

УДК 666.9.022

МЕХАНОАКТИВАЦІЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Барабаш І. В.¹, Давідчук В. Г.¹, Стрельцов К. О.¹

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація: Розглянуті у статті питання пов'язані з визначенням впливу механоактивації на властивості цементно-водних композицій та будівельних розчинів на їх основі. Актуальним для даного дослідження є активація цементу в поєднанні з використанням меленого кварцового піску ($S = 250 \text{ м}^2 / \text{кг}$) та суперпластифікатору Релаксол-Супер ПК. Кількість кварцового піску корегувалася в діапазоні від 0 до 40% маси цементу, а суперпластифікатору (0,15 - 1,5%) маси в'язучого. Застосування даної технології забезпечує прискорення процесів гідратації цементу, збереження необхідного рівня рухливості композицій при меншій витраті води змішування, інтенсифікацію екзотермічного розігріву.

Наведені експериментальні дані дозволили оцінити вплив терміну активації в'язучого та витрат суперпластифікатору на розплив водної цементно-вміщуючої композиції. Встановлено, що основний вклад в зниження водотвердого відношення (при умові одержання рівнов'язких композицій) досягається при активації цементно-вміщуючої композиції протягом 180 сек. з додаванням 1,5% суперпластифікуючої добавки. Водотверде відношення зменшується більше ніж на 50%. Подальше збільшення кількості пластифікатору має малу ефективність та слабо впливає на зниження водотвердого відношення.

Активація в поєднанні із зменшенням водотвердим відношенням цементно-водної композиції сприяє як підвищенню інтенсивності розігріву, так і зростанню її максимальної температури. Після активації максимальне значення температури збільшувалось на 5-11%, порівняно з неактивованою цементно-водною композицією. Пік екзотермічної реакції для механоактивованої цементно-водної композиції настає на 3 години раніше в порівнянні з неактивованою сумішшю. Зростання міцності будівельного розчину на механоактивованому цементі з додаванням суперпластифікуючої добавки досягало 71% в порівнянні з контролем.

Ключові слова: механоактивація, роторний швидкісний змішувач, пластифікуюча добавка, екзотермічний розігрів, водотверде відношення.

MECHANOACTIVATION OF PORTLAND CEMENT AND ITS INFLUENCE ON THE CHARACTERISTICS OF CONSTRUCTION COMPOSITIONS FOR VARIOUS PURPOSES

I. Barabash¹, V. Davidchuk¹, K. Streltsov¹.

¹Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract: The issues considered in the article are related to determining the effect of mechanical activation on the properties of cement-water compositions and building mortars based on them. The activation of cement in combination with the use of ground quartz sand ($S = 250 \text{ m}^2 / \text{kg}$) and the superplasticizer Relaxol-Super PC is relevant for this study. The amount of quartz sand was adjusted in the range from 0 to 40% of the cement mass, and the superplasticizer (0,15 – 1,5%) of the binder mass. The use of this technology ensures acceleration of cement hydration processes, maintaining the

required level of composition mobility with a lower consumption of mixing water, and intensification of exothermic heating.

The presented experimental data made it possible to evaluate the effect of the binder activation period and the superplasticizer consumption on the flow of the aqueous cement-containing composition. It was found that the main contribution to the decrease in the water-solid ratio (provided that equiviscous compositions are obtained) is achieved by activating the cement-containing composition for 180 sec. with the addition of 1,5% superplasticizing additive. The water-solid ratio decreases by more than 50%. A further increase in the amount of plasticizer has low efficiency and has little effect on decreasing the water-solid ratio.

Activation in combination with reduced water hardening of the cement-water composition contributes to both an increase in the heating intensity and an increase in its maximum temperature. After activation, the maximum temperature increased by 5-11% compared to the non-activated cement-water composition. The peak of the exothermic reaction for the mechanically activated cement-water composition occurs 3 hours earlier compared to the non-activated mixture. The increase in the strength of the mortar on mechanically activated cement with the addition of a superplasticizing additive reached 71% compared to the control.

Keywords: mechanical activation, rotary high-speed mixer, plasticizing additive, exothermic heating, water-solid ratio.

