

УДК 666.97

Дворкін Л.Й., д.т.н., проф., Лашівський В.В., інж. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЖАРОСТІЙКИХ ЗОЛОШЛАКОБЕТОНІВ

В статті розглянуто вплив технологічних параметрів твердіння та комплексних добавок, що включають суперпластифікатор і фтористий активатор на міцність золошлакобетонів при сушінні. Розглянуто також зміну водопоглинання золошлакобетонів залежно від цементно-водного відношення і швидкості підняття температури, а також параметри пористості золошлакобетонів, вплив на них комплексних добавок.

In the article the influence of technological parameters of hardening and complex additives which include a superplasticizer and fluorine activator on strength of ash-slag concrete at drying is considered. Also the change of water absorption of ash-slag concrete is considered depending on cement-water ratio and speeds of temperature raising, and also parameters of porosity of ash-slag concrete and influence on them of complex additives are researched.

**Якість і довговічність** жаростійкого бетону в значній мірі залежить від його поведінки при сушінні і першому нагріванні. Технологічна задача сушіння полягає у видаленні з бетону вологи в найбільш короткий строк при забезпеченні його цілостності. При сушінні бетону напруження обумовлені температурними градієнтами і тиском парів води. Швидкість підняття температури при нагріванні бетону обмежена умовою:

$$(\sigma_p + P) < R_p^t, \quad (1)$$

де  $P$  – тиск парів;  $\sigma_p$  – розтягувальні температурні напруження;  $R_p^t$  – границя міцності нагрітого бетону при розтягу.

**Залежно від міцності** бетону при розтягу, режиму нагрівання бетону, його густини та пружно-пластичних властивостей температурно-вологісній напруженні можуть викликати або не викликати тріщиноутворення [1]. Сітка дрібних тріщин, які направлені перпендикулярно траєкторії головних розтягуючих напружень, виникає, коли останні перевищують міцність бетону при розтягу. При великій швидкості тріщиноутворення виникає динамічний ефект і руйнування бетону відбувається майже миттєво [2].

В роботах [2, 3, 4] запропонована і обґрунтована формула для розрахунку критичних напружень в бетоні при його нагріванні:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E_{бт} h_{кр}^2 k}{12l^2 (1 - \mu^2)}, \quad (2)$$

де  $E_{бт}$  – модуль пружності нагрітого бетону,  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона,  $k$  – коефіцієнт, який залежить від розмірів елементу, товщини шару, що нагрівається  $h_{кр}$ ;  $l$  – найбільша довжина поверхні, яка нагрівається.

У випадку, якщо переважають розтягуючі напруження, то у бетоні можуть з'явитися тріщини, якщо тиск – бетон може вибухнути.

**На основі виконаних** в НДІЗБ та НДПТ теплопроекти комплексних досліджень [2, 3, 4, 5] запропоновані режими сушіння і першого нагрівання теплових агрегатів з жаростійкого бетону. При використанні бетону нормального твердіння на портландцементі з товщиною конструкцій до 40 см найбільша швидкість підняття температури рекомендується  $20^0/\text{год}$ , тривалість ізотермічної витримки 12...24 год.

Очевидно, для зменшення загрози руйнування бетону з ефектом “вибуху” необхідно шукати шляхи збільшення міцності матеріалу або зниження його модуля пружності, а також коефіцієнта температурного лінійного розширення.

Визначали зміну міцності та відкритої пористості, що характеризується водопоглинанням, зразків золошлакобетону, які були попередньо витримані у нормальних умовах 7 та 28 діб при сушінні до видалення механічно зв'язаної води при  $110^0\text{C}$ . Швидкість підняття температури ( $V_t$ ) змінювали в межах  $10...30^0\text{C}$  за годину. Швидкість охолодження зразків була постійною. Зразки у вигляді призм розміром  $40 \times 40 \times 160$  мм виготовляли на портландцементі М400 із суміші з ОК=1...4 см без і з введенням добавок С-3 +  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ . Результати дослідів наведені в табл. 1, 2, 3 і на рис. 1, 2.

