УДК 666.972.16

ВЛАСТИВОСТІ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ ТЕС

СВОЙСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗОЛЫ-УНОСА ТЭС

THE PROPERTIES OF CONCRETE MIXTURES WITH HIGH CONTENT OF FLY ASH

Зайченко М.М., д.т.н., проф. (Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Макіївка), **Сердюк О.І., д.х.н., проф.** (Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Макіївка)

Зайченко Н.М., д.т.н., проф. (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка), **Сердюк А.И., д.х.н., проф.** (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка)

Zaichenko M.M., doctor of technical sciences, professor (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makiyivka), **Serdjuk O.I., doctor of chemical sciences, professor** (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makiyivka)

Встановлено, що зі збільшенням кількості золи-винесення взамін частини портландцементу спостерігається підвищення рухливості бетонної суміші. Це обумовлено більш високим вмістом тіста в'яжучого, оптимізацією гранулометричного складу та зростанням від'ємного значення електрокінетичного потенціалу дисперсних частинок.

Установлено, что с увеличением количества золы-уноса взамен части портландцемента наблюдается повышение подвижности бетонной смеси. Это обусловлено более высоким содержанием теста вяжущего, оптимизацией гранулометрического состава и ростом отрицательного значения электрокинетического потенциала дисперсных частиц.

It has been established that with increasing amount of fly ash as a partial replacement of Portland cement the mobility of concrete mixtures increases. This is due to the higher content of the cement paste, optimization of particle size distribution and growth of the negative value of electrokinetic potential of dispersed particles.

Ключові слова:
Зола-винесення, бетонна суміш, рухливість, втрата рухливості.
Зола-унос, бетонная смесь, подвижность, потеря подвижности.
Fly ash, concrete mixture, mobility, loss of mobility

Стан питання та задачі дослідження. Проблеми сталого розвитку (sustainable development) людства у всіх сферах життєдіяльності з кожним роком набувають все більшого значення. Основні принципи сталого розвитку, зокрема в будівельній галузі, базуються, перш за все, на ефективному й раціональному використанні природних ресурсів та максимальній утилізації промислових відходів при виробництві будівельних матеріалів та виробів. Відомо, що наслідком роботи теплових електростанцій, що спалюють тверде паливо, є утворення золи з щорічним виходом у світі близько 650 млн. т [1]. При цьому золи та золошлакові суміші, об'єми яких у золовідвалах постійно накопичуються, є цінним сировинним компонентом для виробництва цементів, будівельних розчинів та бетонів. В той же час, утилізація золи навіть у розвинених країнах, зокрема у США за різними джерелами становить лише 30-42 % [2, 3].

Це обумовлено, перш за все, нестабільністю золи-винесення за властивостями – дисперсністю, хімічним і мінералогічним складом, зокрема вмістом оксидів, лужних металів та незгорілого палива, а також пуцолановою активністю, що стримує її використання при виробництві бетону [4]. Наприклад, американські стандарти обмежують вміст золи-винесення у складі в'яжучої речовини до 25 % [5]. Однак, на думку P.K. Mehta [6], обов'язковою умовою одержання високоякісних бетонів (High Performance Concrete) є застосування у складі бетону пуцоланових добавок з високим вмістом взамін частини цементу. При традиційному дозуванні золи-винесення (15-20 %) не вирішуються проблеми підвищення сульфатостійкості бетону, стійкості до лужної корозії заповнювача та термічного тріщиноутворення. З цією метою запропоновано склади бетонів з високим вмістом золи-винесення – High-Volume Fly Ash Concrete (HVFAC). Зола-винесення має наступний вплив на властивості бетонних сумішей і бетонів HVFAC [7]: зменшення усадки в результаті водоредукуючого ефекту золи, що забезпечує зниження водоцементного фактору; зменшення термічного тріщиноутворення як результат зниження тепловиділення (при заміні цементу на 50 % золою-винесення температурний градієнт між центром і поверхнею крупних масивів не перевищує 25°С); підвищення водонепроникності та довговічності бетону (підвищення ступеня упаковки частинок, зниження вмісту води замішування, модифікування продуктів гідратації в'яжучого); підвищення когезії бетонної суміші та її рухливості, забезпечення стійкості до розшарування, покращення прокачуваності).

Канадським вченим Malhotra V.M. [8] показано, що при поєднанні великого вмісту золи-винесення з добавкою суперпластифікатору можливо

одержати високоміцний бетон, що характеризується відносно низькою собівартістю. Для цього необхідно, щоб мінімальна витрата золи у складі в'яжучого становила 50 %, а вміст води замішування не перевищував 130 л/м^3 (витрата портландцементу – не більше 200 кг/м^3, водов'яжуче – менше 0,3). Для забезпечення морозостійкості бетону необхідно обов'язкове використання повітровтягуючих добавок, а високої міцності в ранньому віці золу-винесення частково замінити на більш реакційний мікрокремнезем [2, 6-8]. В той же час, низька витрата води замішування може бути причиною невисокої рухливості сумішей або її втрати протягом певного часу.