1 ВСТУП

Перспективним методом покращення фізико-механічних характеристик будівельних композитів є механохімічна активація портландцементу. Ефект від механоактивації різко зростає в поєднанні з використанням поверхнево-активних речовин та меленого кварцового піску. Забезпечення високого ступеня активації цементу досягається шляхом використання швидкісних активаторів. Сумісне використання перерахованих технологічних та рецептурних факторів може сприяти різкому підвищенню потенційних можливостей в'язучого, що може відобразитися як на кінетиці зростання міцності будівельного композиту, так і на її реальному значенні в марочному віці.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Одним з основних завдань, що стоять перед технологіями, є покращення властивостей цементного каменю та будівельних композитів на його основі. Це вкрай важлива та актуальна задача, для вирішення якої створені різноманітні шляхи [1]-[9], серед яких перспективними є механохімічні способи активації в'язучого [10]-[15], використання поверхнево-активних речовин та мінеральних наповнювачів [16]-[19]. Серед існуючих способів активації процесів гідратації цементних композицій широке розповсюдження одержують турбулентні швидкісні змішувачі різних конструкцій [20]-[22]. Всі вони мають одну технологічну мету, а саме – покращувати як реологічні, так і фізико - механічні властивості композиційних матеріалів [23]-[27]. Використання швидкісних змішувачів сприяє вирішенню комплексу питань, які пов'язані, насамперед, як з покращенням гомогенності свіжоприготовленої суміші так і з зростанням міцності цементного каменю та будівельного розчину на його основі [28], [29].

Вкрай важливим в технології виготовлення ресурсозберігаючих будівельних розчинів є використання поверхнево-активних речовин. Такі добавки часто використовують як окремо, так і в поєднанні з іншими добавками синтетичного або натурального походження [30]. Наявність їх зменшує надлишок води в процесі приготування будівельного розчину, що призводить до підвищення його міцності [31, 32]. Використання швидкісного гідродинамічного змішування в поєднанні з ефективною витратою поверхнево-активної добавки та оптимальною за витратою кількістю меленого кварцового піску, забезпечує прискорення процесів гідратації цементу, інтенсифікації екзотермічного розігріву та зростання міцності будівельного розчину. Вище перераховане дозволяє відмовитися як від термовологої обробки, так і від використання швидкотверднучих цементів.

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета пропонованої роботи полягає у визначенні роздільного впливу механоактивації шляхом швидкісного змішування цементно-водних композицій в спеціально розробленому механоактиваторі примусової дії ($n = 1800 \text{ об/хв}$), суперпластифікуючої добавки Релаксол - Супер ПК (в подальшому СП), та витрати меленого кварцового піску як на їх рухливість, екзотермічний розігрів, а також на міцність при стиску будівельного розчину. Активація тільки портландцементу та суміші портландцементу з меленим піском здійснювалася в водному середовищі, в механоактиваторі протягом 180 сек. Для контролю використовувалося в'язуче, яке механоактивації не підлягало. Визначався також сумісний вплив механоактивації, витрати СП та меленого кварцового піску на кінетику екзотермічного розігріву та на міцність при стиску будівельного розчину.

Для визначення екзотермічного розігріву водної цементно – вміщуючої композиції використовувався термос, який представляв собою скляну колбу з подвійними стінками,

між якими створено вакуум. Фіксація температури зразків здійснювалася через кожні 30 хв їх тверднення до того часу, коли наступний показник розігріву не змінювався, або був нижчим попереднього.

Роздільний та сумісний вплив механоактивації, СП та витрати меленого піску на міцність будівельного розчину оцінювався шляхом випробувань зразків балочок 4x4x16 см на стиск у віці 3-х, 7-и та 28-и днів тверднення. Склад розчинової суміші для виготовлення зразків приймався 1:1 (в'язуче : пісок).

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В дослідженнях в якості в'язучого використовувався портландцемент ПЦ II/A-III-500. В'язуче відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010 "Цементи загальнобудівного призначення. Технічні умови.". Одержання змішаного в'язучого здійснювалося за рахунок сумісного помелу портландцементу та кварцового піску в кількості 20 і 40 %. В якості заповнювача для будівельного розчину використовувався кварцовий пісок з $M_{кр} = 2,2$. В табл. 1 наведені експериментальні дані, які відзеркалюють вплив рецептурно – технологічних факторів (РТФ), а саме: а) вміст меленого піску у в'язучому; б) концентрації СП Релаксол - Супер ПК; в) механохімічної активації в'язучого на водотверде відношення (В/Т) цементно-вміщуючих водних композицій з розпливом конусу суміші на приборі Суттарда(в кожній точці експерименту) в діапазоні $D = 120 \pm 5$ мм.

