

УДК 691.327:666.97

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПЛЕКСНИХ ДОБАВОК НА РУХЛИВІСТЬ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ВИСОКОНАПОВНЕНИХ ШЛАКОВІСНИХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК НА ПОДВИЖНОСТЬ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ВИСОКОНАПОВНЕННЫХ ШЛАКО СОДЕРЖАЩИХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ

STUDY OF INFLUENCE COMPLEX ADDITIVES ON THE MOBILITY OF CONCRETE MIXTURES WITH HIGHLY FILLED SLAG PORTLAND CEMENT

Москаленко О.А., аспірант (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Москаленко А.А., аспирант (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Moskalenko A.A., PhD student (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Наведено дані щодо впливу комплексних органо-мінеральних добавок на рухливість бетонної суміші в залежності від вмісту шлакової складової в цементі. Показано, що найбільш доцільним є використання органо-мінерального комплексу CentrilitFumeSX. Уведення цього комплексу до складу бетонної суміші забезпечує ОК 21,7 см при вмісті ГДШ у кількості 56% від маси цементу, при витраті шлакопортландцементу в кількості 360 кг/м³ при В/Ц=0,51. При збільшенні кількості ГДШ ускладніть шлакопортландцементу від 56 до 70% рухливість бетонної суміші можливо регулювати за рахунок збільшення витрати вяжучої речовини від 420 до 470 кг/м³ та значень В/Ц від 0,51 до 0,78.

Приведены данные о влиянии комплексных органо-минеральных добавок на подвижность бетонной смеси в зависимости от содержания шлаковой составляющей в цементе. Показано, что наиболее целесообразным является использование органо-минерального комплекса CentrilitFumeSX. Введение этого комплекса в состав бетонной смеси обеспечивает ОК 21,7 см при содержании ГДШ в количестве 56% от массы цемента, при расходе шлакопортландцемента в количестве 360 кг/м³ при В/Ц=0,51. При увеличении количества ГДШ составе

шлакопортландцементу от 56 до 70% подвижность бетонной смеси можно регулировать за счет увеличения расхода вяжущего вещества от 420 до 470 кг/м³ и значений В/Ц от 0,51 до 0,78.

The data on the effect of additives on the complex organic-mobility concrete mixture, depending on the content of the slag component in cement. It's shown that the most appropriate is the use of organo-mineral complex CentrilitFumeSX. Introduction of the complex to the concrete mix provides OK 21.7 cm when the content of GBF in an amount of 56% by weight of the cement, at a flow rate of cement in an amount of 360 kg/m³ W/C = 0.51. By increasing, the amount of GBF slag Portland cement composition from 56 to 70% of the mobility of the concrete mixture can be adjusted by increasing the flow rate of binder from 420 to 470 kg/m³ and the values of W/C of 0.51 to 0.78.

Ключові слова:

Комплексна органо-мінеральна добавка, осадка конуса, портландцемент, шлак.

Комплексная органо-минеральная добавка, осадка конуса, портландцемент, шлак.

Complex organo-mineral additive, Portland cement, slag, slump.

Вступ. Завдання підвищення ефективності та якості бетону та залізобетону була і залишається досить актуальною і повною мірою не може бути успішно вирішена без використання в технології бетону хімічних добавок. Хімічні добавки, будучи одним з найпростіших і доступних технологічних прийомів вдосконалення властивостей бетону, дозволяють істотно знизити рівень витрат на одиницю продукції, підвищити якість та ефективність великої номенклатури залізобетонних конструкцій, збільшити термін служби як конструкцій, так і будівель і споруд в цілому. Тому застосування хімічних добавок у технології бетону в світовій практиці приділяється величезна увага. Так, наприклад, до кінця 90-х років частка бетону з добавками різного призначення в Японії становила понад 80%, в США, Німеччині, Франції та Італії - понад 70%. В Україні в цей період частка бетонів з хімічними добавками становила близько 35-40%. Найважливішими показниками для бетонних сумішей, які визначають якість виробів з бетону та залізобетону, є їх реологічні характеристики, а саме: рухливість бетонної суміші, її зв'язаність, однорідність та не розшарованість. Для отримання високорухливих бетонних сумішей доцільно використовувати полікарбосилатні пластифікатори комплексної дії, які за рахунок поєднання електростатичного та стеричного ефекту [1-3] надають як пластифікуючу, так і водоредукційну дію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У відповідності з національним стандартом ДСТУ Б В.2.7-46:2010 цементу III типу загальнобудівельного призначення можуть вміщувати до 95 % ГДШ. Однак вже при 50 % гранульованого доменного шлаку (ГДШ) цементу користуються обмеженим попитом, що зумовлено їх погіршеними будівельно-технологічними властивостями, в тому числі повільним тужавленням, низькими темпами тверднення на ранніх етапах, високою залежністю від температурно-вологісних умов тверднення, проблемною морозостійкістю, що обмежує їх застосування в будівництві [4]. З іншої сторони, підвищення вмісту ГДШ в складі портландцементу позитивно впливає на експлуатаційні властивості бетону, його корозійну стійкість, міцність у віддаленні строки та інші. В роботі [5] підтверджена доцільність використання комплексних органо-мінеральних добавок у приготуванні бетонних сумішей на шлакопортландцементі зі вмістом шлаку від 10 до 50%. Відзначено їх позитивну роль при отриманні бетонних сумішей рухливостю P4.

