

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ
ВИРОБНИЦТВА ТОВ «МЦ БАУХЕМІ»
НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКОВМІЩУЮЧИХ ЦЕМЕНТІВ**

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 вплив органо-мінерального комплексу ТОВ «МЦ Баухемі» на фізико-механічні властивості шлаковміщуючих цементів. 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. Введення пластифікатору MC-PowerFlow 2695 від 0,4 до 0,8% і органо-мінерального комплексу Centrilit NC і Centrilit Fume SX в кількості від 3 до 6,5%, при одночасному збільшенні вмісту шлаку від 0 до 30% у складі портландцементу, строки початку-кінця тужавлення збільшуються від 150/190 до 185/250 хв. Відмічено, що у віці 7 та 28 діб, введення органо-мінерального комплексу складу MC-PowerFlow 2695 від 0,2 і до 3,5%, Centrilit NC від 4,5 до 7% і Centrilit Fume SX від 3 до 6,5% сприяє незначній зміні фізико-механічних характеристик матеріалів при одночасному збільшенні вмісту шлаку в складі портландцементу в кількості 10 і 30% в порівнянні з бездобавочним портландцементом.

Ключові слова: 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 від 10 до 30%.

Мета та завдання. Метою роботи є визначення впливу органо-мінерального комплексу Баухемі на фізико-механічні властивості шлаковміщуючих портландцементів з вмістом шлаку в кількості від 10 до 30%. 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 полікарбоксилатів; органо-мінеральний комплекс SX «Centrilite Fume SX» згідно з ТУ У В.2.7-24.6-33482370-004:2011 – на основі суспензії мікрокремнезему (SX); органо-мінеральний комплекс NC «Centrilite 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.

За критерій оцінки властивостей обрано максимальні значення вихідних параметрів.

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
Centrilite NC	%	X ₂	3	7	4
Centrilite 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

Результати досліджень. На підставі статистичної обробки даних, представлених на рис. 1-3 отримані рівняння регресії (1–12), що враховують залежність властивостей шлаковмістких цементів від впливу різних концентрацій 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:

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

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

• 10% ДГШ:

– строки тужавлення, початок/кінець, хв.:

$$V5=165,7x_1+139,3x_2+133,3x_3+22x_1x_2+22x_1x_3-126,6x_1x_2x_3 \quad (5)$$

$$V6=246,7x_1+220,3x_2+213,7x_3+20,8x_1x_2+18x_1x_3+1,2x_2x_3-122,7x_1x_2x_3 \quad (6)$$

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

$$V7=63,7x_1+64,69x_2+64,39x_3+0,46x_1x_2+0,5x_1x_3+1x_2x_3-6,42x_1x_2x_3 \quad (7)$$

$$V8=71,6x_1+72,68x_2+72,34x_3+25,24x_1x_2+1,24x_1x_3+1,96x_2x_3-83,61x_1x_2x_3 \quad (8)$$

• 30% ДГШ:

– строки тужавлення, початок/кінець, хв.:

$$V9=186,7x_1+161,3x_2+155,3x_3+18,8x_1x_2+21,2x_1x_3-5,2 \cdot 10^{-13}x_1x_3-121,8x_1x_2x_3 \quad (9)$$

$$V10=258,7x_1+232,7x_2+225x_3+16x_1x_2+15,4x_1x_3-2,2x_2x_3-109,2x_1x_2x_3 \quad (10)$$

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

$$V11=57,08x_1+57,53x_2+57,65x_3+1,26x_1x_2+0,42x_1x_3+1,92x_2x_3-9,99x_1x_2x_3 \quad (11)$$

$$V12=66,02x_1+66,65x_2+66,87x_3+1,22x_1x_2+0,1x_1x_3+0,84x_2x_3-8,46x_1x_2x_3 \quad (12)$$

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, а саме: для значень строків тужавлення початок/кінець та міцності при стиску на 7/28 добу тверднення при вмісті меленого ГДШ від 0 до 30% X_1X_2 , X_2X_3 і X_1X_3 .

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). Аналогічна залежність спостерігається і для кінця тужавлення (більше 190 хв.) (рис. 1, б).

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%.

