

УДК 691.327:666.97

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПЛЕКСНИХ ДОБАВОК НА РУХЛИВІСТЬ БЕТОНІВ НА ШЛАКОВІСНИХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТАХ ДЛЯ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК НА ПОДВИЖНОСТЬ БЕТОНОВ НА ШЛАКО СОДЕРЖАЩИХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТАХ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

STUDY OF THE INFLUENCE COMPLEX ADDITIVES ON THE MOBILITY OF CONCRETE ON THE SLAG PORTLAND CEMENT FOR MONOLITHIC CONSTRUCTION

Москаленко О.А., аспірант, Рунова Р.Ф., д.т.н., проф. (Київський національний університет будівництва і архітектури, Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського, м. Київ)

Москаленко А.А., аспирант, Рунова Р.Ф., д.т.н., проф. (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В.Д. Глуховского, г. Киев)

Moskalenko A.A., PhD student, Runova R.F., D.Sc., prof. (Kiev National University of Construction and Architecture, V.D. Glukhovsky Scientific Research Institute for Binders and Materials, Kiev)

Наведено дані щодо впливу комплексних органо-мінеральних добавок на рухливість бетонної суміші в залежності від вмісту шлакової складової в цементі. Найбільш перспективним для монолітного будівництва є використання органо-мінерального комплексу на основі суспензії мікрокремнезему SX(5%)+СП(0,6%), що дозволяє використати ГДШ до 50% у складі цементу та отримати бетонні суміші з рухливістю до 21 см.

Приведены данные о влиянии комплексных органо-минеральных добавок на подвижность бетонной смеси в зависимости от содержания шлаковой составляющей в цементе. Наиболее перспективным для монолитного строительства является использование органо-минерального комплекса на основе суспензии микрокремнезема SX (5%) + СП (0,6%), что позволяет использовать ГДШ до 50% в составе цемента и получить бетонные смеси подвижностью до 21 см.

The data on the impact of complex organo-mineral supplements on the mobility of the concrete mix, depending on the content of the slag component in cement. The most promising for monolithic construction is the use of organo-mineral complex on the basis of silica fume slurry SX (5%) + SP (0.6%), which allows the use of BFS to 50% of the cement and concrete mixes to get mobility up to 21 cm.

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. Найважливішими показниками для бетонних сумішей, які визначають якість виробів з бетону та залізобетону, є їх реологічні характеристики і технологічні особливості приготування. Так, використання у виробництві рухливих бетонних сумішей, що володіють зв'язаністю, однорідністю і не розшарованістю, дозволяє скоротити тривалість виробничого циклу та покращує якість виробів. Для управління реологічними властивостями бетонних сумішей використовують пластифікуючі добавки, які залежно від мети, дозволяють збільшити рухливість бетонної суміші, скоротити витрату води, цементу або підвищити міцність бетону. Сучасні супер- і гіперпластифікатори забезпечують можливість отримання бетонних сумішей з високою рухливістю при меншій витраті в'язучої речовини та води затворення [1-11]. Полікарбоксилатні добавки є найбільш ефективними пластифікаторами комплексної дії, які за рахунок поєднання електростатичного та стеричного ефекту [12-14] надають як пластифікуючу, так і водоредукційну дію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Із урахуванням практично однакового можливого вмісту шлаку в портландцементях та лужних цементах при різній хіміко-мінералогічній природі цих в'язучих речовин доцільно розглянути технологічні особливості їх модифікації при отриманні бетонних сумішей, призначених для монолітного укладання з метою подальшого обґрунтування їх вибору для використання на конкретному об'єкті. При цьому метою модифікації визначається поліпшення певних властивостей бетонної суміші та бетону, а склади цементів розглядаються з позиції широкого діапазону вмісту в них шлаку, що стає дуже актуальною. [15, 16].

У відповідності з національним стандартом ДСТУ Б В.2.7-46:2010 цементи III типу загальнобудівельного призначення шлакопортландцемент (ШПЦ) можуть вміщувати до 95 % ГДШ. Однак вже при 50 % ГДШ цементи 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 монолітному будівництві. З іншої сторони, підвищення вмісту ГДШ в складі портландцементу позитивно впливає на такі експлуатаційні властивості бетону, як корозійна стійкість, міцність у віддаленні строки, зменшені тепловиділення та деформативність при відповідності загальній тенденції переходу на низькоенергоємні технології виготовлення в'язучих речовин. Звідси актуальним стає питання про модифікацію ШПЦ в напрямку підвищення рухливості та довговічності, перш за все морозостійкості як однієї з її складових, отриманого на їх основі бетону шляхом введення хімічних добавок та органо-мінеральних комплексів [17-20].

