

УДК 691.5

*Рунова Р.Ф., доктор технічних наук, професор, КНУБА,
Руденко І.І., кандидат технічних наук, ст. наук. співр.
НДІВМ ім. В.Д. Глуховського КНУБА,
Константиновський О.П., кандидат технічних наук,
доцент КНУБА*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НАПІВВОДНОГО ГІПСУ В ЛУЖНОМУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ

В статті розглянуто можливість регулювання добавкою напівводного гіпсу строків тужавлення та міцності лужного портландцементу.

Ключові слова: гіпс, добавка, лужний портландцемент, міцність, структуроутворення, тужавлення

Вступ. Доцільність введення сполук лужних металів до портландцементу ґрунтується, в першу чергу, на ідеї підвищення його міцності шляхом прискорення гідратації клінкеру і збільшення її ступеня (глибини), особливо на ранніх етапах тверднення. Основною проблемою реалізації цієї ідеї є забезпечення задовільних строків тужавлення таких цементів. Це пов'язано з виведенням гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) з процесу структуроутворення цементного тіста в початковий період гідратації в результаті обмінних реакцій з сполуками лужних металів. Так, наприклад, при використанні добавки поташа (K_2CO_3), в результаті цих реакцій в залежності від співвідношення між лужним компонентом та гіпсом утворюються сульфатні фази (арканіт K_2SO_4 , сингеніт $\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ тощо), а також карбонати та гідросилікати кальцію [1, 2]. Сода кальцинована і силікати лужних металів також беруть участь в обмінних реакціях з гіпсом з формуванням карбонатів кальцію або гідросилікатів і мірабіліту ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Реакція з сполуками лужних металів унеможливує сповільнення двуводним гіпсом гідратації трьохкальцієвого алюмінату і приводить до занадто швидкого тужавлення цементного тіста і формування рихлої, крупнопористої структури цементного каменю [3].

Однак, недослідженим питанням є вплив модифікацій гіпсу на властивості лужного портландцементу, хоча відомі їх різні характеристики. Так, зокрема, показана [4] можливість регулювання строками тужавлення і підвищення міцнісних характеристик лужного шлакопортландцементу шляхом введення до його складу напівводного гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$).

Метою даної роботи є дослідження можливості використання добавки напівводного гіпсу в лужному портландцементі для забезпечення прийнятних строків тужавлення при підвищенні міцності у порівнянні з традиційним портландцементом.

Матеріали та методи досліджень

– клінкер портландцементний (товарний) виробництва ВАТ «Балцем», питома поверхня $S_{\text{пит}} = 4500 \text{ см}^2/\text{г}$ (по Блейну);

– метасилікат натрію п'ятиводний $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (МС) згідно вимог ТУ 2145-5225, ТУ 7004-01-2002 в якості лужного компоненту;

– двуводний гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ згідно з ДСТУ Б В.2.7-82:2010;

– напівводний гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ згідно з ДСТУ Б В.2.7-104:2000;

Лужні цементи готували шляхом сухого змішування мелених клінкеру і гіпсу з лужними компонентами у лабораторному лопатному змішувачі НОBBORT. Дозування гіпсу і сполук лужних металів прийнято у відсотках від маси клінкеру.

Визначення термінів тужавлення цементів виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009.

Визначення міцності на згин і стиск здійснювали згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009.

Оптимізацію складу лужного портландцементу проводили за допомогою методів

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

математичного планування експерименту. Розрахунки здійснювали в програмному середовищі Statistica 7.0.

Результати досліджень

Для дослідження впливу напівводного гіпсу на строки тужавлення та міцність лужного портландцементу побудовано двофакторний план експерименту. В якості змінних факторів прийнято: X_1 - вміст МС (% маси клінкеру) та X_2 - вміст напівводного гіпсу (% маси клінкеру).

Нульовий рівень та рівні варіювань цих факторів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Інтервал зміни факторів

Фактори, вигляд		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний	кодований	-1	0	1	
вміст метасилікату, % від маси клінкеру	X_1	1	4	7	3
вміст напівводного гіпсу, % від маси цементу	X_2	8,0	10,0	12,0	2,0

У якості вихідних характеристик (критеріїв) фіксували:

- початок тужавлення, год-хв ($\Pi_{\text{туж}}$);
- міцність на вигин на 2 добу ($R_{\text{виг}_2}$), 7 добу ($R_{\text{виг}_7}$) і 28 добу ($R_{\text{виг}_{28}}$), МПа.
- міцність на стиск на 2 добу ($R_{\text{ст}_2}$), 7 добу ($R_{\text{ст}_7}$) і 28 добу ($R_{\text{ст}_{28}}$), МПа.

