

УДК 666.972.16

Н. М. ЗАЙЧЕНКО, А. И. СЕРДЮК

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**БЕТОНЫ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗОЛЫ ДЛЯ МАССИВНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Рассмотрено влияние частичной замены портландцемента минеральной добавкой в виде золы-уноса ТЭС. Установлено, что с увеличением содержания золы-уноса взамен портландцемента замедляется набор прочности бетоном, особенно в ранние сроки твердения. В более поздние сроки твердения (56 суток и более) бетоны с высоким содержанием золы-уноса достигают величины нормируемой прочности, что обусловлено пуццолановой реакцией и повышением степени гидратации цемента. Уменьшить замедляющее влияние золы на твердение бетона можно путем ее химической активации – при введении в состав бетона добавки ускорителя твердения в виде сульфата натрия. При замене портландцемента золой-уносом ТЭС до 60 % температура бетона при твердении значительно снижается. Максимальная температура бетона в центре массива +38 °С достигается через 60 часов твердения. При этом максимальный температурный градиент между центром массива и его периферией не превышает 6,3 °С.

бетон, портландцемент, зола-унос, твердение, прочность при сжатии, термическое трещинообразование**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Современные высококачественные модифицированные бетоны (High Performance Concrete), отвечающая задачам технического прогресса, позволяют существенно снизить материалоемкость и повысить эффективность строительства. Вместе с тем, достаточно высокое содержание цемента (обычно 450–500 кг/м³), низкое значение В/Ц в таких бетонах может служить причиной снижения долговечности конструкций, особенно массивных, вследствие трещинообразования, вызванного термическими напряжениями, аутогенной усадкой [1]. Температурные деформации обусловлены влиянием тепловыделения цемента на температурный режим бетона, колебаниями температур наружного воздуха и условиями теплообмена конструктивных элементов с окружающей средой. Кроме того, определенный вклад в появление трещин вносят наличие разной массивности конструкций по высоте, сложная геометрическая форма в горизонтальных сечениях и применение при строительстве бетонов высоких классов.

Для предотвращения термического трещинообразования в бетонных массивах принимают меры, направленные на уменьшение саморазогрева бетона и обеспечение благоприятного температурно-влажностного режима при его твердении. Применение в составе бетона активных минеральных добавок в повышенном количестве взамен эквивалентной дозы портландцемента в сочетании с эффективными пластификаторами может обеспечить получение бетонов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Минеральные добавки являются неотъемлемым компонентом современных растворов, бетонов, сухих строительных смесей. Их применение позволяет снизить содержание клинкерного цемента, модифицировать состав новообразований камня вяжущего, повысить плотность структуры, и, как следствие, прочность, долговечность и стойкость бетона в агрессивных условиях эксплуатации [2]. В настоящее время источником минеральных добавок для бетонов в основном являются побочные отходы промышленности. К таким производствам, где объем побочных продуктов достигает несколько

миллионов тонн в год, относятся тепловые электростанции, предприятия угледобычи, камнедробления, металлургическое производство и др. [3].

Ежегодный выход золы-уноса в мире составляет около 650 млн т. В то же время нестабильность зол ТЭС по свойствам – дисперсности, химическому и минеральному составам, содержанию оксидов и щелочных металлов и несгоревшего топлива, а также пуццолановой активности сдерживает их применение при производстве бетона [4]. Так, американские стандарты ограничивают содержания золы в составе цементирующего материала – не более 25 % [5]. Однако, по мнению Р. К. Mehta [6], обязательным условием получения бетонов НРС является применение в их составе пуццолановых добавок в большом количестве взамен части цемента. При традиционной дозировке золы-уноса (15–20 %) не решаются проблемы повышения сульфатостойкости бетона, стойкости к щелочной коррозии заполнителя и термического трещинообразования. В этой связи разработаны составы бетонов с высоким содержанием золы-уноса – *High-Volume Fly Ash Concrete (HVFAС)*. Достижение такими бетонами высоких показателей физико-механических свойств и долговечности основывается на следующих принципах: расход золы не менее 50 % в составе вяжущего; содержание воды затворения не более 130 л/м³; расход портландцемента не более 200 кг/м³; водовяжущее отношение менее 0,3 (обязательное применение суперпластификаторов); применение воздухововлекающих добавок для обеспечения морозостойкости бетона; частичная замена золы-уноса на более реакционный микрокремнезем для обеспечения ранней прочности бетона [6–9].

Зола-унос улучшает свойства бетона по трем направлениям: 1 – снижение расхода воды при обеспечении такой же подвижности смеси; 2 – увеличение объема цементной пасты, что вызывает повышение удобоукладываемости; 3 – модифицирование состава продуктов гидратации цемента в результате пуццолановой реакции с гидроксидом кальция и связывания щелочей [6].