У марочному віці, тобто на 28 добу тверднення, характеристики міцності портландцементу збільшуються при одночасному зменшенні в його складі концентрації пластифікатору від 0,25 до 0,2% (X_1) та збільшенні кількості мінеральних активаторів від 6 до 7% Centrilit NC (X_2) і від 3 до 7% Centrilit Fume SX (X_3) (рис. 1, г). Максимальною міцністю при стиску – 74 МПа, характеризується штучний камінь, в склад якого введено MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,2%, Centrilit NC в кількості 7% і Centrilit Fume SX в кількості 7%.

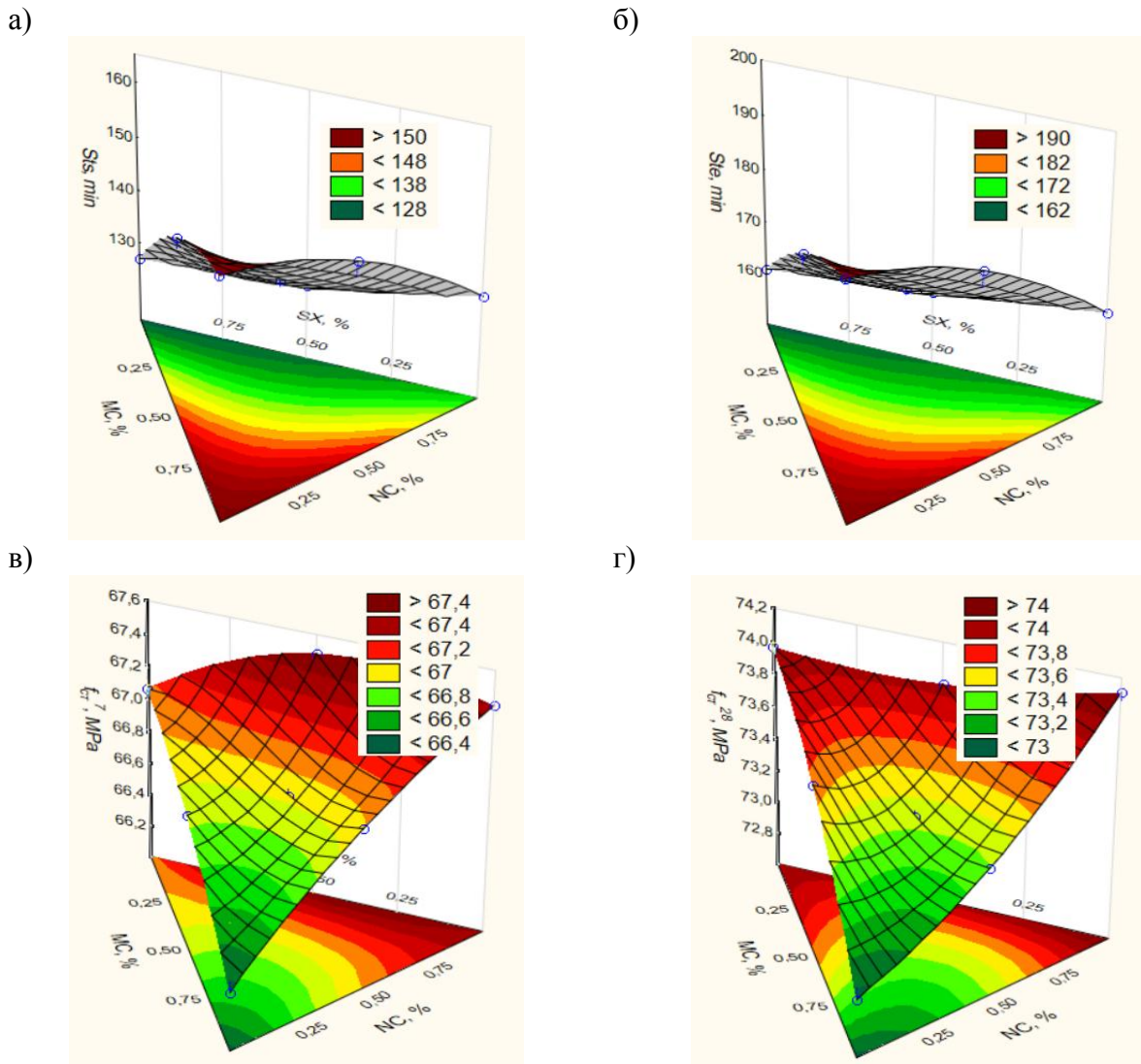


Рис. 1. Ізопараметричні діаграми впливу факторів варіювання на фізико-механічні характеристики портландцементу:

а, б – строки тужавлення, хв., початок/кінець; в, г – міцність при стиску, МПа, на 7/28 добу тверднення

Уведення до 10% ГДШ від маси портландцементу та органо-мінерального комплексу Баухемі призводить до розширення строків тужавлення як початку – до 165 хв., так і кінця – до 245 хв. при збільшенні концентрації пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,4 до 0,8% і одночасному зменшенні кількості добавок Centrilit NC (X_2) і Centrilit Fume SX (X_3) від 6,5 до 3% (рис. 2, а, б).