Результати досліджень впливу напівводного гіпсу на властивості лужних портландцементів наведено в табл. 2 та рис. 1-3, що описуються відповідними рівняннями регресії (1)-(7), адекватні при 95%-й довірчій ймовірності.

Для порівняння властивостей лужних портландцементів зі звичайним (клінкерним) портландцементом в якості аналогу прийнято цемент складу А (портландцементний клінкер – 95 %, двоводний гіпс – 5 %), який згідно ДСТУ Б В.2.7-46 ідентифіковано як ПЦ І-400Р (табл. 2).

Таблиця 2

Властивості цементів різних складів

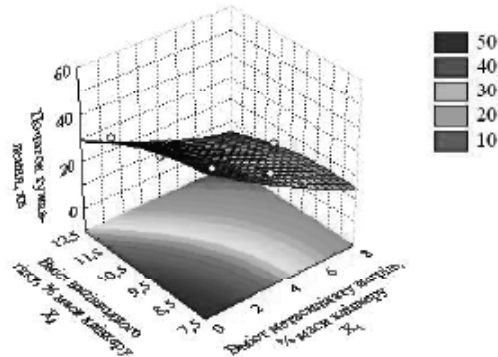
№	Вміст МС (X_1), % від маси клінкеру*	Вміст напівводного гіпсу (X_2), % від маси клінкеру	ТНГ	Термін тужавлення		В/Ц	Міцність на вигин / стиск МПа		
				початок, год-хв	кінець, год-хв		на 2 добу	на 7 добу	на 28 добу
1	1 (0,3)	8	0,26	0-45	3-30	0,37	6,8 / 31	7,5 / 36	8,8 / 47
2	4 (1,2)	8	0,27	0-32	2-15	0,38	6,6 / 29	7,3 / 39	8,6 / 46
3	7 (2,1)	8	0,27	0-15	0-20	0,39	4,2 / 24	5,9 / 30	7,4 / 35
4	1 (0,3)	10	0,26	0-36	3-00	0,35	6,6 / 29	7,5 / 36	8,8 / 45
5	4 (1,2)	10	0,27	0-25	2-30	0,37	6,8 / 31	7,2 / 37	9,1 / 47
6	7 (2,1)	10	0,27	0-17	0-23	0,38	4,5 / 23	5,6 / 28	7,5 / 37
7	1 (0,3)	12	0,26	0-30	2-30	0,39	4,5 / 25	6,2 / 29	7,3 / 34
8	4 (1,2)	12	0,27	0-20	1-15	0,40	4,5 / 24	6,3 / 28	7,5 / 36
9	7 (2,1)	12	0,27	0-8	0-13	0,41	3,0 / 17	4,8 / 22	6,6 / 30
А	95 % клінкер+5 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		0,26	2-00	4-00	0,36	4,0 / 22	5,9 / 30	7,5 / 46

Примітка: * - в дужках наведено вміст МС в перерахунку на Na_2O .

Аналіз поверхні відгуку початку тужавлення від змінних факторів (рис. 1) свідчить, що максимальне значення показника початку тужавлення 45 хв забезпечується при вмісті МС в межах 1% та напівводного гіпсу 8%. Збільшення вмісту МС від 1 до 7% та вмісту напівводного гіпсу від 8 до 10 % призводить до зменшення даного показника з 45 до 8 хв. Крім того, при вмісті 7%

МС та (8-12)% напівводного гіпсу інтервал часу між початком тужавлення і кінцем тужавлення складає (5-6) хв., що значно ускладнює використання лужних портландцементів зазначених складів. Згідно з рівнянням регресії більший вплив на значення показника початку тужавлення має вміст МС, вміст напівводного гіпсу на даний показник менший.