Таблиця 1

Вплив РТФ на водотверде відношення цементно-вміщуючих композицій

№	Цемент, %.	Мел.пісок, %.	СП, %.	В/Т	Активация,сек
1	100	0	0	0,387	0
2	100	0	0,75	0,221	0
3	100	0	1,5	0,212	0
4	100	0	0	0,346	180
5	100	0	0,75	0,201	180
6	100	0	1,5	0,193	180
7	80	20	0	0,348	0
8	80	20	0,75	0,212	0
9	80	20	1,5	0,2	0
10	80	20	0	0,313	180
11	80	20	0,75	0,195	180
12	80	20	1,5	0,188	180
13	60	40	0	0,324	0
14	60	40	0,75	0,190	0
15	60	40	1,5	0,177	0
16	60	40	0	0,284	180
17	60	40	0,75	0,177	180
18	60	40	1,5	0,17	180

Аналіз експериментальних даних, наведених в табл. 1, свідчить про те, що активація цементно-вміщуючої водної композиції протягом 180 сек забезпечує одержання необхідного розпливу суміші (діаметр 120 ± 1 мм) при знижених значеннях водотвердого відношення. Так, механохімічна активація цементно-водної композиції сприяє зниженню водотвердого відношення з 0,387 (контроль – активація відсутня) до 0,346 (активація протягом 180 сек), тобто майже на 12 %.

Слід відмітити вплив механоактивації на зниження водотвердого відношення також і для композицій на портландцементі з добавкою меленого кварцового піску. Так, для цементновміщуючої композиції з добавкою 20% меленого кварцового піску

механоактивація приводє до зниження В/Т з 0,348 до 0,313, тобто більше ніж на 11%. Механохімічна активація цементно-водної композиції з добавкою 40% меленого кварцового піску забезпечує зниження В/Т (в порівнянні з контролем) з 0,324 до 0,284, тобто майже на 14%.

Що стосується впливу механоактивації водних цементно - вміщуючих композицій на зміну діаметру розпливу конусу суміші в часі, то слід відмітити, що для всіх розглянутих композицій проявляється тенденція до більш швидкої втрати рухливості сумішей, термін активації яких зростає. Виявлено, що збільшення кількості СП у композиціях сприяє сповільненню втрати рухливості сумішей. Кінетику зменшення діаметра розпливу конуса суміші представлена у табл 2.

Таблиця 2

Діаметр розпливу конуса суміші складів

Термін, год	№ складу											
	1	2	3	4	5	6	13	14	15	16	17	18
	Розплив, мм											
0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
1	107	109	109	94	90	90	113	109	110	97	95	113
2	105	95	97	74	69	83	106	100	103	83	70	102
3	89	91	86	54	52	72	97	85	95	62	56	84
4	63	89	78	-	-	59	84	72	90	-	-	65
5	-	84	73	-	-	-	70	65	82	-	-	-
6	-	64	66	-	-	-	54	58	74	-	-	-

Відмічено вплив механоактивації на зниження водотвердого відношення цементно-водних композицій в присутності суперпластифікатору. Так, якщо зростання СП до 1,5% викликає зниження водотвердого відношення цементно-водної композиції з 0,387 до 0,212 (контроль – активація відсутня), то сумісний вплив механоактивації в присутності СП (1,5%) забезпечує одержання заданого розпливу цементно-водної композиції, при меншій кількості води замішування ($B/T = 0,193$).

Швидкісне змішування цементно-вміщуючих композицій відображається також і на кінетиці їх екзотермічного розігріву. Одержані експериментальні результати, рис. 1, свідчать про наявність індукційного періоду розігріву цементно-водних композицій як на механоактивованому в'язучому (А), так і на в'язучому, яке механоактивації не підлягало (К). Індукційний період на портландцементі без добавки меленого піску і який активації не підлягав, складає приблизно 4...6 годин з моменту замішування його водою. Попередня активація скорочує термін індукційного періоду екзотермічного розігріву цементно-водної композиції до 2-х – 3-х годин. По закінченню індукційного періоду спостерігається інтенсивне підвищення температури тверднучої цементно-водної композиції.

Для цементно-водної композиції, яка не підлягала механоактивації, максимальний розігрів не перевищував 51,7 °С, а пік розігріву наставав не раніше 11 годин з моменту замішування цементу водою.

Механоактивація цементно-водної композиції в присутності СП в кількості 1,5% сприяє підвищенні швидкості гідратації, що відображається на зростанні максимальної температури її розігріву (рис. 1, а).