Метою роботи є встановлення впливу водов'яжучого відношення та вмісту золи-винесення взамін частини портландцементу на технологічні властивості та строки тужавлення бетонних сумішей.

Характеристика вихідних матеріалів. В ході експериментальних досліджень використано наступні матеріали:

- в'яжуча речовина: портландцемент (ПЦ) Балаклiївського комбінату CEM I-42,5 N;
- заповнювачі: щебінь (Щ) гранітний фракції 5-20 мм; пісок (П) кварцовий Краснополянського родовища ($М_{кр}$=2,2);
- мінеральна добавка: зола-винесення (ЗВ) Вуглегірської ТЕС;
- суперпластифікатор (СП) – акрилатний полімер Dynamon SR-3.

Визначення строків тужавлення та технологічних властивостей бетонних сумішей. Запроектовано три серії складів з показником водов'яжучого фактору В/(ПЦ+ЗВ)=0,40; 0,45 і 0,50. При цьому в кожній серії передбачено по п'ять складів, в яких заміна портландцементу золою-винесення становить відповідно 0; 15; 30; 45 і 60 % (табл. 1).

Встановлено, що у кожній серії складів спостерігається тенденція підвищення рухливості бетонної суміші зі збільшенням кількості золи-винесення взамін частини портландцементу (табл. 2). Це обумовлено, перш за все, тим, що зола-винесення, маючи менше значення істинної густини (2200 кг/м^3) у порівнянні з портландцементом (3100 кг/м^3), забезпечує більш високий вихід тіста в'яжучого (табл. 1), яке вкриває зернини заповнювачів, що зменшує тертя між ними.

Окрім того, підвищення рухливості сумішей пов'язано з оптимізацією гранулометричного складу дисперсних частинок, а також присутністю сферичних осклованих зернин золи-винесення, які замінюють кутасті й шорсткі частинки портландцементу. Слід також наголосити на той факт, що зі збільшенням вмісту у складі в'яжучого золи-винесення підвищується інтегральний від'ємний електрокінетичний потенціал дисперсної системи (ξ-потенціал), що за аналогією з дією аніонних пластифікаторів забезпечує дефлокуляцію частинок з вивільненням іммобілізованої у флокулах води замішування, яка саме й забезпечує підвищення рухливості бетонної суміші (табл. 3).

Таблиця 1

Склад бетонних сумішей

Серія	№	ЗВ, %	В/В	Витрата матеріалів, кг/м^3						Об'єм тіста в'яжучого, л
				В, л	ПЦ	ЗВ	Щ	П	СП, л	
А	1	0	0,40	190	494	-	734	990	6,0	356,5
	2	15			420	74	723	970		366,5
	3	30			346	148	714	956		376,5
	4	45			272	222	700	940		386,5
	5	60			198	296	692	920		396,5
Б	1	0	0,45	195	449	-	746	1000	6,0	347,0
	2	15			382	67	734	990		355,0
	3	30			315	134	725	972		365,0
	4	45			247	202	715	960		374,0
	5	60			180	269	705	945		382,0
С	1	0	0,50	206	425	-	734	990	6,0	348,0
	2	15			361	64	728	972		357,0
	3	30			298	128	720	963		366,0
	4	45			234	191	707	948		374,5
	5	60			170	255	698	935		383,0

Таблиця 2

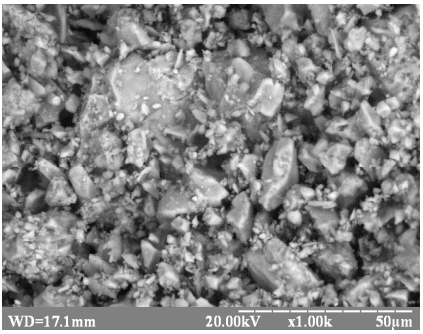
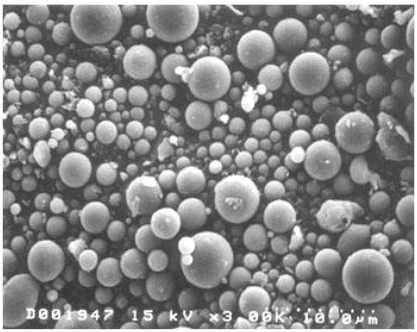
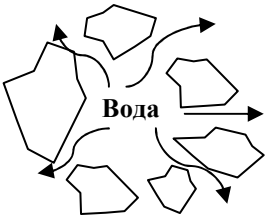
Строки тужавлення і властивості бетонних сумішей