Fitted Surface, Variable: Початок тужавлення, хв
2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=12,50926
DV: Початок тужавлення, хв



$$P_{\text{туж}} = 25,7 - 11,8 \cdot X_1 - 6,2 \cdot X_2 \quad (1)$$

Рисунок 1. Залежність початку тужавлення від вмісту МС та напівводного гіпсу

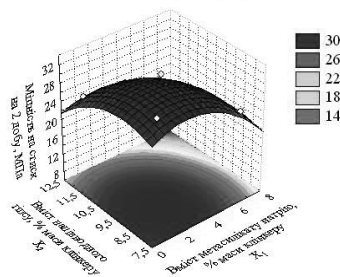
Згідно з поверхнею відгуку міцності на стиск від змінних факторів (рис. 2), при збільшенні вмісту МС з 1 до (2,2-2,7) % та вмісту напівводного гіпсу з 8 до (8,7-9,2) % спостерігається ріст міцності на стиск із забезпеченням значень на 2 добу – 32 МПа (рис. 2а), 7 добу – 39 МПа (рис. 2б) і 28 добу – 49 МПа (рис. 2в). Подальше збільшення вмісту МС до 7 % та вмісту напівводного гіпсу до 12 % призводить до зменшення міцності на стиск лужного портландцементу на 2, 7 і 28 добу в межах (39-46) %. При цьому міцність на стиск аналогу (склад А) складає: на 2 добу – 22 МПа, на 7 добу – 30 МПа, на 28 добу – 45 МПа. Таким чином, міцність на стиск лужного портландцементу оптимального складу перевищує міцність аналогу після 2 діб тверднення - на 45%, після 7 діб - на 30%, після 28 діб - на 6%. Отже різниця між показниками міцності на стиск лужного і звичайного портландцементу є суттєвою на ранніх термінах тверднення цементу (2, 7 доба) і має тенденцію до поступового зменшення.

Згідно з рівняннями регресії (2)-(4), міцність на стиск лужного портландцементу на 2 добу більше залежить від вмісту МС. На 7 і 28 добу вміст напівводного гіпсу на міцність на стиск цементу вже більш суттєвий ніж вміст МС.

Аналіз експериментальних результатів і відповідних поверхонь відгуку свідчить про те, що міцність на вигин лужних портландцементів (рис.3) підпорядковується тим же закономірностям, що і міцність на стиск.

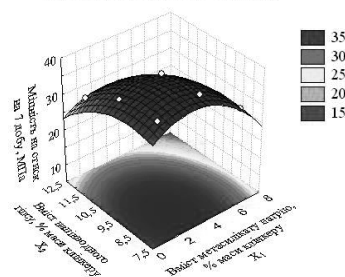
а)

Fitted Surface, Variable: Міцність при стиску на 2 добу, МПа
2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=1,62037
DV: Міцність при стиску на 2 добу, МПа



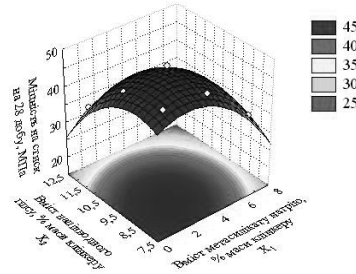
б)

Fitted Surface, Variable: Міцність при стиску на 7 добу, МПа
2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=1,333333
DV: Міцність при стиску на 7 добу, МПа



В)

Fitted Surface, Variable: Міцність при стиску на 28 добу, МПа
 2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs, MS Residual=.4444444
 DV: Міцність при стиску на 28 добу, МПа



$$R_{ст_{28}} = 29,8 - 3,5 \cdot X_1 - 3,2 \cdot X_1^2 - 3,0 \cdot X_2 - 2,3 \cdot X_2^2 - 0,3 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

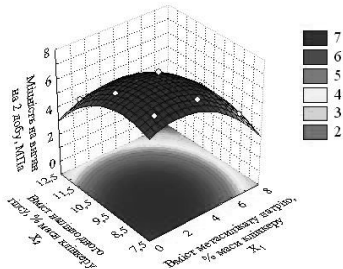
$$R_{ст_{7}} = 36,3 - 3,5 \cdot X_1 - 4,5 \cdot X_1^2 - 4,0 \cdot X_2 - 3,0 \cdot X_2^2 \quad (3)$$

$$R_{ст_{28}} = 46,3 - 4,0 \cdot X_1 - 5,0 \cdot X_1^2 - 4,7 \cdot X_2 - 5,0 \cdot X_2^2 + 2,0 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (4)$$

Рисунок 2. Залежність міцності на стиск лужного портландцементу на 2 добу (а), 7 добу (б), 28 добу (в) від вмісту МС та напівводного гіпсу