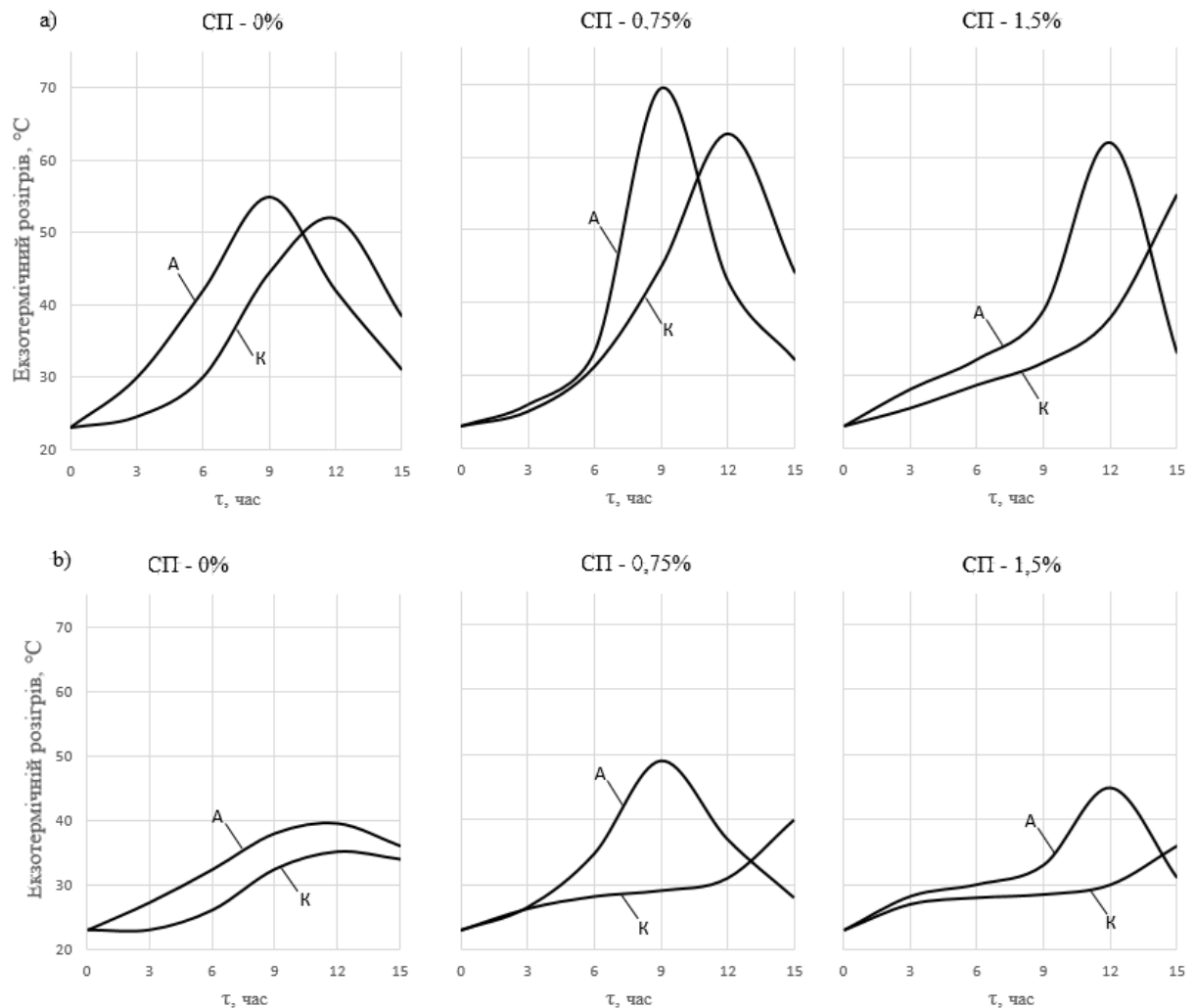


Рис. 1. Кінетика екзотермічного розігріву цементно-вміщуючих композицій:
а, б – вміст меленого кварцового піску у в'язучому, відповідно 0 та 40%

Введення до складу портландцементу меленого кварцового піску сприяє зменшенню екзотермічного розігріву цементно-вміщуючої композиції. Так, зростання його витрати 40% сприяє зниженню максимальної температури розігріву тверднучої цементно-вміщуючої композиції з 57,4 до 39,5 °С, тобто більше ніж на 31% (рис. 1, б).

Заключним етапом дослідження було визначення впливу механохімічної активації цементу в присутності СП та меленого кварцового піску на міцність при стиску будівельного розчину в віці 3-х, 7-и та 28-и днів тверднення.

Аналіз графічних залежностей свідчить про те, що сумісний вплив механоактивації та СП сприяє зростанню міцності будівельного розчину (в порівнянні з контролем) в 3-х денному віці з 32 МПа до 70 МПа, тобто більше ніж в 2 рази. В 28-и денному віці різниця міцності знижується і не перевищує 70%. Введення в портландцемент 40% меленого кварцового піску різко знижує міцність, але і в цьому разі механоактивація в присутності СП забезпечує одержання міцності будівельного розчину на стиск на 25...30% більшою в порівнянні з міцністю контрольних зразків (механоактивація відсутня, кількість СП – 0%).