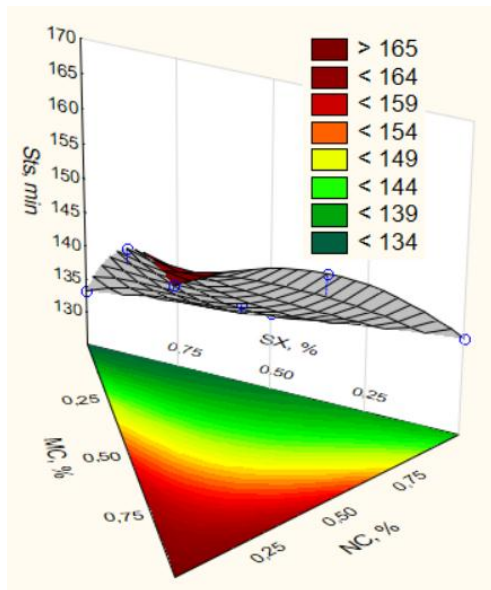
Характер зміни міцності при стиску в віці 7 діб аналогічний попереднім даним, а ось досягнення міцності в'язучою речовиною у віці 28 діб значно відрізняється від даних, які характерні для бездобавочного портландцементу. На зміну міцності при стиску портландцементу з 10% ГДШ впливає зменшення концентрації 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. 2, в). Максимальною міцністю при стиску – 64,8 МПа, характеризується штучний камінь, в склад якого введено MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,5%, Centrilit NC в кількості 7% і Centrilit Fume SX в кількості 5%. У марочному віці характеристики міцності портландцементу з 10% ГДШ збільшуються при одночасному збільшенні в його складі концентрації пластифікатору від 0,75 до 0,8% (X_1) та зменшенні кількості мінерального активатора від 3,25 до 3% Centrilit Fume SX (X_3) (рис. 2, г). Максимальною міцністю при стиску – 78 МПа, характеризується штучний камінь, в склад

якого введено MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,8%, Centrilit NC в кількості 5% і Centrilit Fume SX в кількості 3%.

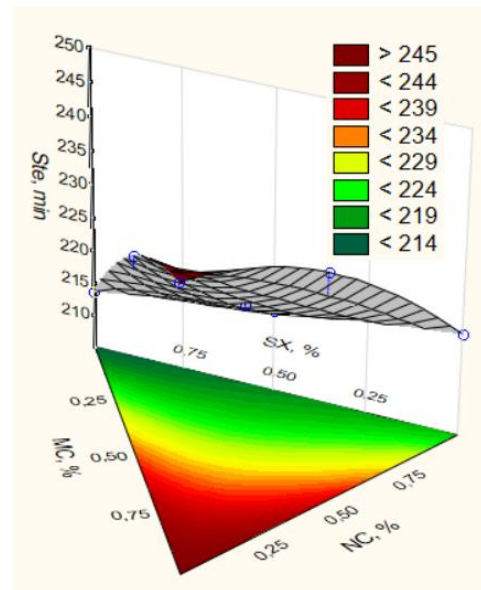
Уведення до складу портландцементу до 10% ГДШ уповільнює в 1,04 рази кінетику набору міцності у віці до 7 діб, а у віці 28 дію сприяє збільшенню міцності в 1,05 рази в порівнянні з бездобавочним портландцементом. На збільшення чисельних значень міцності позитивно впливає добавка Centrilit NC, яка сприяє більш повному зв'язуванню $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в низькоосновні гідросилікати кальцію при вивільненні його з продуктів гідратації мінералів портландцементу.

