

ВИВЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОНАПОВНЕНИХ ШЛАКОВМІЩУЮЧИХ ЦЕМЕНТІВ, МОДИФІКОВАНИХ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ ВИРОБНИЦТВА ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»

Москаленко О.А., інженер-технолог,
aleksandr.moskalenko.mc@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9382-9728
ТОВ «МЦ Баухемі»
вул. Маяковського, 38, м. Березань, Київська обл., 07541, Україна

Анотація. Досліджено фізико-механічні характеристики високонаповнених шлаковмісних цементів, модифікованих органо-мінеральним комплексом ТОВ «МЦ Баухемі». В результаті оптимізації встановлено область допустимих концентрацій органо-мінеральних добавок по максимальних критеріям – строків початку та кінця тужавлення та міцності при стиску у віці 7 і 28 діб. Показано, що на розширення початку тужавлення та його кінця позитивно впливає наявність пластифікатору MC-PowerFlow 2695 від 0,43 до 0,8% і органо-мінерального комплексу Centrilit NC і Centrilit Fume SX в кількості від 3/5,25 до 5,2/7%, що, при одночасному збільшенню вмісту шлаку від 50 до 70% у складі портландцементу, строки початку-кінця тужавлення збільшуються від 225/250 до 320/330 хв., що в 1,3/1,5 разів вище за подібні показники бездобавочного портландцементу. Відмічено, що у віці 7 та 28 діб, введення органо-мінерального комплексу складу MC-PowerFlow 2695 від 0,28 до 0,645%, Centrilit NC від 4,23 до 7% і Centrilit Fume SX від 3 до 7% і при вмісту ГДШ в кількості 50 і 70% сприяє отриманню штучного каменю марки М500 з міцністю при стиску в межах 47/52,8 і 46/48 МПа.

Ключові слова: високонаповнений шлаковмісний цемент, органо-мінеральний комплекс, фізико-механічні властивості.

Введення. Позитивні властивості шлакопортландцементу відомі: підвищена водо- і сульфатостійкість, жаростійкість, знижена екзотермія, інтенсивне зростання міцності при підвищеній температурі [1]. Однак незважаючи на накопичений досвід, ставлення будівельників до застосування портландцементів з підвищеним вмістом шлаку (21-35%) і шлакопортландцементів в бетоні – далеко не однозначне. Найбільше побоювання викликає можливе зниження міцності в ранньому віці, уповільнений темп зростання міцності при нормальних і знижених температурах.

Шлакопортландцемент є одним з найбільш економічно ефективних видів в'язучих речовин, при його виробництві значна кількість клінкеру замінюється більш дешевим гранульованим шлаком. Основним недоліком шлакопортландцементу є несумісність з існуючими пластифікуючими добавками, що перешкоджає широкому застосуванню такого в'язучого матеріалу [2-4]. Тому очевидна необхідність виконання досліджень по впливу комплексу органо-мінеральних добавок ТОВ «МЦ Баухемі» на шлаковміщуючі цементы з метою прискорення гідратації із забезпеченням ранньої міцності на рівні портландцементу без добавок.

Аналіз останніх публікацій. Згідно даних [5] певним вирішенням проблеми щодо підвищення ранньої міцності шлаковміщуючих цементів є введення в їх склад природних мікрокремнеземів, представлених опокою та трепелом. Однак їх дефіцитність не забезпечує повсюдного застосування. Одним із способів підвищення ранньої міцності шлакопортландцементів є їх термоактивація та сульфатна активація сумісно пластифікуючими добавками та прискорювачами тверднення [6-7]; даний підхід дозволяє покращити як реологічні властивості, так і підвищувати ранню міцність. У роботах [8-14] значна увага приділяється використанню мікрокремнезему, золи винесення та метакаоліну для підвищення міцносних властивостей як портландцементу, так і шлакопортландцементу. Відмічено позитивний вплив даних добавок на процеси гідратації, що пов'язані з більш ефективним зв'язуванням гідроксиду кальцію в низькоосновні гідросилікатні структури. Автори

рекомендують використання таких активних мінеральних добавок в кількості від 5 до 12% від маси портландцементу, що сприяє формуванню штучного каменю міцністю в марочному в межах 45-50 МПа на рівні з бездобавочним портландцементом. Однак залишається відкритим питанням сумісної дії комплексу органо-мінеральних добавок без прискорювачів тверднення на ранню та марочну міцність портландцементів, що вміщують в своєму складі мелений шлак в кількості 50 і 70%. Дана публікація є продовженням робіт, що були виконані автором та опубліковані в [15].

Мета та завдання. Метою роботи є визначення впливу органо-мінерального комплексу Баухемі на фізико-механічні властивості шлаковміщуючих портландцементів з вмістом шлаку в кількості 50 і 70%. Досягнення мети можливо варіюванням кількості введення доменного гранульованого шлаку в портландцемент при їх сумісному помелі та виявлення ефективності дії комплексних органо-мінеральних добавок на формування ранньої та марочної міцності.

Матеріали та методика дослідження. Для отримання портландцементів з перемінним вмістом гранульованого доменного шлаку (ГДШ), як сировинні матеріали застосовано: портландцемент ПЦ І-500-Н виробництва ПАТ «Волинь-Цемент» згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010 і ГДШ виробництва ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Е. Держинського» (ТУ У В.2.7-27.1-05393043-113:2010). Цементи отримували шляхом сумісного помелу ПЦ І-500-Н і ГДШ по відкритому циклу до питомої поверхні 3550 см²/г (за приладом Блейна). В ролі модифікуючих добавок використано продукти фірми «МЦ Баухемі», які відповідають вимогам ДСТУ Б.В. 2.7-171:2008 і являють собою: Суперпластифікатор СП «МС-PowerFlow 2695» згідно з ТУ У В.2.7-24.6-33482370-004:2013 – на основі ефірів полікарбосилатів; органо-мінеральний комплекс SX «Centrilit Fume SX» згідно з ТУ У В.2.7-24.6-33482370-004:2011 – на основі суспензії мікрокремнезему (SX); органо-мінеральний комплекс NC «Centrilit NC» згідно з ТУ У В.2.7-24.6-33482370-004:2011 – на основі пуцоланових алюмосилікатів (NC). За критерії ефективності добавок прийнято найбільш значимі для цементів характеристики, що необхідні для отримання бетонних сумішей та виробів з них: строки тужавлення та характеристики міцності цементів на стиск після 7 і 28 діб тверднення в нормальних умовах.