**Аналіз отриманих даних** показує, що при м'якій сушці і швидкості підняття температури  $V_t = 20^0/\text{год}$  до  $110^0$  міцність золошлакобетонів як без добавок, так і з комплексною добавкою С-3 +  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  збільшується. Приріст міцності на стиск для бетонів, які попередньо тверділи в нормальних температурно-вологісних умовах впродовж 7 діб досягає при  $V_t = 20^0/\text{год}$  75%, 28 діб – до 30%. Зі збільшенням Ц/В приріст міцності при сушінні знижується. Приріст міцності на згин при незмінних умовах сушіння суттєво нижчий ніж при стиску. Для бетонів з комплексною добавкою різниця в прирості міцності при стиску і згині нівелірується, що може свідчити про менший вплив деструктивних процесів при нагріванні. Цей висновок є ще більш очевидним при підвищенні швидкості підняття температури до  $50^0/\text{год}$ . Для бетонів без добавок деструктивний вплив прискореного режиму сушіння відчувається в більшій мірі в 28-добовому віці зразків по мірі збільшення Ц/В. В останньому випадку очевидно збільшується модуль пружності і вплив гідравлічного тиску утвореного водяного пару стає більш значним. Після сушки бетону без добавок при  $V_t = 50^0/\text{год}$  видимі тріщини зафіксовані для зразків у 7-

добовому віці при Ц/В= 1,8 і Ц/В= 2,2, у 28-добовому при Ц/В=1,6; Ц/В=1,8 і Ц/В=2,2.

Таблиця 1

Зміна міцності зразків золошлакобетонів 7-добового віку при сушінні ( $T=110^{\circ}\text{C}$ )

№ з/п	Ц/В	Міцність, МПа при стиску			Міцність, МПа при згині		
		Нормальне твердіння, 7 діб	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=20^{\circ}/$ год	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=50^{\circ}/$ год	Нормальне твердіння, 7 діб	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=20^{\circ}/$ год	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=50^{\circ}/$ год
<i>Бетони без добавок</i>							
1	1,35	$\frac{10,3}{100}$	$\frac{18,0}{175}$	$\frac{16,5}{160}$	$\frac{3,1}{100}$	$\frac{5,0}{160}$	$\frac{4,3}{140}$
2	1,6	$\frac{21,5}{100}$	$\frac{34,4}{160}$	$\frac{28,0}{130}$	$\frac{3,5}{100}$	$\frac{4,9}{140}$	$\frac{3,9}{110}$
3	1,85	$\frac{24,5}{100}$	$\frac{36,8}{150}$	$\frac{29,4}{120}$	$\frac{3,9}{100}$	$\frac{5,5}{140}$	$\frac{3,9^*}{100}$
4	2,22	$\frac{26,4}{100}$	$\frac{37,0}{140}$	$\frac{28,5}{108}$	$\frac{4,2}{100}$	$\frac{4,4}{105}$	$\frac{3,6^*}{85}$
<i>Бетони з добавкою C-3 + <math>\text{Na}_2\text{SiF}_6</math></i>							
5	1,52	$\frac{22,3}{100}$	$\frac{37,9}{170}$	$\frac{37,9}{170}$	$\frac{3,4}{100}$	$\frac{6,0}{175}$	$\frac{5,8}{170}$
6	1,8	$\frac{25,1}{100}$	$\frac{41,4}{165}$	$\frac{40,2}{160}$	$\frac{4,2}{100}$	$\frac{6,1}{145}$	$\frac{5,9}{140}$
7	2,10	$\frac{28,1}{100}$	$\frac{40,7}{145}$	$\frac{39,3}{140}$	$\frac{4,5}{100}$	$\frac{6,1}{135}$	$\frac{6,3}{140}$
8	2,56	$\frac{32,5}{100}$	$\frac{43,9}{135}$	$\frac{44,5}{137}$	$\frac{5,1}{100}$	$\frac{6,4}{125}$	$\frac{6,1}{120}$

Примітки: 1. Під рискою значення міцності у відсотках.

2. \* – після нагрівання зразків виявлені тріщини.

