchuk V.G., Streltsov K.A. Mechanochemical activation of portland cement and its influence on the thermomechanical characteristics of cement- water compositions and solutions based on them// Modern construction and architecture, no 8, page 43-49.
13. Vyrovyi V. N. та in. Mekhanoaktyvatsiia v tekhnologii betoniv. OДАВА. 2014.148 с.

Барабаш Іван Васильович

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



Горбовий Олег Любомирович

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
аспірант,
вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029
gorbovoy@gmail.com
ORCID: 0009-0001-5425-4327

Для посилань:

Барабаш І. В., Горбовий О. Л. Механоактивація портландцементу з добавкою меленого вапняку і її вплив на міцність будівельного розчину. Механіка та математичні методи, 2025. Т. VII. № 1. С. 48–57.

For references:

I. Barabash, O. Gorboviy (2025). Mechanical activation of portland cement with the addition of ground limestone and its effect on the place of bind solution. Mechanics and Mathematical Methods. VII (1). 48–57.