С увеличением количества золы-уноса взамен части портландцемента текучесть пасты повышается. В системах без суперпластификатора текучесть цементной пасты во многом определяется электростатическим взаимодействием между частицами. Величина электрокинетического потенциала частиц золы составляет $\zeta = -12...-14$ мВ, для частиц портландцемента $\zeta = +2,17$ мВ. При небольшом содержании золы в составе цементной пасты частицы золы и цемента флокулируют вследствие электростатического притяжения, что обуславливает снижение подвижности пасты. В случае, когда расход золы высокий, в системе преобладает отрицательный интегральный заряд частиц, при этом происходит их электростатическое отталкивание, что обеспечивает повышение подвижности пасты [10].

Данный эффект связан также со снижением трения в дисперсии между сферическими частицами золы, оптимизацией гранулометрического состава смеси цемента с золой, а также увеличением количества вяжущей части в бетонной смеси (зола имеет меньшую истинную плотность, чем портландцемент) [11].

В то же время зола-унос, как правило, замедляет рост прочности бетона в раннем возрасте, особенно при высоком содержании [6, 8, 12]. Для устранения этого нежелательного явления применяют различные способы активации золы: механическое измельчение, термоактивацию (автоклавную обработку бетона), химическую (сульфатную и щелочную) активацию, сепарацию для снижения содержания углерода за счет трибоэлектростатической обработки и/или воздушной классификации для выделения наиболее реакционной мелкой фракции ($d \sim 5$ мкм, ППП = 0,8 %). В последнем случае качество классифицированной золы-уноса приближается к качеству кондиционной кремнеземистой пыли.

Канадским ученым Malhotra V. M. [8] показано, что при сочетании большого содержания золы-уноса с добавкой суперпластификатора можно получить высокопрочный бетон, характеризующийся низкой проницаемостью, уменьшенным тепловыделением – для крупных колонн и других массивных конструкций. Такие бетоны обладают также очень высокой стойкостью к действию хлоридов и сульфатов. Применение золы-уноса в бетоне в больших количествах отвечает также основным принципам так называемого устойчивого развития (*sustainable development*), основанного на эффективном использовании природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Целью работы является разработка составов, исследование процессов твердения и прочности бетонов с высоким содержанием золы-уноса взамен части портландцемента.

Характеристика исходных материалов. При проведении экспериментальных исследований использованы следующие материалы:

- вяжущее вещество: портландцемент (ПЦ) Балаклеевского комбината СЕМ I-42,5 N;
- заполнители: щебень (Щ) гранитный фракции 5–20 мм; песок (П) кварцевый Краснополянского месторождения ($M_{кр} = 2,2$);

- минеральная добавка: зола-унос (ЗУ) Углегорской ТЭС;
- суперпластификатор (СП) – акрилатный полимер Дунатон SR-3.

Твердение бетонов с высоким содержанием золы-уноса. Для исследования влияния расхода добавки золы-уноса на твердение бетона запроектировано три серии составов со значением водовяжущего отношения $V/(ПЦ+ЗУ) = 0,40; 0,45 \text{ и } 0,50$. При этом в каждой серии предусмотрено по пять составов, в которых замена портландцемента золой составляет соответственно 0; 15; 30; 45 и 60 % (табл. 1).

Таблица 1 – Состав бетонных смесей

Серия	№	ЗУ, %	V/(ПЦ+ЗУ) (В/В)	Расход материалов, кг/м ³					Объем теста вяжущего, л	
				В, л	ПЦ	ЗУ	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	1 000	6,0	347
	2	15			382	67	734	990		355
	3	30			315	134	725	972		365
	4	45			247	202	715	960		374
	5	60			180	269	705	945		382
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

Кинетику твердения бетонов в нормальных условиях исследовали в диапазоне времени от трех до 56 суток после формования. Установлено, что в проектном возрасте (28 суток) максимальное значение предела прочности при сжатии имеют бетоны без золы-уноса (рис. 1). При этом, зависимость прочности от содержания золы-уноса носит линейный характер и описывается уравнением $y = ax - b$.