Постановка мети і задач досліджень. Метою досліджень є визначення закономірностей впливу комплексних добавок на рухливість бетонних сумішей при вмісті ГДШ в складі цементів загальнобудівельного призначення від 50 до 70 мас. %. Досягнення мети можливо за рахунок уведення хімічних добавок на основі полікарбоксилатів та органо-мінеральних комплексів.

Для отримання високонаповнених портландцементів із вмістом ГДШ від 50 до 70% використовували портландцемент ПЦ І-500-Н із вмістом аліту в кількості 61,2% і беліту в кількості 15,18% виробництва ПАТ «Волинь-Цемент» (ДСТУ Б В.2.7-46:2010) і ГДШ виробництва ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Е. Дзержинського» (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). Для виготовлення бетонних сумішей в якості дрібного заповнювача використовували Дніпровський річковий пісок з модулем крупності $M_{кр}=1,47$, середньою густиною – 1420 кг/м³, пустотністю – 42 %, істинною густиною – 2,63 г/см³, вмістом пилюватих та глинистих домішок – 1,6 %. В якості крупного заповнювача (КРЗ) для важких бетонів використовували гранітний щебінь двох фракцій: від 5 до 10 мм і від 10 до 20 мм. Оцінку якості КРЗ проводили згідно вимогам, що зазначені в ДСТУ Б В.2.7-75-98, ДСТУ Б В.2.7-43-96 за допомогою методів ДСТУ Б В.2.7-71-98.

В ролі модифікуючих добавок використано продукти фірми «МЦ Баухемі», які відповідають вимогам ДСТУ Б.В. 2.7-171:2008 і являють собою:

1. Суперпластифікатор СП «МС-PowerFlow2695» згідно з ТУ У В.2.7-24.6-33482370-004:2013 – на основі ефірів полікарбоксилатів.

2. Органо-мінеральний комплекс SX «CentrilitFumeSX» згідно з ТУ У В.2.7-24.6-33482370-004:2011 – на основі суспензії мікрокремнезему (SX);

3. Органо-мінеральний комплекс NC «CentrlitNC» згідно з ТУ У В.2.7-24.6-33482370-004:2011 – на основі пуцоланових алюмосилікатів (NC);

Органічною частиною вказаних комплексів є хімічна добавка стабілізуючої дії, яка виконує ряд функцій – стабілізацію рухливих бетонних сумішей, підвищення їх однорідності, попереджує розшарування та вдовідділення, підвищує щільність бетону.

Для реалізації поставленої мети подальші дослідження були реалізовані за допомогою трьохфакторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 8.0.

У якості факторів варіювання було обрано: вміст ГДШ, %, (фактор X1), витрата поргладцементу на 1 м³ бетонної суміші, кг, (фактор X2) і В/Ц (фактор X3), зміна яких представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Фактори варіювання

Фактори, вигляд		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
натуральний	кодований	нижній 0	верхній 1	
Вміст ГДШ, %	X1	50	70	20
Витрата цементу, кг	X2	250	470	220
В/Ц	X3	0,38	0,76	0,38

У якості вихідного параметру обрано значення осадки конуса (ОК), яке забезпечувало показник рухливості бетонної суміші не менше Р4.