Кінетика набору міцності будівельним розчином показана на рис. 2.

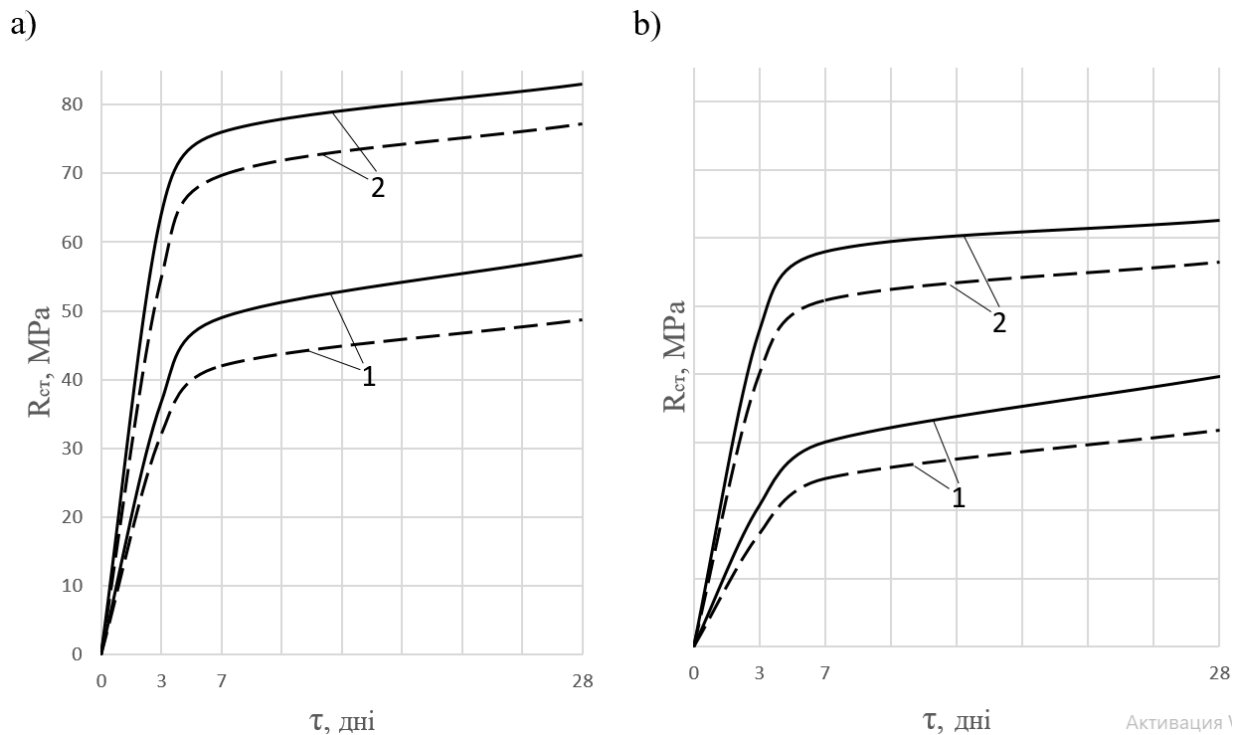


Рис. 2. Кінетика зростання міцності будівельного розчину:
a, b – вміст меленого піску у в'язучому 0 та 40% відповідно;
----- – в'язуче механоактивоване протягом 180 сек.;
- - - - - контроль (механоактивація в'язучого відсутня);
1, 2 – витрата суперпластифікатору 0 і 1,5% відповідно (від маси цементу)

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сумісний вплив механоактивації та СП сприяє зростанню міцності будівельного розчину. Підвищення реакційної здатності компонентів в'язучого пов'язано з механічним руйнуванням поверхневої зони тонкодисперсних часток цементу та зерен піску в процесі контактної взаємодії між ними у роторному швидкісному змішувачі. Результати експериментальних досліджень дозволили оптимізувати як термін механоактивації, витрати СП, так і кількість меленого кварцового піску у в'язучому, які в сукупності забезпечують одержання цементного каменю підвищеної міцності. Більш того, використання механоактивації дозволило зменшити (в порівнянні з контролем) водотверде відношення більше ніж на 11%, скоротити термін тужавлення з 5 до 4 годин, а термін індукційного періоду на 2-3 години та збільшити максимальну температуру розігріву більше ніж на 11%.