Оптимізацію складу шлаковміщуючих портландцементів із органо-мінеральним комплексом Баухемі проводили згідно 3-факторного симплекс-центрального плану експерименту в математичному середовищі STATISTICA. Загальна сума всіх компонентів цементної суміші складала 1. Фактори варіювання та матриця планування експерименту наведені в табл. 1 і табл. 2.

Таблиця 1 – Фактори варіювання

Фактори, вигляд	натуральний	кодований	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			0	1	
МС-PowerFlow 2695	%	X ₁	0,2	0,8	0,6
Centrilit NC	%	X ₂	3	7	4
Centrilit Fume SX	%	X ₃	3	7	4

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту

Точки плану	План матриці в кодованому вигляді			План матриці в натуральному вигляді		
	X ₁	X ₂	X ₃	МС, %	NC, %	SX, %
1	0,00	1,00	0,00	0,2	7	3
2	0,33	0,33	0,33	0,4	4,33	4,33
3	1,00	0,00	0,00	0,8	3	3
4	0,50	0,50	0,00	0,5	5	3
5	0,00	0,00	1,00	0,2	3	7
6	0,50	0,00	0,50	0,5	3	5
7	0,00	0,50	0,50	0,2	5	5

За критерій оцінки властивостей обрано максимальні значення вихідних параметрів.

Результати досліджень. На підставі статистичної обробки даних, представлених на рис. 1-4 отримані рівняння регресії (1–12), що враховують залежність властивостей шлаковмістких цементів від впливу різних концентрацій ДГШ і органо-мінерального комплексу Баухемі в їх складах:

• 0% ДГШ:

– строки тужавлення, початок/кінець, хв.:

$$V1=159x_1+134,3x_2+127x_3+18,6x_1x_2+21,2x_1x_3-6,6x_2x_3-115,8x_1x_2x_3 \quad (1)$$

$$V2=194,3x_1+167x_2+160,7x_3+18,6x_1x_2+15,2x_1x_3-0,6x_2x_3-107,7x_1x_2x_3 \quad (2)$$

– міцність при стиску, МПа, на 7/28 добу тверднення:

$$V3=66,36x_1+67,39x_2+67,07x_3+0,46x_1x_2+0,46x_1x_3+1,04x_2x_3-6,42x_1x_2x_3 \quad (3)$$

$$V4=72,96x_1+74,11x_2+73,97x_3-0,58x_1x_2+0,78x_1x_3-0,36x_2x_3-6x_1x_2x_3 \quad (4)$$

• 50% ДГШ:

– строки тужавлення, початок/кінець, хв.:

$$V5=228,3x_1+201,7x_2+195,3x_3+20x_1x_2+22x_1x_3+0,8x_2x_3-132x_1x_2x_3 \quad (5)$$

$$V6=320x_1+293,7x_2+259x_3+17,8x_1x_2+74x_1x_3+55,8x_2x_3-202,5x_1x_2x_3 \quad (6)$$

– міцність при стиску, МПа, на 7/28 добу тверднення:

$$V7=5,89x_1+46,75x_2+46,18x_3+2,56x_1x_2+1,9x_1x_3+1,46x_2x_3-12,18x_1x_2x_3 \quad (7)$$

$$V8=51,7x_1+52,69x_2+52,04x_3+2,86x_1x_2+2,12x_1x_3+1,58x_2x_3-15,45x_1x_2x_3 \quad (8)$$

• 70% ДГШ:

– строки тужавлення, початок/кінець, хв.:

$$V9=251,7x_1+225,3x_2+217,7x_3+22x_1x_2+18,4x_1x_3+3,2x_2x_3-138x_1x_2x_3 \quad (9)$$

$$V10=338x_1+311x_2+303x_3+19,2x_1x_2+19,2x_1x_3+2,8x_2x_3-132,6x_1x_2x_3 \quad (10)$$

– міцність при стиску, МПа, на 7/28 добу тверднення:

$$V11=42,5x_1+42,86x_2+43,12x_3-0,32x_1x_2+15,32x_1x_3+0,52x_2x_3-52,14x_1x_2x_3 \quad (11)$$

$$V12=45,93x_1+47,87x_2+48,16x_3+2,72x_1x_2+2,34x_1x_3+0,58x_2x_3-11,25x_1x_2x_3 \quad (12)$$

Аналіз рівнянь (1–12) показує, що на зміну вихідних параметрів мають вплив основні фактори варіювання – X_1 , X_2 і X_3 , а також їх сумісна дія X_1X_2 , X_2X_3 і X_1X_3 , а саме: для значень строків тужавлення початок/кінець та міцності при стиску на 7/28 добу тверднення при вмісті меленого ГДШ в кількості 0, 50 і 70%.

У бездобавочному портландцементі на початок тужавлення (більше 150 хв.) найбільш вагомо впливає збільшення концентрації пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,4 до 0,8% при одночасному зменшенні кількості добавок Centrilit NC (X_2) і Centrilit Fume SX (X_3) від 6,5 до 3% (рис. 1, а).

Уведення до 50% ГДШ від маси портландцементу та органо-мінерального комплексу Баухемі призводить до розширення строків тужавлення до 225 хв. при одночасному збільшенні концентрації пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,4 до 0,8%, зменшенні кількості добавки Centrilit NC (X_2) від 4,2 до 3% і збільшенні добавки Centrilit Fume SX (X_3) від 5,5 до 7% (рис. 1, б). Початок тужавлення збільшується в 1,5 рази в порівнянні з бездобавочним портландцементом.