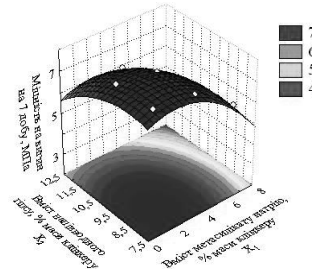
а)

Fitted Surface, Variable: Міцність на вигин на 2 добу, МПа
 2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs, MS Residual=.029537
 DV: Міцність на вигин на 2 добу, МПа



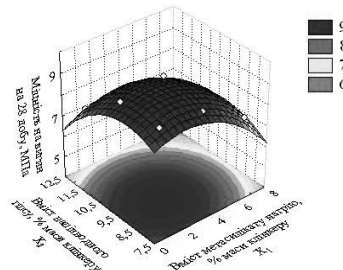
б)

Fitted Surface, Variable: Міцність на вигин на 7 добу, МПа
 2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs, MS Residual=.0225926
 DV: Міцність на вигин на 7 добу, МПа



в)

Fitted Surface, Variable: Міцність на вигин на 28 добу, МПа
 2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs, MS Residual=.0339815
 DV: Міцність на вигин на 28 добу, МПа



$$R_{виг_{2}} = 6,7 - 1,0 \cdot X_1 - 1,0 \cdot X_1^2 - 0,9 \cdot X_2 - 1,0 \cdot X_2^2 + 0,3 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (5)$$

$$R_{виг_{7}} = 7,2 - 0,8 \cdot X_1 - 0,7 \cdot X_1^2 - 0,6 \cdot X_2 - 0,4 \cdot X_2^2 + 0,1 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (6)$$

$$R_{виг_{28}} = 8,9 - 0,6 \cdot X_1 - 0,7 \cdot X_1^2 - 0,6 \cdot X_2 - 0,8 \cdot X_2^2 + 0,2 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (7)$$

Рисунок 3. Залежність міцності на вигин лужного цементу на 2 добу (а), 7 добу (б), 28 добу (в) від вмісту МС та напівводного гіпсу

Висновок

Результати досліджень свідчать про принципову доцільність використання в лужному портландцементі напівводного гіпсу в якості мінеральної добавки з ефектом сповільнення тужавлення. При використанні метасилікату натрію в ролі лужного компоненту забезпечуються прийнятні строки тужавлення цементу і підвищення до 50% ранньої міцності у порівнянні з звичайним портландцементом регламентованої ранньої міцності. Виявлені характеристики лужного портландцементу розробленого складу обумовлюють перспективу їх використання в якості основи бетонів, будівельних розчинів і сухих будівельних сумішей з інтенсивним набором міцності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безгипсовый портландцемент с добавкой поташа для зимнего бетонирования / [Шпынова Л.Г., Саницкий М.А., Шийко О.Я., Иванова О.С.] // «Бетон и железобетон», 1988. – №3. – С. 21-23.
2. Эффективность применения рядового и безгипсового портландцементов с добавками поташа при зимнем бетонировании / [Шпынова Л.Г., Саницкий М.А., Шийко О.Я., Костюк П.Я.] // «Строительство и архитектура», 1985. – №10. – С. 65-69
3. Эффективные быстротвердеющие безгипсовые портландцементы / [Саницкий М.А., Соболев Х.С., Шевчук Г.Я., Лоскутов Ю.А., Шевчук Г.Я.] // «Цемент», 1989. – №8. – С. 16-17.
4. Роль сульфату кальцію у формуванні властивостей лужного шлакопортландцементу / [Гоц В.І., Рунова Р.Ф., Гавриш О.М., Руденко І.І., Ластівка О.В.] // Науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, вироби і санітарна техніка». – Київ: НДІБМВ, 2013. – Вип. 48. – С.20-25

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУВОДНОГО ГИПСА В ЩЕЛОЧНОМ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ**

© Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Константиновский А.П.

В статье рассмотрена возможность регулирования добавкой полуводного гипса сроков схватывания и прочности щелочного портландцемента.

Ключевые слова: гипс, добавка, щелочной портландцемент, прочность, структурообразование, схватывание

EFFECTIVENESS OF USE OF SEMI-AQUATIC GYPSUM IN ALKALI PORTLAND CEMENT

© Runova R.F., Rudenko I.I., Constantinovski A.P.

In the article describes regulation possibility of additive gypsum of setting time and strength of alkali Portland cement

Keywords: gypsum, additive, alkali portland cement, strength, structure, setting time