Використання СП (1,5%) дозволяє зменшити (в порівнянні з контролем) водотверде відношення більше ніж на 45%, а в поєднанні з механоактивацією більше ніж на 50%.

Використання меленого кварцового піску у складі в'язучого (з заміною 40% цементу) сприяє зменшенню максимальної температури розігріву з 57,4 до 39,5 °С.

Результати досліджень свідчать про ефективність механохімічної активації портландцементу з добавкою меленого кварцового піску у роторному швидкісному змішувачі. Ефект від активації цементу підвищується в присутності суперпластифікатору, забезпечуючи при цьому зростання міцності будівельного розчину в 28-и денному віці більше ніж на 70% (в порівнянні з контролем).

6 ВИСНОВКИ

1. Використання механохімічної активації цементно-вміщуючи композицій в присутності суперпластифікуючої добавки Релаксол-Супер ПК (до 1,5% від маси цементу) дозволяє зменшувати водотверде відношення з 0,387 до 0,193, тобто більше ніж на 50% (в порівнянні з контролем).

2. Сумісний вплив механоактивації в'язучого в присутності СП (1,5%) сприяє зростанню міцності будівельного розчину в 28-и денному віці більше ніж на 70% (в порівнянні з контролем).

7 ЕТИЧНІ ДЕКЛАРАЦІЇ

Автори статті не мають відповідних фінансових чи нефінансових інтересів, про які можна було б повідомити.

Література

1. Рунова Р.Ф., Косовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ: КНУБА, 2007, 256 с.
2. Коваль С.В. Моделювання та оптимізація складу та властивостей модифікованих бетонів. Одеса: Астропринт, 2012, 424 с.
3. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк У.М. Швидкотверднучі клінкер-ефективні цементи та бетони. Монографія. Львів: ТОВ Простір-М, 2021, 206с.
4. Intini G., Liberti L., Notarnicola M., Di Canio F. Mechanochemical activation of coal fly ash for production of high strength cement conglomerates // Химия в интересах устойчивого развития. 2009. Т. 17. №6. С. 567–571.
5. Bezzubtseva M.M., Ruzhev V.A., Yuldashev R.Z. Electromagnetik mechanoactivation of dry construction mixes // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2013. No 2. Pp. 241–245.
6. Солодкий С.Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах/ С.Й. Солодкий// Львів: Вид-во Нац-го зак-ту «Львівська політехніка». 2008. -144с.
7. 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.
8. 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.
9. Barabasch I.V., Babiy I.M., Streltsov K.O. Intensive separate technology and its influence on the properties of cement -Water compositions, solutions and concretes on their basis // Modern construction and architecture, Issue N2. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2022. P. 44-51.
10. Шпирько М.В., Дубов Т.М. Дослідження вливу електромагнітної активації концентрованої цементної суспензії на властивості цементного каменю та бетону/ Вісник ПДАБА, 2020, N2(263-264). С. 102-107.
11. Kumar S., Bandopadhyay A., Rajinikanth V., Alex T.C., Kumar R. Improved processing of blended slag cement through mechanical activation // Journal of Materials Science. 2004. Vol. 39. No.10. Pp. 3449–3452.
12. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини Київ: УВПК Екс Об, 2003. 468с.
13. Федоркін С.І. Механоактивація вторинної сировини у виробництві будівельних матеріалів. / Сімферополь: Таврія, 1997. 180с.
14. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Гарніцький Ю.В. Модифіковані золотмісні сухі будівельні суміші для мурувальних та клейових розчинів. НУВГП. Рівне. 2013. 325с.
15. Linbo Jiang, Zhi Wang, Xueliang Gao. Effect of nanoparticles and surfactants on properties and microstructures of foam and foamed concrete.// Construction and Building Materials. -