Уведення до 70% ГДШ від маси портландцементу та органо-мінерального комплексу Баухемі призводить до розширення строків тужавлення до 250 хв. при одночасному збільшенні концентрації пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,45 до 0,8%, зменшенні кількості добавки Centrilit NC (X_2) від 4 до 3% і збільшенні добавки Centrilit Fume SX (X_3) від 5,8 до 7% (рис. 1, в). Початок тужавлення збільшується в 1,7 рази в порівнянні з бездобавочним портландцементом.

Для бездобавочного портландцементу на кінець тужавлення (більше 190 хв.) впливає збільшення концентрації пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,5 до 0,8%, зменшення кількості добавок Centrilit NC (X_2) від 6,2 до 3% збільшення добавки Centrilit Fume SX (X_3) від 5 до 7% (рис. 2, а).

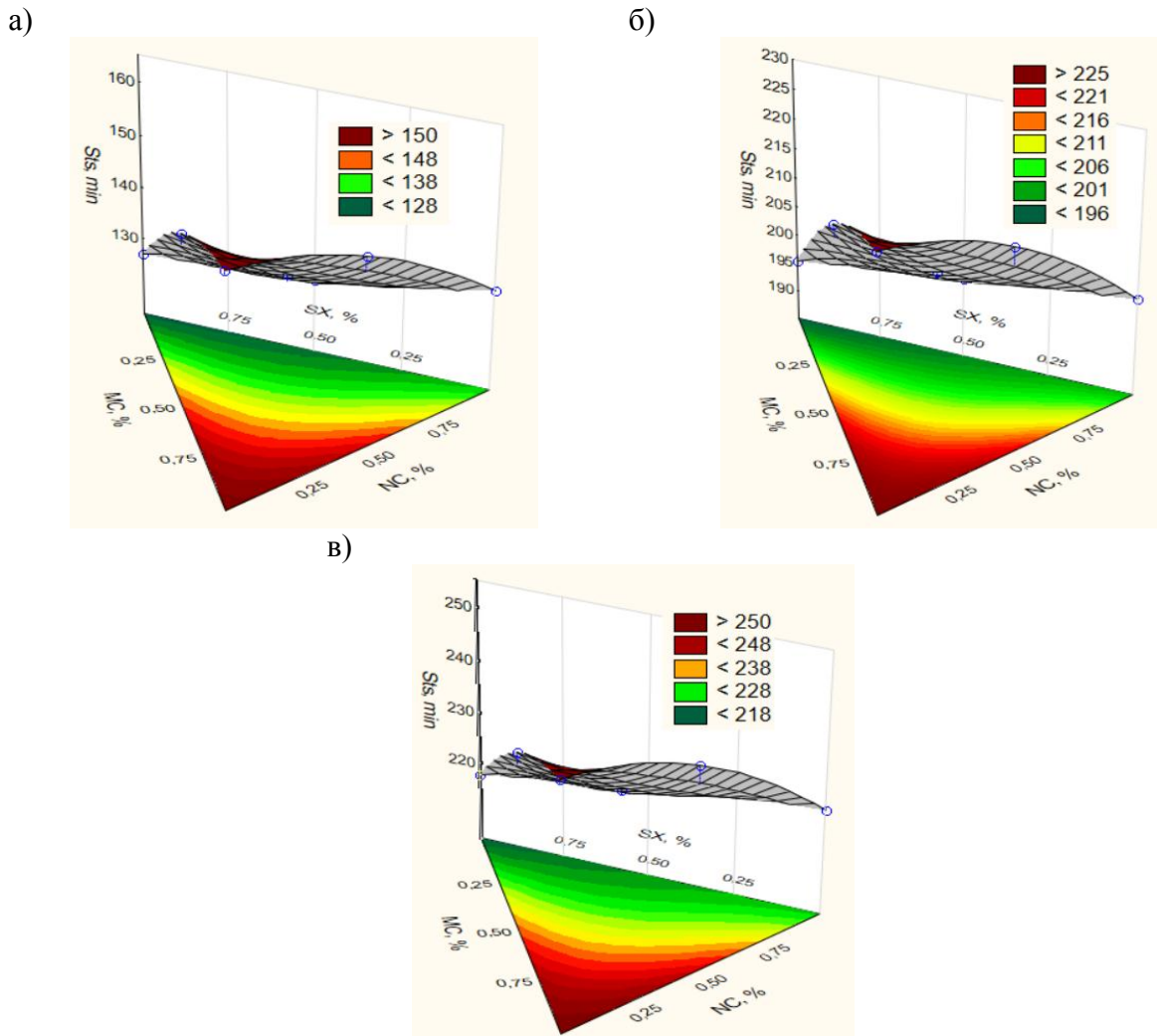


Рис. 1. Ізопараметричні діаграми впливу факторів варіювання на початок тужавлення (хв.) портландцементу при вмісті ДГШ у кількості, %:
а – 0; б – 50; в – 70

При вмісті в складі портландцементу 50% ГДШ на кінець тужавлення (більше 320 хв.) впливає збільшення концентрації добавки MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,3 до 0,8%, зменшення концентрації добавки Centrilit NC (X_2) від 7 до 3% і збільшення концентрації добавки Centrilit Fume SX (X_3) від 6,5 до 7% (рис. 2, б). Кінець тужавлення збільшується в 1,7 рази в порівнянні з бездобавочним портландцементом.

При вмісті в складі портландцементу 70% ГДШ на кінець тужавлення (більше 330 хв.) впливає збільшення концентрації добавки MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,5 до 0,8%, зменшення концентрації добавки Centrilit NC (X_2) від 6,5 до 3% і збільшення концентрації добавки Centrilit Fume SX (X_3) від 5,2 до 7% (рис. 2, б). Кінець тужавлення збільшується в 1,7 рази в порівнянні з бездобавочним портландцементом, і в 1 раз в порівнянні з портландцементом, що містить 50% ГДШ (рис. 2, в).