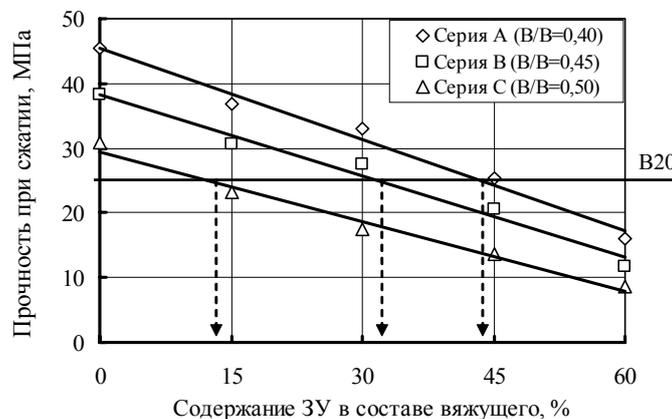


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности при сжатии бетона от содержания золы-уноса в составе вяжущего (28 суток нормального твердения).

Для оценки влияния золы на достижение заданного уровня проектной прочности принята величина, характерная для большей части производимых товарных бетонов – 20 МПа. Исходя из зависимостей, представленных на рис. 1, заданный уровень прочности достигается при содержании золы не более 44 % в бетоне с водовяжущим отношением 0,40. При значении В/В соответственно 0,45 и 0,50 максимальный расход золы не превышает 32 и 14 %.

В то же время известно, что массивные бетонные конструкции используют, в основном, в проектах различных гидротехнических сооружений. Для гидротехнического бетона проектный класс бетона происходит пуццолановая реакция аморфного кремнезема и глинозема золы-уноса с гидроксидом

кальция. При этом образуются низкоосновные гидросиликаты кальция, уплотняющие и упрочняющие микроструктуру бетона. Таким образом, исходя из данных, приведенных на рис. 2, достижение заданной прочности 20 МПа обеспечивается при значительно большем содержании золы в бетонах, которые твердели в течение 56 суток.

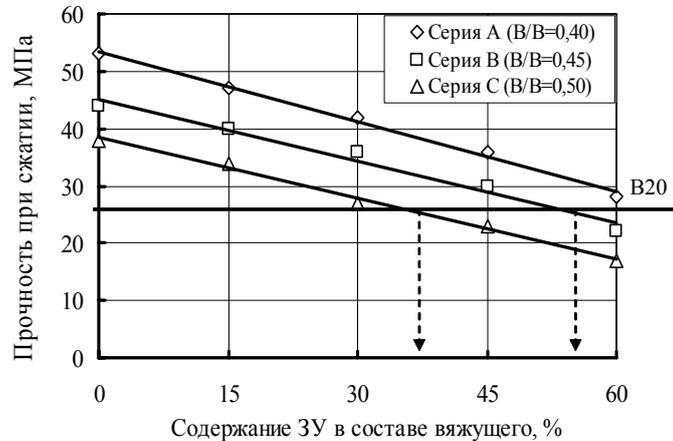


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при сжатии бетона от содержания золы-уноса в составе вяжущего (56 суток нормального твердения).

Замедляющее действие золы-уноса на твердение бетона проявляется особенно в ранние сроки – до семи суток. Так, бетон контрольного состава А-1 (В/В = 0,40; содержание золы-уноса 0 %) достигает предела прочности при сжатии 20 МПа примерно через шесть суток нормального твердения (рис. 3).

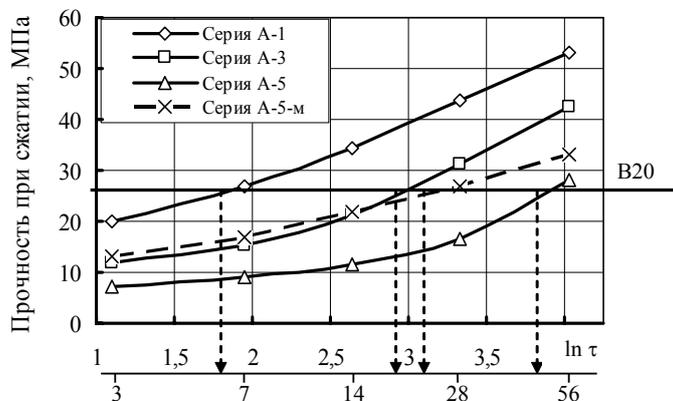


Рисунок 3 – Кинетика роста прочности бетона в нормальных условиях: серия А-5-м: состав бетона серии А-5 с добавкой ускорителя твердения – сульфат натрия (1,5 % от массы вяжущего).

При содержании золы в количестве 30 % взамен портландцемента (состав А-3) такая прочность достигается бетоном только через 18 суток, а при содержании золы 60 % (состав А-5) – через 40–42 суток.

Снизить замедляющее влияние золы на твердение бетона можно путем ее химической активации – при введении в состав бетона добавки ускорителя твердения в виде сульфата натрия. В этом случае твердение бетона ускоряется, и состав А-5 достигает прочности 20 МПа через 22 суток.