2024. – vol.411.
16. Swapnadarshi, Sritam & Gandhi, Indu Siva Ranjani & Selija, Khwairakpam. (2018). State-of-the-Art Review on the Characteristics of Surfactants and Foam from Foam Concrete Perspective. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*. 99. 1-15. 10.1007/s40030-018-0288-5.
 17. Kligys, Modestas & LAUKAITIS, Antanas. (2007). The Influence of Some Surfactants on Porous Concrete Properties. 13.
 18. Shkromada, O., A. Paliy, O. Yurchenko, N. Khobot, A. Pikhtirova. "INFLUENCE OF FINE ADDITIVES AND SURFACTANTS ON THE STRENGTH AND PERMEABILITY DEGREE OF CONCRETE". *EUREKA: Physics and Engineering*, no. 2, Mar. 2020, pp. 19-29
 19. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete - a review / *Construction and Building Materials*, 2010. V. 24. P. 2060-2071.
 20. Кондратьєва Н. В. Нанотехнології у виробництві будівельних матеріалів/Н.В. Кондратьєва / *Будівництво України*, 2012. №6. С. 2-9.
 21. Маслов А.Г. Розробка установки для вібротехнічної обробки будівельних сумішей/ А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко, Є.В. Стукота // *Вісник Харківського нац. автодор. ун-ту*. Вип. 57, 2012. С.59-62.
 22. Хайнік Г. Трибохімія. Пров. з ньому., 1987. 584с.
 23. Чарнецький Л. Майбутнє бетону / Л. Чарнецький, В. Курдовський // *IX Міжнар. наук.-практ. конф.: Запоріжжя*, 2007. - С. 13-21.
 24. 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.
 25. Aktivation des Betonanmachwasser./ A. Kudyahow, G. Semyonova, Y. Sarkisow[etc.] // *Tagungsbericht*, Band 2. Weimar, Deutschland, 1997. S.20501 - 20507.
 26. Братчун В. І., Зайченко Л. Г. Оптимізація факторів електромагнітної активації бетонних сумішей / *Вісник ВДАСА: Одеса*, 2005. Вип. № 20. С. 40-46.
 27. Вировий В. Н. та ін. Механоактивація в технології бетонів. *ОДАСА*. 2014.148 с.
 28. Ушеров-Маршак А.В., Кабусь О.В. Функціонально-кінетичний аналіз впливу добавок на твердіння цементів/Неорганічні матеріали, 2016. Том 52, N4. С. 479-484.
 29. Łażniewska-Piekarczyk, Beata & Miera, Patrycja & Szwabowski, Janusz. (2017). Plasticizer and Superplasticizer Compatibility with Cement with Synthetic and Natural Air-Entraining Admixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 245. 032094. 10.1088/1757-899X/245/3/032094.
 30. Mehran Khan, Majid Ali. Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber.// *Construction and Building Materials*. – 2018. – vol.182. – P. 703-715.
 31. Dzigita Nagrockiene, Ina Pundienė, Asta Kicaite. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties.// *Construction and Building Materials*. – 2013. – vol.45. – P. 324-331.

References

1. Runova R.F., Kosovsky Yu.L. Technology of modified building solutions. Kyiv: KNUSA, 2007, 256 p.
2. Koval S.V. Modeling and optimization of composition and properties of modified concrete. Odessa: Astroprint, 2012, 424 p.
3. Sanitsky M.A., Kropyvnytska T.P., Gevyuk V.M. Fast-hardening clinker-effective cements and concretes. Monograph. Lviv: Prostir-M LLC, 2021, 206s.
4. Intini G., Liberti L., Notarnicola M., Di Canio F. Mechanochemical activation of coal fly ash for production of high strength cement conglomerates // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2009. Т. 17. №6. С. 567–571.
5. Bezzubtseva M.M., Ruzhev V.A., Yuldashev R.Z. Electromagnetik mechanoactivation of dry construction mixes // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2013.