Уведення до 30% ГДШ від маси портландцементу та органо-мінерального комплексу Баухемі призводить ще до більшого розширення строків тужавлення як початку – до 185 хв., так і кінця – до 250 хв. при збільшенні концентрації пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,4 до 0,8% і одночасному зменшенні кількості добавок Centrilit NC (X_2) і Centrilit Fume SX (X_3) від 6,5 до 3% (рис. 3, а, б) в порівнянні з бездобавочним портландцементом.

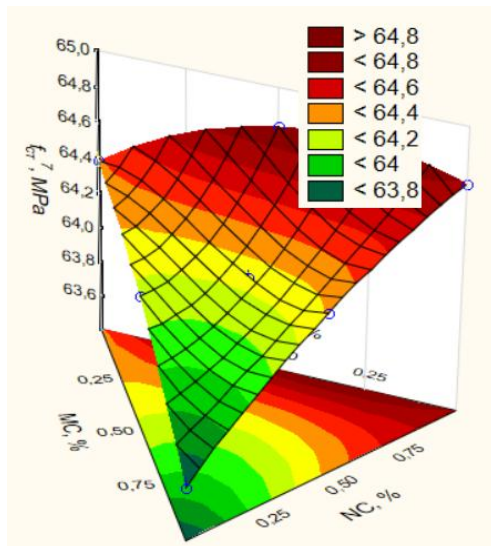
а)



б)



в)



г)

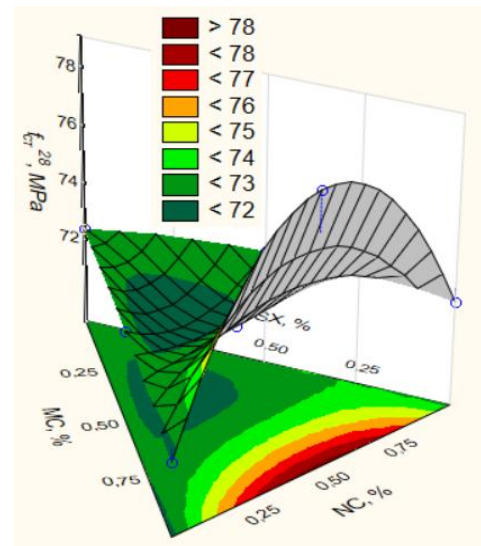


Рис. 2. Ізопараметричні діаграми впливу факторів варіювання на фізико-механічні характеристики портландцементу, що вміщує 10% ДГШ:

а, б – строки тужавлення, хв., початок/кінець; в, г – міцність при стиску, МПа, на 7/28 добу тверднення