На зміну міцності при стиску портландцементу на сьому добу тверднення впливає зменшення концентрації пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,35 до 0,2% та збільшення вмісту Centrilit NC (X_2) від 4 до 7% і Centrilit Fume SX (X_3) від 3 до 6,5% (рис. 1, в). Максимальною міцністю при стиску – 67,4 МПа, характеризується штучний камінь, в склад якого введено MC-PowerFlow2695 в кількості 0,5%, Centrilit NC в кількості 7% і Centrilit Fume SX в кількості 5% (рис. 3, а). Максимальну міцність при стиску – 67,4 МПа має штучний камінь, що вміщує добавку MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,2 до 0,35%, Centrilit NC (X_2) від 5,8 до 7% і Centrilit Fume SX (X_3) від 3 до 6,5%.

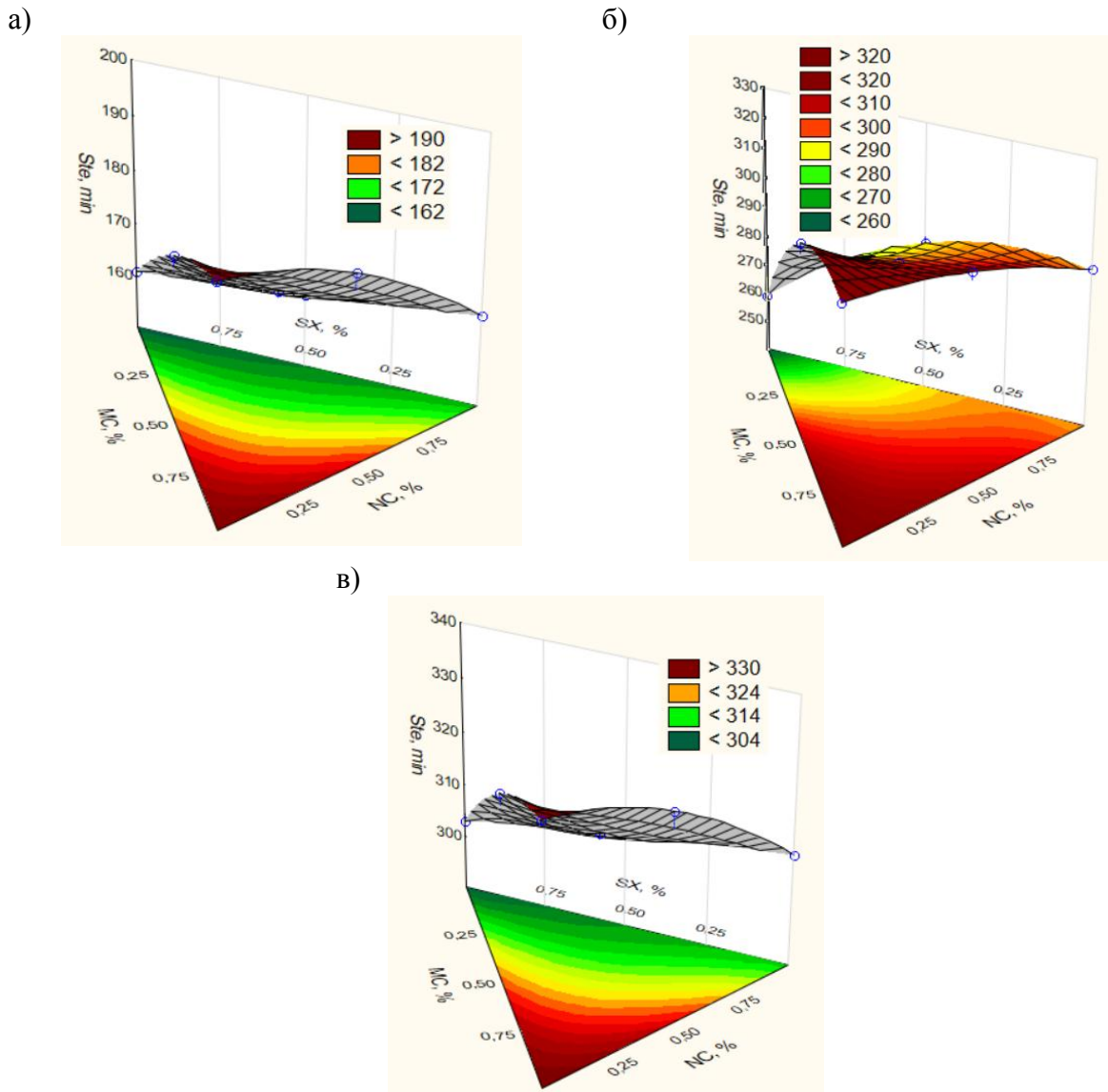


Рис. 2. Ізопараметричні діаграми впливу факторів варіювання на кінець тужавлення портландцементу при вмісті ДГШ в кількості, %:
а – 0; б – 50; в – 70

На зміну міцності при стиску портландцементу на сьому добу тверднення з вмістом 50% ГДШ впливає максимальний вміст концентрації пластифікатора MC-PowerFlow 2695 (X_1) 0,8% та одночасне збільшення/зменшення вмісту Centrilite NC (X_2) від 4 до 7% і Centrilite Fume SX (X_3) від 5 до 3% (рис. 3, б). Максимальною міцністю при стиску – 47 МПа, характеризується штучний камінь, в склад якого введено MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,8%, Centrilite NC в кількості 7% і Centrilite Fume SX в кількості 3%. Міцність на сьому добу тверднення, в порівнянні з бездобавочним портландцементом, зменшилась в 1,43 рази, що характерно для високонаповнених в'язучих систем такого типу. Збільшення вмісту ШДШ до 70% у складі портландцементу призводить до незначного падіння міцності в порівнянні з портландцементом, що вміщує в своєму складі 50% ГДШ. Загальна картина розташування ізолиній міцності відрізняється від попередніх випадків, і на їх розподілення впливає зміна концентрацій добавки MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,35 до 0,65%, при мінімальних значеннях концентрацій добавок Centrilite NC і Centrilite Fume SX до 3% (рис. 3, в). Максимальною міцністю при стиску – 46 МПа, характеризується штучний камінь, в склад якого введено MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,5%, Centrilite NC і Centrilite Fume SX в кількості 5 і 7%.