Серія	№	ЗВ, %	Середня щільність, ρ_0, кг/м^3	Рухливість (осадка конуса, ОК, см)	Строки тужавлення*, години-хвилини	
					початок	кінець
А	1	0	2352	16,2	3-32	4-55
	2	15	2330	16,8	3-45	5-08
	3	30	2325	17,5	4-02	5-56
	4	45	2298	18,0	4-34	6-45
	5	60	2275	18,5	5-23	7-15
Б	1	0	2390	16,5	4-05	5-48
	2	15	2378	17,6	4-18	6-10
	3	30	2353	18,0	4-40	6-32
	4	45	2335	18,8	5-17	7-19
	5	60	2311	19,4	5-36	7-52
С	1	0	2410	19,0	4-30	6-15
	2	15	2392	20,5	4-47	6-33
	3	30	2365	21,3	5-10	6-55
	4	45	2339	22,1	5-52	7-43
	5	60	2308	23,2	6-20	8-55

* цементно-піщаний розчин у складі бетонної суміші

Таблиця 3

Порівняльні характеристики бетонних сумішей

Склад № С-1	Склад № С-5
Характеристика частинок	
портландцементу	золи-винесення
кутасті частинки (1-50 мкм)	склоподібні сфери (1-100 мкм)
	
Об'єм в'яжучої речовини, л	
348,0	383,0
Інтегральний ξ-потенціал, mV	
+2,17…-8,40	-28,0…-63,0
	

Графічна інтерпретація результатів дослідження рухливості бетонних сумішей представлена на рис. 1. Для кожної серії зразків зафіксовано лінійну залежність рухливості бетонної суміші від вмісту золи-винесення. При цьому, з підвищенням значення водов'яжучого фактору збільшується й приріст величини рухливості суміші зі збільшенням кількості золи у порівнянні з контрольними складами (без золи): при В/В=0,40 – ΔОК=+14 %; В/В=0,45 – ΔОК=+17,5 %; В/В=0,50 – ΔОК=+22 %.

В технології монолітного будівництва окрім необхідності забезпечення високої вихідної рухливості бетонних сумішей немаловажне значення також має фактор збереженості рухливості бетонних сумішей протягом часу, необхідного для транспортування й укладання в опалубку суміші.

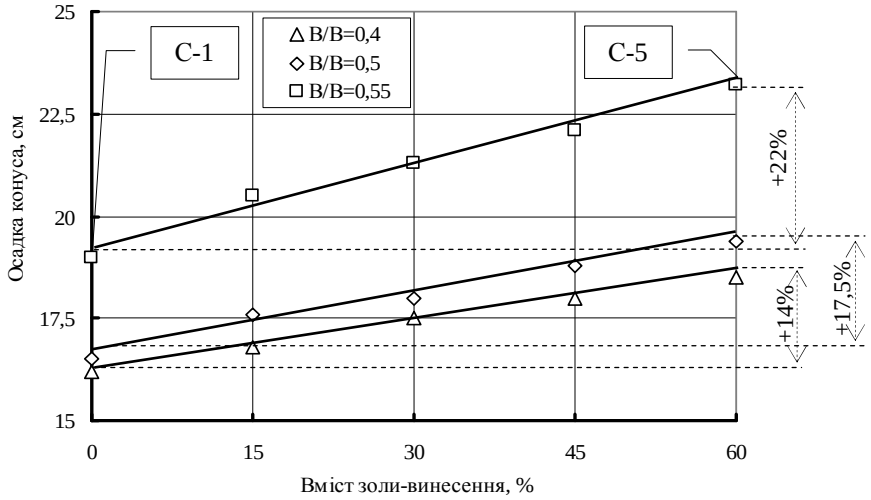


Рис. 1. Залежність рухливості бетонної суміші від вмісту золи-винесення у складі в’яжучого

Так, для бетонної суміші контрольного складу серії А-1 (В/В=0,4; вміст золи-винесення 0 %) в перші 20 хвилин витримки після перемішування спостерігається підвищення осадки конусу від 16 до 17,5 см – на 6,8 % (рис. 2). Це можливо пояснити з позицій механізму пластифікуючої дії полікарбоксилатних суперпластифікаторів – для досягнення максимального ефекту необхідною умовою є адсорбція молекул полімеру на дисперсних частинках, що відбувається протягом певного часу.

Однак, в проміжку часу від 20 до 120 хвилин спостерігається різка втрата рухливості бетонної суміші, що становить 17,3 % від максимального значення осадки конусу. В цей період відбувалась інтенсивна гідратація портландцементу і, як наслідок, висока швидкість адсорбції полімеру, якого вже було недостатньо в об’ємі суміші для підтримки сталості рухливості.