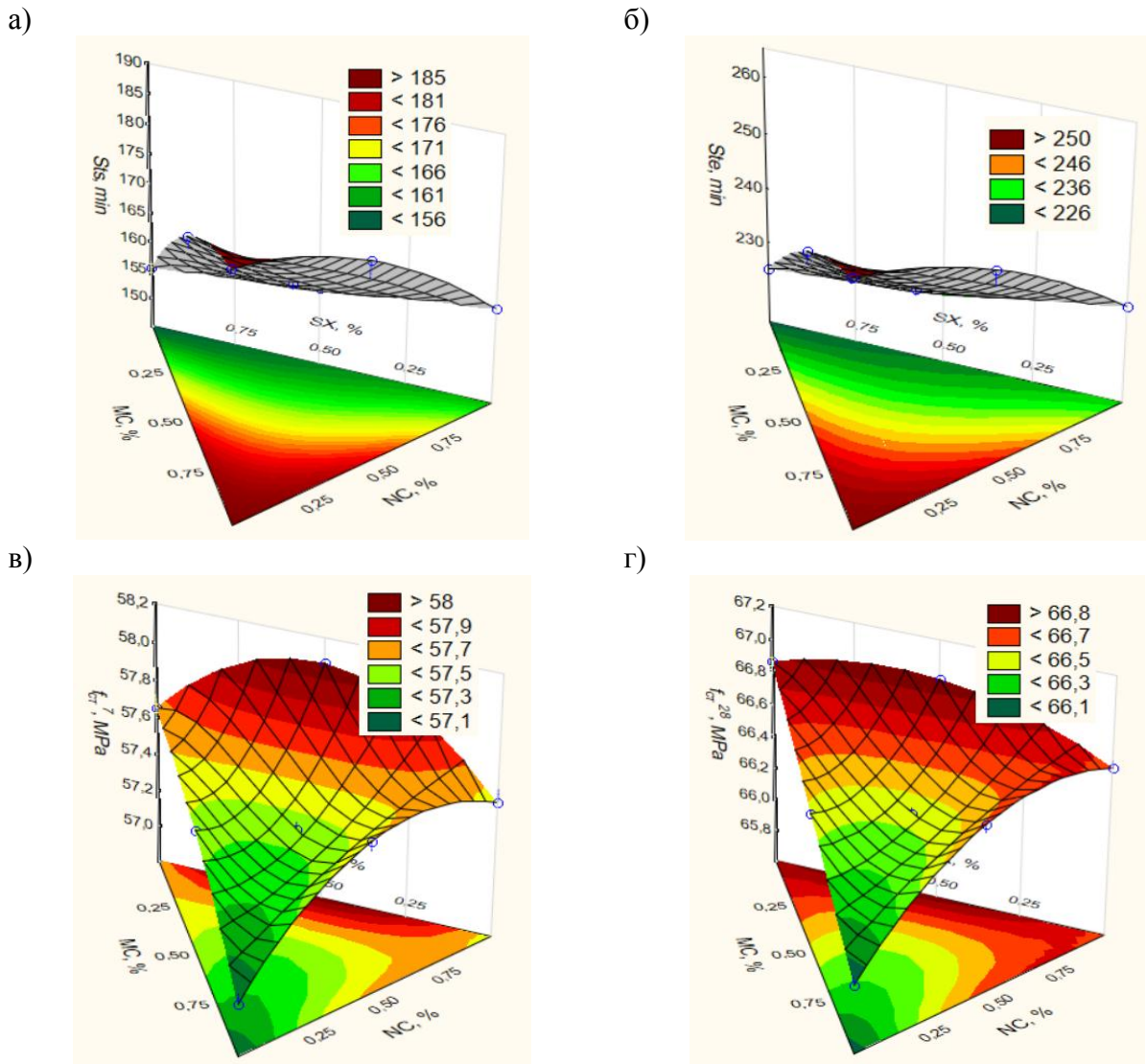


Рис. 3. Ізопараметричні діаграми впливу факторів варіювання на фізико-механічні характеристики портландцементу, що вміщує 30% ДГШ:
 а, б – строки тужавлення, хв., початок/кінець; б, г – міцність при стиску, МПа, на 7/28 добу тверднення

Характер зміни міцності при стиску в віці 7 діб аналогічний попереднім даним, але має деякі відмінності, а саме: на зміну міцності впливає звуження концентрацій пластифікатору MC-PowerFlow 2695 (X_1) від 0,25 до 0,3% та збільшення вмісту Centrilit NC (X_2) від 5 до 7% і Centrilit Fume SX (X_3) від 3,5 до 6,5% (рис. 3, в). Максимальною міцністю при стиску – 58 МПа, характеризується штучний камінь, в склад якого введено MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,2%, Centrilit NC в кількості 7% і Centrilit Fume SX в кількості 5%. У віці 7 та 28 діб тверднення характеристики міцності портландцементу з 30% ГДШ зменшуються в порівнянні з портландцементом, що вміщує до 10% ГДШ, відповідно, в 1,12 і 1,17 рази.

На зміну марочної міцності впливає збільшення в його складі концентрації пластифікатору від 0,2 до 0,4% (X_1), мінерального активатора Centrilit NC (X_2) від 4,5 до 7% і Centrilit Fume SX (X_3) від 3 до 7% (рис. 3, г). Максимальною міцністю при стиску – 66,8 МПа, характеризується штучний камінь, в склад якого введено MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,2%, Centrilit NC в кількості 7% і Centrilit Fume SX в кількості 7%.

Уведення до складу портландцементу до 30% ГДШ уповільнює в 1,16 рази кінетику набору міцності у віці до 7 діб, і в 1,11 рази у віці 28 діб у порівнянні з бездобавочним портландцементом.

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 0,4 до 0,8% і органо-мінерального комплексу Centrilit NC і Centrilit Fume SX в кількості від 3 до 6,5%, що, при одночасному збільшенні вмісту шлаку від 0 до 30% у складі портландцементу, строки початку-кінця тужавлення збільшуються від 150/190 до 185/250 хв. Відмічено, що у віці 7 та 28 діб, введення органо-мінерального комплексу складу MC-PowerFlow 2695 від 0,2 і до 3,5%, Centrilit NC від 4,5 до 7% і Centrilit Fume SX від 3 до 6,5% сприяє незначній зміні фізико-механічних показників при одночасному збільшенні вмісту шлаку в складі портландцементу в кількості 10 і 30% в порівнянні з бездобавочним портландцементом. У марочному віці, при відмічених концентраціях органо-мінерального комплексу Баухемі, міцність портландцементу з 10% шлаку зростає на 5,4 в порівнянні з бездобавочним портландцементом.