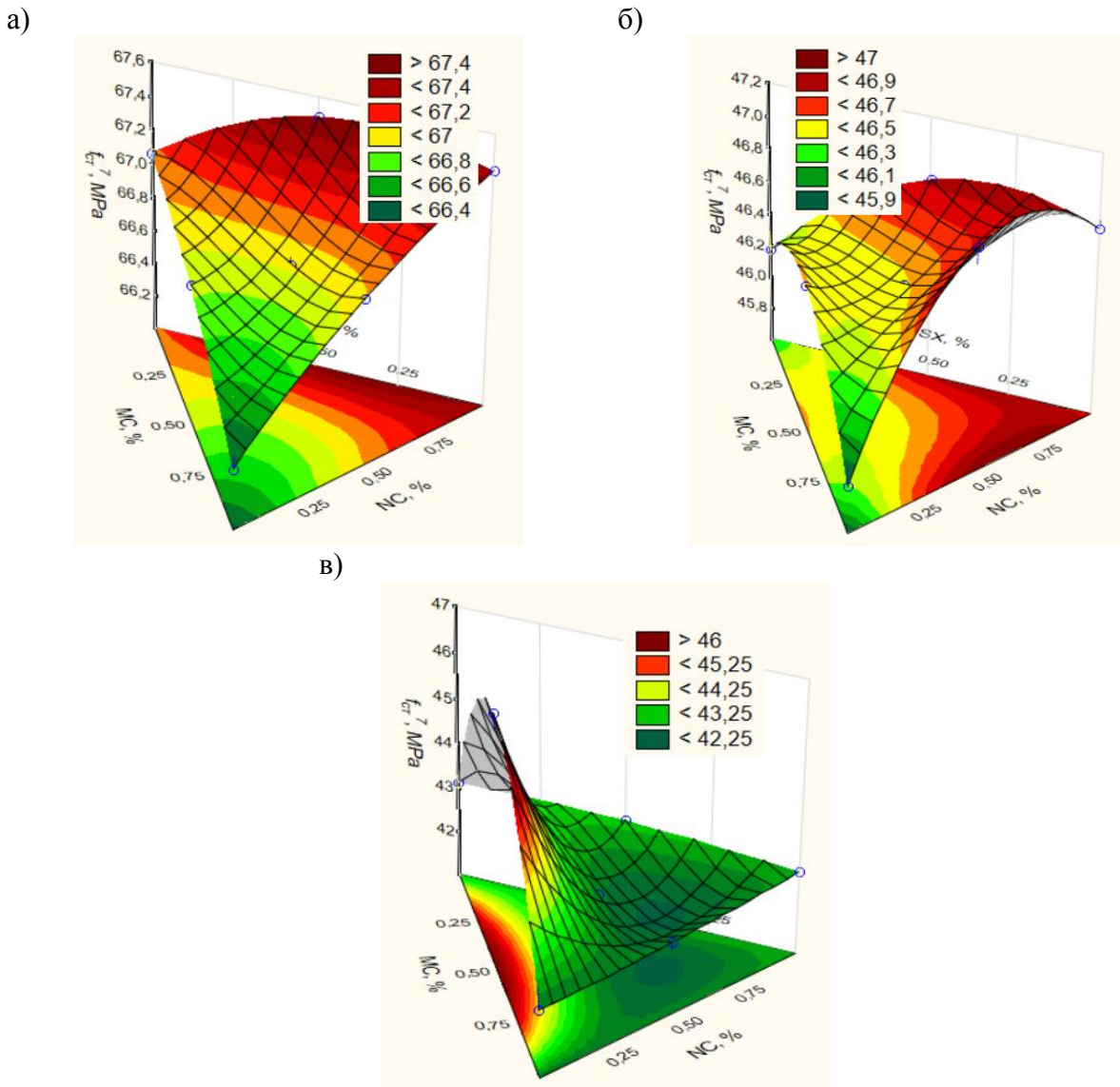


Рис. 3. Ізопараметричні діаграми впливу факторів варіювання на зміну міцності при стиску (МПа) портландцементу на 7 добу твердіння при вмісті ДГШ в кількості, %:
а – 0; б – 50; в – 70

У марочному віці, на 28 добу тверднення, бездобавочний портландцемент характеризується міцністю при стиску 74 МПа; на її показник впливає зменшення концентрації у складі портландцементу добавки MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,5 до 0,2%, збільшенні концентрацій добавок Centrilite NC від 5,7 до 7% і Centrilite Fume SX в кількості 3 і 7% (рис. 4, а). Уведення до складу портландцементу ГДШ в кількості 50% зменшує в 1,4 рази марочну міцність в порівнянні з бездобавочним. В цілому, на збільшення міцності при стиску, при вказаній концентрації ГДШ, впливає зменшення концентрації добавки MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,5 до 0,2%, збільшенні концентрацій добавок Centrilite NC від 5,7 до 7% і Centrilite Fume SX в кількості 3 і 7% (рис. 4, б) (аналогічно попереднім даним). Максимальною міцністю при стиску – 52,8 МПа характеризується штучний камінь, що містить добавку MC-PowerFlow 2695 (X_1) в кількості 0,8%, добавку Centrilite NC в кількості від 4 до 7% і добавку Centrilite Fume SX в кількості від 3 до 7% (рис. 4, б).