Зміна міцності зразків золашлакобетонів 28-добового віку при сушінні ( $T=110^{\circ}\text{C}$ )

№ з/п	Ц/В	Міцність, МПа при стиску			Міцність, МПа при згині		
		Нормальне твердіння, 28 діб	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=20^{\circ}/$ год	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=50^{\circ}/$ год	Нормальне твердіння, 28 діб	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=15^{\circ}/$ год	Нагрів до $150^{\circ}\text{C}$ з $V_t=30^{\circ}/$ год
<i>Бетони без добавок</i>							
1	1,35	$\frac{18,5}{100}$	$\frac{26,8}{145}$	$\frac{24,1}{130}$	$\frac{3,7}{100}$	$\frac{4,8}{130}$	$\frac{4,1}{110}$
2	1,6	$\frac{26,5}{100}$	$\frac{36,6}{138}$	$\frac{27,8}{105}$	$\frac{4,3}{100}$	$\frac{4,7}{110}$	$\frac{4,1^*}{95}$
3	1,85	$\frac{30,3}{100}$	$\frac{37,9}{125}$	$\frac{29,7}{98}$	$\frac{4,5}{100}$	$\frac{4,7}{105}$	$\frac{4,1^*}{90}$
4	2,22	$\frac{36,5}{100}$	$\frac{42,0}{115}$	$\frac{31,0}{85}$	$\frac{5,4}{100}$	$\frac{5,1}{95}$	$\frac{4,2^*}{78}$
<i>Бетони з добавкою C-3 + <math>\text{Na}_2\text{SiF}_6</math></i>							
5	1,52	$\frac{25,8}{100}$	$\frac{40,0}{155}$	$\frac{38,7}{150}$	$\frac{4,9}{100}$	$\frac{8,6}{175}$	$\frac{8,3}{170}$
6	1,8	$\frac{31,5}{100}$	$\frac{44,1}{140}$	$\frac{44,7}{142}$	$\frac{5,3}{100}$	$\frac{6,6}{125}$	$\frac{6,9}{130}$
7	2,10	$\frac{36,8}{100}$	$\frac{44,2}{120}$	$\frac{43,4}{118}$	$\frac{5,7}{100}$	$\frac{6,3}{110}$	$\frac{6,6}{115}$
8	2,56	$\frac{42,5}{100}$	$\frac{48,9}{115}$	$\frac{46,8}{110}$	$\frac{5,1}{100}$	$\frac{5,6}{110}$	$\frac{5,6}{110}$

**Примітки:** 1. Під ризикою значення міцності у відсотках.

2. \* – після нагрівання зразків виявлені тріщини.

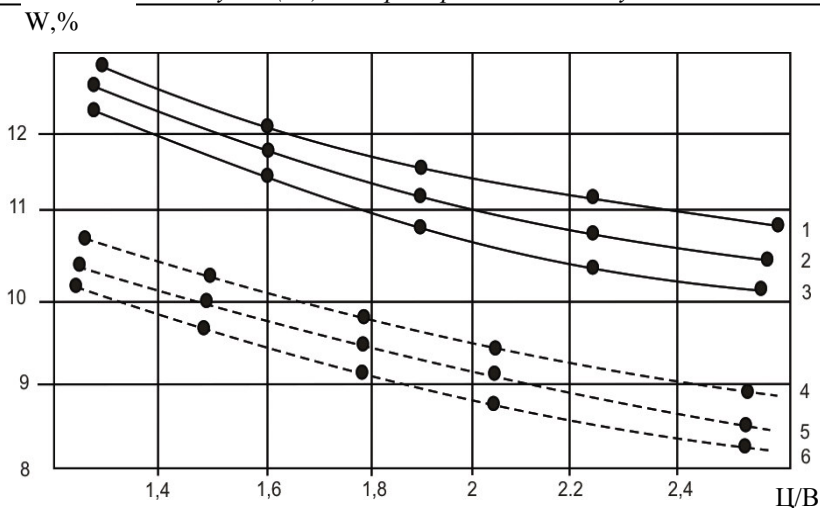


Рис. 1. Водопоглинання золошлакобетонів в залежності від Ц/В та швидкості підняття температури ( $\tau = 7$  діб)

1...3 – бетон без добавок : 1 -  $V_t = 50^0/\text{год}$  ;

2 -  $V_t = 20^0/\text{год}$  ;

3 – нормальне твердіння;

4...6 – бетон з добавкою C-3 +  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  : 4 -  $V_t = 50^0/\text{год}$  ;

5 -  $V_t = 20^0/\text{год}$  ; 6 – нормальне твердіння

Для бетонів з комплексною добавкою C-3 +  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  прискорене сушіння при  $V_t = 50^0/\text{год}$  практично не викликає помітного зниження приросту міцності. Видимі тріщини на зразках не зафіксовані.