Заміна портландцементу золою-винесенням у кількості 30 % (склад А-3) забезпечує як підвищення вихідної осадки конуса, так і менш інтенсивну втрату рухливості у часі, значення якої становить 10,3 % від максимального значення осадки конуса. В бетонній суміші з вмістом золи-винесення 60 % (склад А-5) втрата рухливості становить лише 6,4 % від максимального значення. При цьому характерним є те, що зі збільшенням кількості золи-винесення взамін портландцементу досягнення максимального значення осадки конусу зміщується праворуч, що пов'язано з уповільнюючим ефектом золи-винесення на гідратацію в’яжучого і, як наслідок, на процес адсорбції суперпластифікатору. Про це свідчать дані щодо строків тужавлення бетонних сумішей, що наведено в табл. 2. Окрім того, суперпластифікатор у вигляді аніонного поліелектроліту у зв’язку з достатньо високим від'ємним

значенням електрокінетичного потенціалу частинок золи практично не адсорбується на їх поверхні, забезпечуючи запас вільного полімеру в бетонній суміші протягом тривалого проміжку часу для підтримки сталості рухливості.

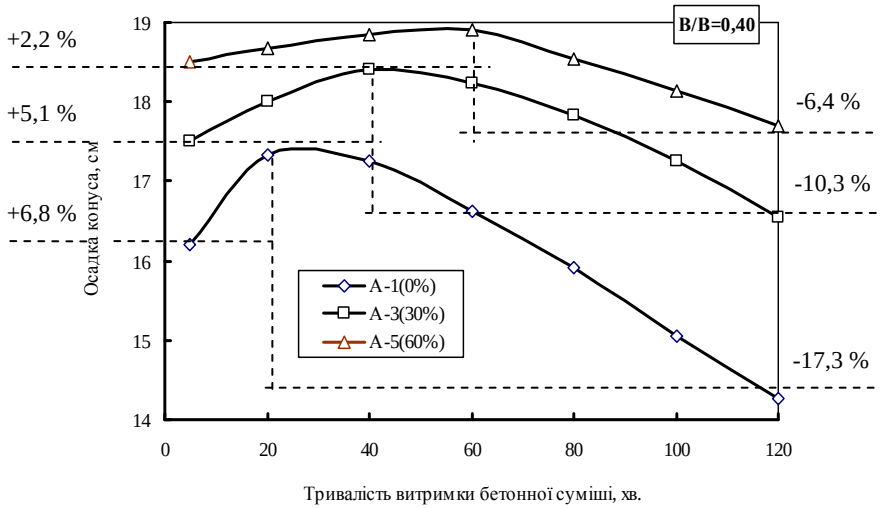


Рис. 2. Залежність рухливості бетонної суміші від тривалості витримки після перемішування при різному вмісті золи-винесення в складі в'яжучого

1. Moranville-Regourd M. Portland Cement-based Binders – Cements for the next millennium / M. Moranville-Regourd // Proc. of the Intern. Conf. "Creating with Concrete". – Dundee, 1999. – P.87-99. **2.** Use of superplasticizers in the production of HVFA concrete containing clean-coal ash and class F fly ash / T.R. Naik, R.N. Kraus, R. Siddique, F. Botha // the Seventh CANMET/ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. – Berlin, 2003. – P.1-31. **3.** Obla K.H. Technology-Based Approach to Advance the use of Higher Volume Fly Ash Concrete with Acceptable Performance / K.H. Obla. – Final Report. – Subcontract No. 98-166-NRMCA CBRC Project 05-CBRC-M20. – 2008. – 121 pp. **4.** Белякова Ж.С. Экологические, материаловедческие и технологические аспекты применения зол в бетоне / Ж.С. Белякова, Е.Г. Величко, А.Г. Комар // Строительные материалы. – 2001. - № 3. – С.46-48. **5.** The effect of water-to-cementitious material ratio on the durability of concrete containing fly ash / S. Amey, H. Brown, J. Moreau, A. Atienza // Creating with Concrete: International Conf. – Dundee, 1999. – P.595-606. **6.** Mehta P.K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development / P.K. Mehta // Intern. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 20-21 May 2004: Proc. – Beijing, 2004. – P. 3-13. **7.** Malhotra V.M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development / V.M. Malhotra, P.K. Mehta. – Inc. – Ottawa, 2002. – 101p. **8.** Malhotra V.M. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review / V.M. Malhotra // M.Collepardi Symp. on Advances in Concrete Science and Technology. – Rome, 1997. – P.271-314.