Уведення до складу портландцементу ГДШ в кількості 70% зменшує в 1,54 рази марочну міцність в порівнянні з бездобавочним. В цілому, на збільшення міцності при стиску, при вказаній концентрації ГДШ, впливає збільшення концентрацій добавок MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,2 до 0,6%, Centrilite NC від 4,2 до 7% і Centrilite Fume SX від 3 і 7% (рис. 4, б)

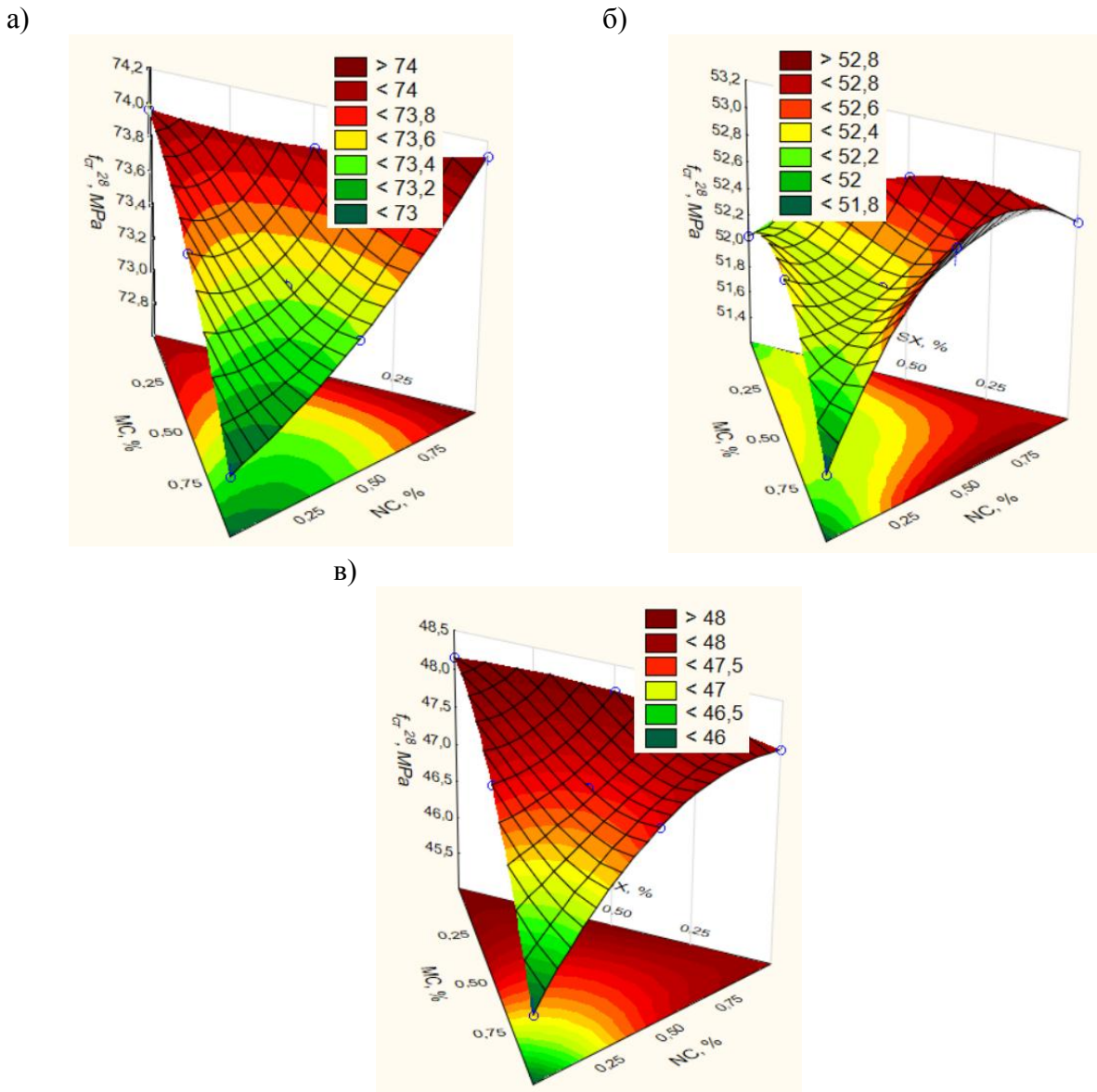


Рис. 4. Ізопараметричні діаграми впливу факторів варіювання на зміну міцності при стиску (МПа) портландцементу на 28 добу твердіння при вмісті ДГШ в кількості, %:
а – 0; б – 50; в – 70

(аналогічно попереднім даним). Максимальною міцністю при стиску – 48 МПа характеризується штучний камінь, що містить добавку MC-PowerFlow 2695 (X_1) в кількості 0,2%, добавку Centrilit NC в кількості 5% і добавку Centrilit Fume SX в кількості 7% (рис. 4, б).

Висновки. Досліджено вплив органо-мінерального комплексу Баухемі на фізико-механічні властивості шлаковміщуючих портландцементів. Оптимізовано склад органо-мінерального комплексу за критеріями строків тужавлення та міцності. Показано, що на розширення початку тужавлення та його кінця позитивно впливає наявність пластифікатора MC-PowerFlow 2695 від 0,43 до 0,8% і органо-мінерального комплексу Centrilit NC і Centrilit Fume SX в кількості від 3/5,25 до 5,2/7%, що, при одночасному збільшенні вмісту шлаку від 50 до 70% у складі портландцементу, строки початку-кінця тужавлення збільшуються від 225/250 до 320/330 хв., що в 1,3/1,5 разів вище за подібні показники бездобавочного портландцементу. Відмічено, що у віці 7 та 28 діб, введення органо-мінерального комплексу складу MC-PowerFlow 2695 від 0,28 до 0,645%, Centrilit NC від 4,23 до 7% і Centrilit Fume SX від 3 до 7% і при вмісті ГДШ в кількості 50 і 70% сприяє отриманню штучного каменю марки М500 з міцністю при стиску в межах 47/52,8 і 46/48 МПа.