Постановка мети і задач досліджень. Метою досліджень є визначення закономірностей впливу комплексних добавок на рухливість бетонних сумішей при змінному вмісті ГДШ в складі цементів загальнобудівельного призначення. Досягнення мети можливо за рахунок визначення ефективності дії добавок різної природи – на основі полікарбоксилатів та комплексних органо-мінеральних добавок – на формування реологічних характеристик бетонів на основі портландцементів із змінним вмістом ГДШ.

Для отримання портландцементів з перемінним вмістом гранульованого доменного шлаку (ГДШ) як сировинні матеріали застосовано: портландцемент ПЦ І-500-Н ПАТ виробництва «Волинь-Цемент» згідно з 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 $3550 \text{ см}^2/\text{г}$ (за приладом Блейна). Для виготовлення бетонних сумішей в якості дрібного заповнювача використовували Дніпровський річковий пісок з модулем крупності $M_{\text{кр}}=1,47$, середньою густиною – $1420 \text{ кг}/\text{м}^3$, пустотністю – 42 %, істинною густиною – $2,63 \text{ г}/\text{см}^3$, 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 «CentrilitNC» 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 розшаровування та водовідділення, 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 портландцементу 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	верхній	
		0	1	
Вміст ГДШ, %	X1	10	50	20
Витрата цементу, кг	X2	250	470	110
В/Ц	X3	0,37	0,74	0,25

У якості вихідних параметрів було обрано показник рухливості бетонної суміші – осадку конуса (OK → max).

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	OK1	OK2	OK3
1	0,33	0,33	0,33	23,3	323,3	0,49	19	19,5	20
2	0	0	1	10	250	0,74	20	21,5	20
3	0,67	0	0,33	36,7	250	0,49	19,5	18,5	20
4	0	0,67	0,33	10	396,7	0,49	19	21	20
5	0	0,33	0,67	10	323,3	0,62	21	21,5	20
6	0,33	0	0,67	23,3	250	0,62	20,5	21	20
7	0,67	0,33	0	36,7	323,3	0,37	18	18	19
8	0,33	0,67	0	23,3	396,7	0,37	18,5	19	19,5
9	0	1	0	10	470	0,37	20	21	21
10	1	0	0	50	250	0,37	17	18	19,5

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:

— СП (0,6%): $OK1=17.07X1+19.64X2+20.29X3-0.48X1X2+5.95X1X3+0.16X2X3-16.88X1X2X3$ (1)

— NC(5%)+СП(0,6%): $OK2=17.81X1+20.95X2+21.74X3-3.96X1X2-0.11X1X3-0.43X2X3-4.5X1X2X3$ (2)

— SX(5%)+СП(0,6%): $OK3=19.52X1+20.95X2+20.02X3-4.45X1X2+1.02X1X3-2.2X2X3+12.38X1X2X3$ (3)

Результати досліджень. Аналіз отриманих рівнянь регресії (1–3) показав, що фактори $X1$, $X2$ і $X3$ значимі, взаємозв'язані та встановлюють взаємозв'язок поміж варійованими факторами $X1 \dots X3$.

При використанні в якості суперпластифікатору MC-PowerFlow 2695 в кількості 0,6% від маси цементу осадка конуса збільшується від 18 до 20 см при одно часовому зменшенні кількості шлаку в складі портландцементу від 45 до 10% (фактор $X1$) та одно часовому збільшенні витрати цементу від 370 до 470 $кг/м^3$ (фактор $X2$) і підвищенні В/Ц від 0,37 до 0,74 (фактор $X3$) (рис. 1, а).

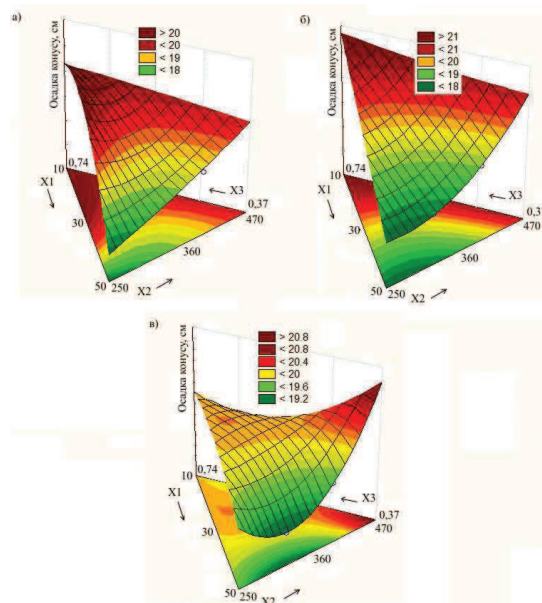


Рис. 1. Тернарні поверхні зміни показників осадки конуса, см, в залежності від типу пластифікатора: а – СП(0,6%); б - NC(5%)+СП(0,6%); в - SX(5%)+СП(0,6%)