Матриця експерименту та її математична реалізація приведена в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця експерименту та її математична реалізація

Точки плану	Матриця плану в кодованих величинах			Матриця плану в натуральних величинах			Вихідні параметри		
	X1	X2	X3	ГДШ, %	ПЦ, кг	В/Ц	ОК1	ОК2	ОК3
1	0,0	1,0	0,0	50	470	0,38	20,0	21,0	20,0
2	0,33	0,33	0,33	56,7	323,3	0,51	18,6	19,2	19,0
3	1,0	0,0	0,0	70	250	0,38	10,2	9,7	9,3
4	0,5	0,5	0,0	60	360	0,38	14,4	16,0	15,2
5	0,0	0,0	1,0	50	250	0,76	19,0	21,0	21,0
6	0,5	0,0	0,5	60	250	0,57	15,3	14,1	14,0
7	0,0	0,5	0,5	50	360	0,57	22,8	23,9	21,7

У результаті моделювання отримані рівняння регресії (1–3) і побудовані тернарні поверхні змін вихідних параметрів в залежності від змін варійованих факторів (рис. 1).

Рівняння регресії:

$$\text{— СП (0,6\%): ОК1}=10.2X_1+20X_2+19X_3-2.8X_1X_2+2.81X_3+13.3X_2X_3+19.8X_1X_2X_3 \quad (1)$$

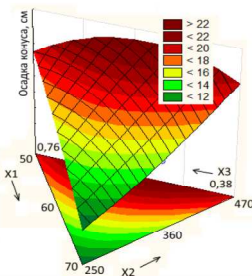
$$\text{— NC(5\%)+СП(0,6\%): ОК2}=9.7X_1+21X_2+21X_3+2.6X_1X_2-5X_1X_3+11.6X_2X_3+25.5X_1X_2X_3 \quad (2)$$

$$\text{— SX(5\%)+СП(0,6\%): ОК3}=9.3X_1+20X_2+21X_3+2.2X_1X_2-4.6X_1X_3+4.8X_2X_3+53.1X_1X_2X_3 \quad (3)$$

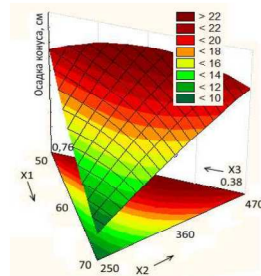
Результати досліджень. Аналіз отриманих рівнянь регресії (1–3) показав, що фактори X_1 , X_2 і X_3 значимі, взаємозв'язані та встановлюють взаємозв'язок поміж змінними варійованими факторами $X_1 \dots X_3$.

При використанні в якості суперпластифікатору MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,6% від маси цементу осадка конуса збільшується від 10,2 до 22,8 см при одно часовому зменшенні кількості шлаку в складі портландцементу від 55 до 50% (фактор X_1) та одно часовому збільшенні витрати цементу від 400 до 470 кг/м³ (фактор X_2) і підвищенні В/Ц від 0,38 до 0,76 (фактор X_3) (рис. 1, а).

а)



б)



в)

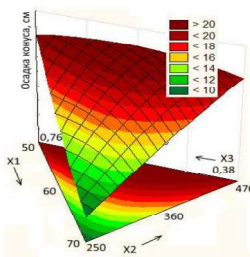


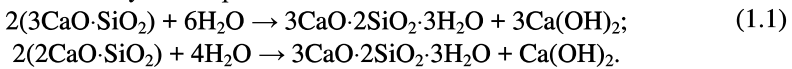
Рис. 1. Тернарні поверхні зміни показників ОК, см, бетонних сумішей на основі високонаповненого шлакопортландцементу в залежності від типу пластифікатора: а – СП(0,6%); б - NC(5%)+СП(0,6%); в - SX(5%)+СП(0,6%)

Аналогічна зміна осадки конуса від 9,7 до 3,9 см відбувається і при використанні органо-мінерального комплексу **CentrilitNC** на основі пуцоланових алюмосилікатів (NC): при одно часовому зменшенні кількості шлаку в складі портландцементу від 56 до 50% (фактор X1) та одно часовому збільшенні витрати цементу від 370 до 470 кг/м³ (фактор X2) і підвищенні В/Ц від 0,38 до 0,76 (фактор X3) (рис. 1, б).

Використання органо-мінерального комплексу **CentrilitFumeSX** (рис. 1, в) на основі суспензії мікрокремнезему (SX) більш доцільно в порівнянні з попередніми комплексами, а саме: на тернарній поверхні чітко спостерігається область з осадкою конуса 21,7 см, яка обмежена вмістом ГДШ в кількості від 50 до 58% (фактор X1), витратою цементу від 350 до 470 кг/м³ (фактор X2) та зменшенні В/Ц від 0,76 до 0,51 (фактор X3). Максимальною осадкою конуса 21,7 см характеризується склад бетонної суміші при вмісті ГДШ до 56%, витраті цементу 360 кг/м³ та В/Ц=0,51.