Подальші дослідження будуть направлені на вивчення впливу зазначеного комплексу на реокінетичні властивості при вмісті шлаку в кількості 10 до 70% у складі портландцементу.

Література

1. Шлакосодержащие цементы: повышение ранней прочности. Доступный электронный ресурс: URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=5074&cat_id=5&page_id=5.
2. Боженков П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. М.: Изд-во АСВ, 1994. 264 с.
3. Кононова О.В., Минаков Ю.А., Анисимов С.Н., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О., Губин Н.В. Интенсификация твердения пластифицированного бетона с добавкой доменного гранулированного шлака. *Современные наукоемкие технологии*. 2016. №9–2. С. 228-232.
4. Гергичны З. Европейский опыт успешного использования в строительстве цементов с добавкой доменного шлака. *Alitinform: цемент, бетон, сухие смеси*. 2013. № 4-5 (31). С. 36-41.
5. Циммер Д., Кроль К., Пауль М. Влияние добавок, вводимых при измелении шлака, на раннюю прочность и гидратацию шлакопортландцемента. *Цемент*. 2016. №5. С. 16-25.
6. Каушанский В.Е., Боженкова О.Ю., Трубицын А.С. Влияние термообработки шлаковой составляющей портландцемента на его активность. *Цемент и его применение*. 2001. № 3. С. 25-26.
7. Рунова Р.Ф., Троян В.В., Осипенко В.В., Терещенко С.В. Сульфатна активація пластифікованого шлакопортландцементу. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. 2010. Вип. 31(81). С. 61-66.
8. Dhagat A., Mittal M. Effect of Microsilica and fly ash on the strength of concrete. *IJSER*. 2013. Vol. 4, Issue 8, pp. 1399-1402.
9. Mohammadi M., Moghtadaei R.M., Samani N.A. Influence of silica fume and metakaolin with two different types of interfacial adhesives on the bond strength of repaired concrete. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 51, pp. 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.048>.
10. Jun Jie Zeng, Yang Liao, Zheng Leng. Influence of Metakaolin on Strength and Microstructure of High-Strength Concrete. *KEM*. 2012. Vol. 509. pp 33-39. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.509.33>.
11. Ana Luisa VELOSA, Fernando ROCHA and Rosário VEIGA. Influence of chemical and mineralogical composition of metakaolin on mortar characteristics. *Acta Geodyn. Geomater*. 2009. Vol. 6, No. 1 (153). pp. 121–126.
12. Badogiannis E. et al. Metakaolin as a main cement constituent. Exploitation of poor Greek kaolins. *Cement & Concrete Composites*. 2005. 27. pp. 171–181.
13. Veiga M.R., Velosa A. and Magalhães A. Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: characterization and performance evaluation. *Construction and Building Materials*. 2009. 23 (1).pp. 318–327.
14. Anjunas S. Nivin P. Influence of metakaolin and silica fume on rheological and mechanical properties of self compacting concrete. *IJCE*. 2016. Vol. 5. Issue 6. pp. 45-52.
15. Москаленко О.А. Дослідження впливу органо-мінерального комплексу виробництва ТОВ «МЦ Баухемі» на фізико-механічні властивості шлаковміщуючих цементів. *Вісник ОДАБА*, 2020. Вип. 80. С. 75-83.
15. Москаленко О.А. Дослідження впливу органо-мінерального комплексу виробництва ТОВ «МЦ Баухемі» на фізико-механічні властивості шлаковміщуючих цементів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. Вип. 80. С. 75-83.

References

- [1] Shlakosoderzhashchiye tsementy: povysheniye ranney prochnosti. [Online]. Available: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=5074&cat_id=5&page_id=5.
- [2] P.I. Bozhenov, *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya i ekologiya*. М.: Izd-vo ASV, 1994.

- [3] O.V. Kononova, YU.A. Minakov, S.N. Anisimov, A.YU. Leshkanov, A.O. Smirnov, N.V. Gubin, "Intensifikatsiya tverdeniya plastifitsirovannogo betona s dobavkoy domennogo granulirovannogo shlaka", *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, no. 9–2, pp. 228-232, 2016.
- [4] Z. Gergichny, "Yevropeyskiy opyt uspehnogo ispol'zovaniya v stroitel'stve tsementov s dobavkoy domennogo shlaka", *Alitinform: tsement, beton, sukhiye smesi*, no. 4-5 (31), pp. 36-41, 2013.
- [5] D. Tsimmer, K. Krol', M. Paul', "Vliyaniye dobavok, vvodimykh pri izmel'chenii shlaka, na rannuyu prochnost' i gidratatsiyu shlakportlandtsementa", *Tsement*, no. 5, pp. 16-25, 2016.
- [6] V.Ye. Kaushanskiy, O.YU. Bozhenova, A.S. Trubitsyn, "Vliyaniye termoobrabotki shlakovoy sostavlyayushchey portlandtsementa na yego aktivnost'", *Tsement i yego primeneniye*, no. 3, pp. 25-26, 2001.
- [7] R.F. Runova, V.V. Troyan, V.V. Osypenko, S.V. Tereshchenko, "Sul'fatna aktyvatsiya plastyfikovanoho shlakoportlandtsementu", *Visnyk Donbas'koyi natsional'noyi akademiyi budivnytstva i arkhitektury*, vol. 31(81), pp. 61-66, 2010.
- [8] A. Dhagat, M. Mittal, "Effect of Microsilica and fly ash on the strength of concrete", *IJSER*, vol. 4, Issue 8, pp. 1399-1402, 2013.
- [9] M. Mohammadi, R.M. Moghtadaei, N.A. Samani, "Influence of silica fume and metakaolin with two different types of interfacial adhesives on the bond strength of repaired concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 51, pp. 141-150, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.048>.
- [10] Jun Jie Zeng, Yang Liao, Zheng Leng, "Influence of Metakaolin on Strength and Microstructure of High-Strength Concrete", *KEM*, vol. 509, pp. 33-39, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.509.33>.
- [11] Ana Luisa VELOSA, Fernando ROCHA and Rosário VEIGA, "Influence of chemical and mineralogical composition of metakaolin on mortar characteristics", *Acta Geodyn. Geomater*, vol. 6, no. 1 (153), pp. 121–126, 2009.
- [12] Badogiannis, E. et al., "Metakaolin as a main cement constituent. Exploitation of poor Greek kaolins", *Cement & Concrete Composites*, 27, pp. 171–181, 2005.
- [13] M.R. Veiga, A. Velosa and A. Magalhães, "Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: characterization and performance evaluation", *Construction and Building Materials*, 23 (1), pp. 318–327, 2009.
- [14] S. Anjunas, P. Nivin, "Influence of metakaolin and silica fume on rheological and mechanical properties of self compacting concrete", *IJCE*, vol. 5, Issue 6, pp. 45-52, 2016.
- [15] O.A. Moskalenko, "Doslidzhennya vplyvu orhano-mineral'noho kompleksu vyrobnytstva TOV «MTS Baukhemi» na fizyko-mekhanichni vlastyvoli shlakovmishchuyuchykh tsementiv", *Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 80, pp. 75-83, 2020.