Аналогічна зміна осадки конуса від 18 до 21 см відбувається і при використанні органо-мінерального комплексу CentrilitNC на основі пуцоланових алюмосилікатів (NC): при одно часовому зменшенні кількості шлаку в складі портландцементу від 30 до 10% (фактор X1) та одно часовому збільшенні витрати цементу від 400 до 470 кг/м³ (фактор X2) і підвищенні В/Ц від 0,37 до 0,74 (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 20 см, яка обмежена вмістом ГДШ в кількості від 10 до 45% (фактор X1), витратою цементу від 250 до 360 кг/м³ (фактор X2) та зменшенні В/Ц від 0,74 до 0,49 (фактор X3). Максимальною осадкою конуса 21 см характеризується склад бетонної суміші при вмісті ГДШ до 50%, витраті цементу 470 кг/м³ та В/Ц=0,37. Дані показники пояснюються збільшенням втягнення повітря, приблизно до 1,2%, за рахунок синергетичної дії даного органо-мінерального комплексу.

Висновки

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що розглянуті СП та комплексні органо-мінеральні добавки характеризуються різною ефективністю впливу на властивості бетону в залежності від їх природи і вмісту шлакової складової в цементі. На наш погляд, найбільш перспективним для монолітного будівництва є використання органо-мінерального комплексу на основі суспензії мікрокремнезему SX(5%)+СП(0,6%), що дозволяє використати ГДШ до 50% у складі цементу та отримати бетонні суміші з рухливістю до 21 см.

Надалі будуть проведені дослідження по визначенню оцінки ефективності використання розглянутих типів органо-мінеральних комплексів на основі критеріальної залежності Ребіндера.

1. Калашников В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 1: Виды реологических матриц в бетонной смеси и стратегия повышения прочности бетона и экономии его в конструкциях / В.И. Калашников // Технологии бетонов. 2007. - № 5. - С. 8—10. 2. Калашников В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 2: Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения / В.И. Калашников // Технологии бетонов. - 2007. - № 6. -С. 8—11. 3. Калашников В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 3: От высокопрочных и особо высокопрочных бетонов будущего к суперпластифицированным бетонам общего назначения настоящего / В.И. Калашников // Технологии бетонов. - 2008. - № 1. - С. 22—26. 4. Калашников В.И. Влияние вида супер- и гиперпластификаторов на реотехнологические свойства цементно-минеральных суспензий, порошковых бетонных смесей и прочностные свойства бетонов / В.И. Калашников, Е.В. Гуляева, Д.М. Валиев // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2011. - № 12. - С. 40—45. 5. Изотов В. С. Химические добавки для модификации бетона / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова // М.: Палеотип, 2006. - 244 с. 6. Chen Y. L., You W. L. The Composite Effect of Mineral Additives to the Performances of Concrete // Proceedings of

the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. P. 289—301.

7. Баженов Ю. М. Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников// - М.: АСВ, 2006. - 368 с. **8.** Иващенко Ю. Г. Модифицирующее действие органических добавок на цементные композиционные материалы / Ю.Г. Иващенко, Д.К. Тимохин, А.В. Страхов // Вестник СГТУ. - 2012. - № 4(68). - С. 220—224. **9.** Органический пластификатор на основе отхода промышленности для строительных композитов / Ю. Г. Иващенко, Д. К. Тимохин, А. В. Страхов, С. А. Евстигнеев // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/IvashchenkoTimokhinStrakhovEvstigneev-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/IvashchenkoTimokhinStrakhovEvstigneev-2013_2(27).pdf). **10.** Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы / Л.И. Касторных. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 219 с. **11.** Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов. - М.: Изд-во АСВ, 2003. - 500 с. **12.** 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. **13.** 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. **14.** 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. **15.** 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. **16.** Эффективность шлаковых цементов / П.В. Кривенко, Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко, Д.А. Ледовских // Тр. 7-й Межд. научн.-техн. конф., 2-е научные чтения по цементу «Энергосберегающие технологии при производстве цемента», С.-Петербург, 2005, с. 67-73. **17.** Поліфункціональні добавки на основі поліакрилатів у пуцоланових цементах / П.С. Шилюк, В.І. Гоц, Р.Ф. рунова, І.І. Руденко // Будівництво України. – 2004. -№7. - С. 28-32. **18.** Використання пластифікованих пуцоланових цементів у товарних бетонних сумішах / П.С. Шилюк, В.І. Гоц, Р.Ф. Рунова, І.І. Руденко // Будівництво України. – 2004. - №8. - С. 23-27. **19.** Эффективность действия суперпластификаторов в бетонных смесях на основе пуцоланового цемента / Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко, В.И. Гоц, П.С. Шилюк // Зб. НУВГП. – Рівне, 2005. - Вип. 13 – С. 86-95. **20.** Использование пуцоланового цемента для решения некоторых проблем технологии товарного бетона / Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко, В.И. Гоц, П.С. Шилюк // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: Наук.-техн. зб. - 2005. - № 20. - С. 15-19.