Подальші дослідження будуть направлені на вивчення впливу зазначеного комплексу на фізико-механічні властивості при вмісті шлаку в кількості 50 і 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 измельчении 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.

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*. M.: 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 rannyyuyu 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 arkhitektur*, 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.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
ПРОИЗВОДСТВА ООО «МЦ БАУХЕМИ»
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛАКОСОДЕРЖАЩИХ ЦЕМЕНТОВ**

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. Исследовано влияние органо-минерального комплекса Баухеми на физико-механические свойства шлакосодержащих портландцементов. Оптимизирован состав органо-минерального комплекса по критериям сроков схватывания и прочности. Показано, что на расширение начала схватывания и его конца положительно влияет наличие пластификатора

MC-PowerFlow2695 от 0,4 до 0,8% и органо-минерального комплекса Centrilite NC и Centrilite Fume SX в количестве от 3 до 6,5%, что при одновременном увеличении содержания шлака от 0 до 30% в составе портландцемента, сроки начала/конца схватывания увеличиваются от 150/190 до 185/250 мин. Отмечено, что в возрасте 7 суток, введение органо-минерального комплекса состава MC-PowerFlow2695 от 0,2 и до 3,5%, Centrilite NC от 4,5 до 7% и Centrilite Fume SX от 3 до 6,5% способствует незначительному спаду прочности от 3,86/13,95% при одновременном увеличении содержания шлака в составе портландцемента в количестве 10 и 30% по сравнению с бездобавочным портландцементом. В возрасте 28 суток, при отмеченных концентрациях органо-минерального комплекса Баухеми, прочность портландцемента с 10% шлака возрастает на 5,4%, а при содержании шлака в количестве 30%, снижается на 9,73% по сравнению с бездобавочным портландцементом.

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 10 и 30%, а именно: MC-PowerFlow 2695 от 0,28 до 0,5%, Centrilite NC от 4 до 6,8% и Centrilite Fume SX от 3,07 до 6,61%.

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: шлакосодержащий цемент, органо-минеральный комплекс, физико-механические свойства.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE BAUHEMI ORGANO-MINERAL COMPLEX ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SLAG-CONTAINING CEMENTS

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

Abstract. The influence of the Bauhemi organo-mineral complex on the physical and mechanical properties of slag-containing Portland cements has been investigated. The composition of the organo-mineral complex has been optimized according to the criteria of setting time and strength. It has been shown that the expansion of the beginning of setting and its end is positively influenced by the presence of the plasticizer MC-PowerFlow2695 from 0.4 to 0.8% and the organo-mineral complex CentriliteNC and CentriliteFumeSX in the amount from 3 to 6.5%, which with a simultaneous increase in the slag content from 0 to 30% in the composition of Portland cement, the start / end time of setting increases from 150/190 to 185/250 minutes. It is noted that at the age of 7 days, the introduction of an organomineral complex of the composition MC-PowerFlow2695 from 0.2 to 3.5%, CentriliteNC from 4.5 to 7% and CentriliteFumeSX from 3 to 6.5% contributes to a slight decrease in strength from 3.86/13.95% with a simultaneous increase in the slag content in the composition of Portland cement in the amount of 10 and 30% compared with no additive Portland cement. At the grade age, at the noted concentrations of the Bauhemi organo-mineral complex, the strength of Portland cement with 10% slag increases by 5.4%, and with a slag content of 30%, it decreases by 9.73% compared with no additive Portland cement.

Using the method of superposition of response functions, the optimal range of permissible concentrations of the components of the Bauhemi organo-mineral complex, affecting the stated criteria, was determined when the slag content in Portland cement was 10 and 30%, namely: MC-PowerFlow 2695 from 0.28 to 0.5%, CentriliteNC from 4 to 6.8% and CentriliteFumeSX from 3.07 to 6.61%.

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, organo-mineral complex, physical and mechanical properties.

Стаття надійшла до редакції 7.08.2020