**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ШЛАКОСОДЕРЖАЩИХ ЦЕМЕНТОВ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ
ПРОИЗВОДСТВА ООО «МЦ БАУХЕМИ»**

Москаленко А.А., инженер-технолог,
alexandr.moskalenko/mc@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9382-9728
ООО «Баухеми Украина»
ул. Маяковского, 38, г. Березань, Киевская обл., 07541, Украина

Аннотация. Исследованы физико-механические характеристики высоконаполненных шлаковмисных цементов, модифицированных органо-минеральным комплексом ООО «МЦ Баухеми». В результате оптимизации установлено область допустимых концентраций органо-минеральных добавок по максимальным критериям сроков начала и конца схватывания и прочности при сжатии в возрасте 7 и 28 суток. Показано, что на расширение начала

схватывания и его конца положительно влияет наличие пластификатора MC-PowerFlow 2695 от 0,43 до 0,8% и органо-минерального комплекса Centrilite NC и Centrilite Fume SX в количестве от 3/5,25 до 5,2/7%, что при одновременном увеличении содержания шлака от 50 до 70% в составе портландцемента, сроки начала-конца схватывания увеличиваются от 225/250 до 320/330 мин., что в 1,3 / 1,5 раза выше подобные показатели бездобавочного портландцемента. Отмечено, что в возрасте 7 и 28 суток, введение органо-минерального комплекса состава MC-PowerFlow 2695 от 0,28 до 0,64%, Centrilite NC от 4,23 до 7% и Centrilite Fume SX от 3 до 7% и при содержании ГДШ в количестве 50 и 70% способствует получению искусственного камня марки М500 с прочностью при сжатии в пределах 47 / 52,8 и 46/48 МПа.

Методом наложения функций отклика определена оптимальная область допустимых концентраций составляющих органо-минерального комплекса Баухеми, влияющих на заявленные критерии при содержании шлака в портландцементе в количестве 50 и 70%, а именно: 0,6% MC-PowerFlow 2695, 5% Centrilite NC и 5% Centrilite Fume SX.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния указанного комплекса на физико-механические свойства при содержании шлака в количестве 50 и 70% в составе портландцемента.

Ключевые слова: шлакосодержажий цемент, органо-минеральный комплекс, физико-механические свойства.

STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF HIGHLY FILLED SLAG-CONTAINING CEMENTS MODIFIED WITH ORGANIC-MINERAL ADDITIVES PRODUCED BY BAUCHEMI

Moskalenko A.A., process engineer,
alexandr.moskalenko/mc@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9382-9728
LLC «Bauhemi Ukraine»
st. Mayakovsky, 38, Berezan, Kiev region, 07541, Ukraine

Abstract. The physical and mechanical characteristics of highly filled slag cements modified by the organic-mineral complex of LLC “MC Bauhemi” have been investigated. As a result of optimization, the area of permissible concentrations of organic-mineral additives was established according to the maximum criteria for the timing of the beginning and end of setting and strength in compression at the age of 7 and 28 days. It is shown that the expansion of the beginning of setting and its end is positively influenced by the presence of the plasticizer MC-PowerFlow 2695 from 0.43 to 0.8% and the organic-mineral complex Centrilite NC and Centrilite Fume SX in an amount from 3 / 5.25 to 5.2 / 7%, that with a simultaneous increase in the slag content from 50 to 70% in the composition of Portland cement, the start-end time of setting increases from 225/250 to 320/330 minutes, which is 1.3 / 1.5 times higher than similar indicators of no additive Portland cement. It was noted that at the age of 7 and 28 days, the introduction of an organic-mineral complex of the composition MC-PowerFlow 2695 from 0.28 to 0.64%, Centrilite NC from 4.23 to 7% and Centrilite Fume SX from 3 to 7% and at the content of GDSH in the amount of 50 and 70% contributes to the production of an artificial stone of the M500 brand with compressive strength in the range of 47 / 52.8 and 46/48 MPa.

Using the method of superposition of response functions, the optimal area of permissible concentrations of the components of the Bauhemi organic-mineral complex, affecting the stated criteria, was determined when the slag content in Portland cement was 50 and 70%, namely: 0.6% MC-PowerFlow 2695, 5% Centrilite NC and 5 % Centrilite Fume SX.

Further research will be aimed at studying the effect of this complex on the physical and mechanical properties with a slag content of 50 and 70% in the composition of Portland cement.

Keywords: slag-containing cement, organic-mineral complex, physical and mechanical properties.

Стаття надійшла до редакції 13.11.2020