Таблиця 3

Зміна параметру середнього розміру пор  $\lambda$  золошлакобетонів залежно від Ц/В та швидкості підняття температури до  $150^0\text{C}$

Бетон без добавок			Бетон з добавкою C-3 + $\text{Na}_2\text{SiF}_6$		
Ц/В	$V_t = 20^0/\text{год}$	$V_t = 50^0/\text{год}$	Ц/В	$V_t = 20^0/\text{год}$	$V_t = 50^0/\text{год}$
1,35	1,61	1,73	1,52	1,35	1,54
1,6	1,35	1,55	1,8	1,31	1,42
1,85	1,28	1,45	2,10	1,28	1,36
2,22	1,27	1,39	2,56	1,25	1,32

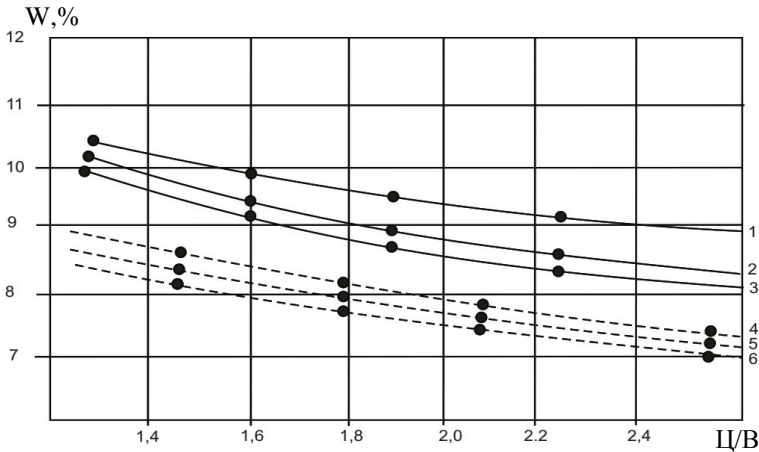


Рис. 2. Водопоглинання золошлакобетонів в залежності від Ц/В та швидкості підняття температури ( $\tau = 28$  діб)

1...3 – бетон без добавок : 1 -  $V_t = 50^{\circ}/\text{год}$  ; 2 -  $V_t = 20^{\circ}/\text{год}$  ; 3 – нормальне твердіння; 4...6 – бетон з добавкою С-3 +  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  : 4 -  $V_t = 50^{\circ}/\text{год}$  ; 5 -  $V_t = 20^{\circ}/\text{год}$  ; 6 – нормальне твердіння

**Про ступінь** деструктивного впливу сушіння на золошлакобетони без добавок і з комплексною добавкою свідчать результати визначення параметрів водопоглинання (табл. 3). Для бетонів без добавок нагрівання викликає більш помітне збільшення середнього розміру пор, яке характеризується параметром  $\lambda$  при апроксимації кривих об'ємного водопоглинення, що особливо відчувається при прискореному сушінні. Зміна середнього розміру пор для бетонів з комплексною добавкою у досліджуваному діапазоні швидкості підняття температури є значно менш суттєвою.

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. – С-Петербург: ООО «Стройбетон», 2006 – 692 с. 2. Жуков В.В. Основные вопросы сушки жаростойких бетонов// Материалы совещания «Жаростойкий бетон и железобетон и области их эффективного применения в строительстве», вып. 4. – М.: Стройиздат, 1969. 3. Жуков В.В., Перегудов В.В. Технология первого разогрева тепловых агрегатов из жаростойкого бетона до рабочей температуры при одностороннем нагреве // Жаростойкий бетон и железобетон и области их эффективного применения в строительстве. – М.: Стройиздат, 1966. 4. Петров-Денисов В.Г., Маслеников Л.А., Пичков А.М. Исследование процесса сушки жаростойкого бетона // Жаростойкий бетон и железобетон и области их эффективного применения в строительстве. – М.: Стройиздат, 1966. 5. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979.

Рецензент: д.т.н., проф. Дворкін О.Л. (НУВГП)