Отримані експериментальні дані добре узгоджуються із результатами теоретичних обчислень з приводу зв'язування вапна часток шлаку [6].

Для проходження реакції гідратації шлак повинен перебувати в контакті з розчином вапна, який утворюється в результаті гідратації аліту та беліту, що проходять за наступними рівняннями:



Тоді кількість вапна у відсотках від маси клінкеру, що утворюється при гідратації цементу, буде:

$$\text{CH} = 0,49 \alpha\text{C}_3\text{S} + 0,22\beta\text{C}_2\text{S}. \quad (1.2)$$

Враховуючи ступені гідратації аліту ($\alpha = 0,8$) та беліту ($\beta = 0,2$), з рівняння ня (1.2) отримуємо:

$$\text{CH} = 0,392\text{C}_3\text{S} + 0,044\text{C}_2\text{S}. \quad (1.3)$$

Кількість вапна, яке зв'язується шлаком в залежності від його активності, знаходиться в межах 15 ... 25% від маси шлаку [10]. Звідси оптимальна частка шлаку в складі шлакопортландцементу може бути визначена зі співвідношення:

$$\text{CH} (0,95 - \text{Ш})/\text{Ш} = 15 \dots 25, \quad (1.4)$$

де Ш - вміст шлаку в частках одиниці від суми шлаку і клінкерної частини у складі змішаної в'язучої речовини; 0,95 - сумарна частка шлаку і клінкерної складової в складі шлакопортландцементу.

Із рівняння (1.4) отримуємо:

$$\text{Ш}=0,95\text{СН}/\text{СН}+15\dots25, \quad (1.5)$$

або з урахуванням рівняння (1.3)

$$\text{Ш}=0,372\text{C}_3\text{S}+0,042\text{C}_2\text{S}/0,392\text{C}_3\text{S}+0,044\text{C}_2\text{S}+15\dots25, \quad (1.6)$$

де C_3S , C_2S – вміст аліту та беліту в клінкері, % за масою.

Враховуючи, що при гідrataції використаного портландцементу утворюється не менше 15% вапна, то розрахункова по формулі (1.6) оптимальна кількість шлаку у шлакопортландцементі становить величину 56%, що підтверджує достовірність результатів оптимізації.

Висновок

Аналіз отриманих даних свідчить про доцільність використання розглянутих комплексних органо-мінеральних добавок для отримання бетонних сумішей на основі високонаповнених шлакопортландцементів рухливістю Р4. Показано достовірність теоретичних розрахунків з результатами оптимізації. Найбільш доцільно є використання органо-мінерального комплексу **CentrilitFumeSX**, що забезпечує ОК 21,7 см при вмісті ГДШ до 56%, витраті цементу 360 кг/м³ та В/Ц=0,51. При збільшенні кількості ГДШ ускладніть шлакопортландцементу від 56 до 70% рухливість бетонної суміші можливо регулювати за рахунок збільшення витрати вяжучої речовини від 420 до 470 кг/м³ та значень В/Ц від 0,51 до 0,78.

1. Баженов, Ю.М. Технология бетонов XXI века / Ю.М. Баженов // Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докладов Академических чтений РААСН. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. - С. 9 – 19. 2. Иноземцев А.С. Особенности реологических свойств высокопрочных легких бетонов на полых микросферах / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 100—108. 3. Исследование возможности модификации карбоксилатных пластификаторов в составе модифицированных мелкозернистых бетонных смесей / С.С. Киски, И.В. Агеев, А.Н. Пономарев, А.А. Козеев, М.Е. Юдович // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 42—46. 4. Снижение расхода цемента как путь обеспечения долговечности бетона / Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко, В.И. Гоц, П.С. Шилюк // Міжвідомчий наук.-техн. зб. “Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”. – Київ, НДІБК. - Т. 2. - 2005. - С. 42-50. 5. Москаленко О.А. Дослідження впливу комплексних добавок на рухливість бетонів на шлаковмісних портландцементях для монолітного будівництва / О.А. Москаленко, Р.Ф. Рунова // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП. – 2015 - Вип. 30. - С. 257-263. 6. Михайлов Г.Г. Морозостойкость пропаренного бетона на шлакопортландцементях / Г.Г. Михайлов, Б.Я. Трофимов, Е.А. Гамалий // Вестник ЮУрГУ. - №17(273). – 2012. – С. 42-47.