- No 2. Pp. 241–245.
6. Sladkiy S.Y. Crack resistance of concrete on modified cements / S.I. Sladkiy// Lviv: Publishing house of the National Law "Lviv Polytechnic". 2008. –144 p.
 7. Vyrovoy V.N. Composite building materials and structures. Structure, self-organization, properties / V.N. Vyrovoy, V.S. Dorofeev, V.G. Sukhanov//Odessa: Publishing house "TES", 2010. 176 p.
 8. Runova R.F. New generation structural materials and technologies for their implementation in construction/R.F. Runova, V.I. Gots, M.A. Sanitsky et al./K: UVPK "Ex Ob", 2008. 360 p.
 9. Barabasch I.V., Babiy I.M., Streltsov K.O. Intensive separate technology and its influence on the properties of cement -Water compositions, solutions and concretes on their basis // Modern construction and architecture, Issue N2. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2022. P. 44-51.
 10. Shpyrko M.V., Dubov T.M. Study of the effect of electromagnetic activation of concentrated cement suspension on the properties of cement stone and concrete / Bulletin of PDABA, 2020, N2 (263-264). P. 102-107.
 11. Kumar S., Bandopadhyay A., Rajinikanth V., Alex T.C., Kumar R. Improved processing of blended slag cement through mechanical activation // Journal of Materials Science. 2004. Vol. 39. No.10. Pp. 3449–3452.
 12. Gots V. I. Concretes and building solutions Kyiv: UVPK Eks Ob, 2003. 468 p.
 13. Fedorkin S.I. Mechanical activation of secondary raw materials in the production of building materials. / Simferopol: Tavria, 1997. 180 p.
 14. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Garnitsky Yu.V. Modified ash-containing dry building mixes for stone and adhesive mortars. NUOT. Rivne. 2013. 325 p.
 15. Linbo Jiang, Zhi Wang, Xueliang Gao. Effect of nanoparticles and surfactants on properties and microstructures of foam and foamed concrete.// Construction and Building Materials. - 2024. – vol.411.
 16. Swapnadarshi, Sritam & Gandhi, Indu Siva Ranjani & Selija, Khwairakpam. (2018). State-of-the-Art Review on the Characteristics of Surfactants and Foam from Foam Concrete Perspective. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. 99. 1-15. 10.1007/s40030-018-0288-5.
 17. Kligys, Modestas & LAUKAITIS, Antanas. (2007). The Influence of Some Surfactants on Porous Concrete Properties. 13.
 18. Shkromada, O., A. Paliy, O. Yurchenko, N. Khobot, A. Pikhtirova. "INFLUENCE OF FINE ADDITIVES AND SURFACTANTS ON THE STRENGTH AND PERMEABILITY DEGREE OF CONCRETE". EUREKA: Physics and Engineering, no. 2, Mar. 2020, pp. 19-29
 19. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete - a review / Construction and Building Materials, 2010. V. 24. P. 2060-2071.
 20. Kondratieva N. V. Nanotechnology in the production of building materials / N. V. Kondratieva / Construction of Ukraine, 2012. No. 6. P. 2-9.
 21. Maslov A. G. Development of an installation for vibromechanical processing of building mixtures / A. G. Maslov, Yu. S. Salenko, E. V. Stukota // Bulletin of the Kharkov National Avtodor University. Issue 57, 2012. P. 59-62.
 22. Heinicke G. Tribochemistry. Translated from German, 1987. 584 p.
 23. Charnetsky L. The Future of Concrete / L. Charnetsky, V. Kurdovsky // IX International Scientific and Practical Conf.: Zaporizhzhya, 2007. – P. 13–21.
 24. Rusin B.G. Highly functional concretes based on Portland cements modified with ultrafine mineral additives: author. dis. for the degree of scientific associate. candidate of technical sciences in specialty. 05.23.05/ National University "Lviv Polytechnic". Lviv. 2014. 21 p.
 25. Aktivation des Betonanmachwasser./ A. Kudyahow, G. Semyonova, Y. Sarkisow[etc.] // Tagungsbericht, Band 2. Weimar, Deutschland, 1997. S.20501 - 20507.
 26. Bratchun V. I., Zaychenko L. G. Optimization of electromagnetic activation factors of concrete mixtures / Bulletin of OGASU: Odessa, 2005. Issue No. 20. P. 40-46.
 27. Vyrov V. N. et al. Mechanical activation in concrete technology. OSACEA. 2014.148 p.

28. Usharov-Marshak A.V., Kabus A.V. Functional-kinetic analysis of the influence of additives on cement hardening / Inorganic materials, 2016. Vol. 52, N4. P. 479-484.
29. Łażniewska-Piekarczyk, Beata & Miera, Patrycja & Szwabowski, Janusz. (2017). Plasticizer and Superplasticizer Compatibility with Cement with Synthetic and Natural Air-Entraining Admixtures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 245. 032094.
10.1088/1757-899X/245/3/032094.
30. Mehran Khan, Majid Ali. Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber.// Construction and Building Materials. – 2018. – vol.182. – P. 703-715.
31. Dzigitā Nagrockienė, Ina Pundienė, Asta Kicaite. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties.// Construction and Building Materials. – 2013. – vol.45. – P. 324-331.

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

Давідчук Владислав Геннадійович

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
аспірант
вул. Дідріхсона, 4 Одеса, Україна 65029
oldsnakes19@gmail.com,
ORCID: 0009-0001-5425-4327

Стрельцов Костянтин Олександрович

Одеська державна академія будівництва та архітектури
к.т.н., доцент
вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029
0989051837@gmail.com,
ORCID: 0000-00021-5463-7395

Для посилань:

Барабаш І. В., Давідчук В. Г., Стрельцов К.О. Механоактивація портландцементу та її вплив на характеристики будівельних композицій різного призначення ів. Механіка та математичні методи, 2024. Т. VI. №. 2. с. 77–87.

For references:

I. Barabash, V. Davidchuk, K. Streltsov (2024). Mechanical activation of portland cement and its influence on the characteristics of building compositions for various purposes. Mechanics and mathematical methods. VI (2). 77–87.