Прогнозирование критерия термической трещиностойкости бетонов с высоким содержанием золы-уноса. Несомненный интерес представляет вопрос о том, в какой мере замена обычного портландцемента минеральной добавкой в виде золы-уноса ТЭС повлияет на термическую трещиностойкость бетона. Важно также установить, насколько снижение расхода цемента, уменьшающее тепловыделение бетона, оказывается эффективным в смысле повышения его термической трещиностойкости. Дело в том, что при малых расходах цемента предельная растяжимость бетона может оказаться столь низкой, что, несмотря на малое тепловыделение, трещиностойкость бетона окажется пониженной.

О трещиностойкости бетона как материала можно судить по безразмерной величине критерия термической трещиностойкости [13]:

$$K_T = \frac{\varepsilon_{np} \cdot C \cdot \rho_b}{Q \cdot \alpha},$$

где ε_{np} – предельная растяжимость бетона;
 C – удельная теплоемкость, кДж/кг град.;
 ρ_b – плотность бетона, кг/м³;
 Q – тепловыделение бетона, кДж/м³;
 α – коэффициент линейного температурного расширения.

Тепловыделение бетона к определенному сроку твердения можно рассчитать по формуле:

$$Q_\tau = q_\tau \cdot Ц,$$

где q_τ – удельное тепловыделение цемента в возрасте τ сут;
 $Ц$ – расход цемента, кг/м³.

В свою очередь, для расчета q_τ при использовании портландцемента без минеральных добавок справедливо аддитивное уравнение:

$$q_\tau = a_\tau C_3S + b_\tau C_2S + c_\tau C_3A + d_\tau C_4AF,$$

где C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF – расчетное содержание соответствующих минералов, %;
 $a_\tau, b_\tau, c_\tau, d_\tau$ – доли участия минералов в тепловыделении цемента для возраста $\tau = 7$ суток:
 $C_3S = 4,591; \beta-C_2S = 0,970; C_3A = 8,690; C_4AF = -1,739$.

Вспользуемся данными формулами для расчета коэффициента термической трещиностойкости для двух составов бетона. В первом составе используется портландцемент типа ПЦ-I в количестве 500 кг/м³, в другом – расход цемента составляет 200 кг/м³ и золы-уноса ТЭС 300 кг/м³. При этом примем допущение, что во втором составе при сниженном расходе цемента предельная растяжимость бетона уменьшается незначительно.

Расчеты показывают, что в первом случае прогнозируемое значение коэффициента термической трещиностойкости будет составлять $K_T = 1,44$, а в бетоне с высоким содержанием золы – 3,59 (табл. 2).

Таблица 2 – Расчетные значения коэффициента термической трещиностойкости бетона

Состав бетона	Ц, кг/м ³	ЗУ, кг/м ³	q_7 , кДж/кг	Q_7 , кДж/м ³	K_T
I	500	0	334,1	16 7050	1,44
II	200	300	334,1	66 820	3,59

Большое значение для обеспечения долговечности массивных конструкций имеет соблюдение условия сведения к минимуму температурного градиента между ядром и периферией массива в процессе саморазогрева бетона вследствие экзотермии цемента. При этом распределение температур в бетонном массиве (температурные поля) и поля возникающих температурных напряжений обуславливаются следующими факторами: конструктивными особенностями сооружения (размеры и форма); теплообмен с внешней средой; свойствами бетона, то есть его теплопроводностью, теплоемкостью, температурным расширением, предельной растяжимостью, тепловыделением и др.

Для исследования температурных полей в массивном бетоне сконструирована установка, в которой ядро массива имеет ограниченный теплообмен с внешней средой, а периферия – значительно больший. Мониторинг изменения температуры бетона проводили непосредственно сразу же после укладки и уплотнения бетонной смеси в термоизолированную полиэтиленовую трубу высотой 1,2 м в течение 96 часов. При этом также фиксировали температуру окружающего воздуха, значение которой колебалось в пределах 18–22 °С.

Установлено, что в процессе твердения бетонной смеси состава А-1 (ПЦ = 494 кг/м³, В/В=0,40) максимальный температурный градиент между периферией и ядром составляет 12,5 °С (рис. 4а). При этом максимальная температура бетона в центре трубы +54 °С достигается через 38 часов твердения.

При частичной замене портландцемента золой-уносом ТЭС – состав бетона А-5 (ПЦ = 198 кг/м³, ЗУ = 296 кг/м³; В/В = 0,40) температура бетона при твердении значительно снижается. Максимальная температура бетона в центре трубы +38 °С достигается через 60 часов твердения. При этом максимальный температурный градиент между центром массива и его периферией снижается до величины 6,3 °С.

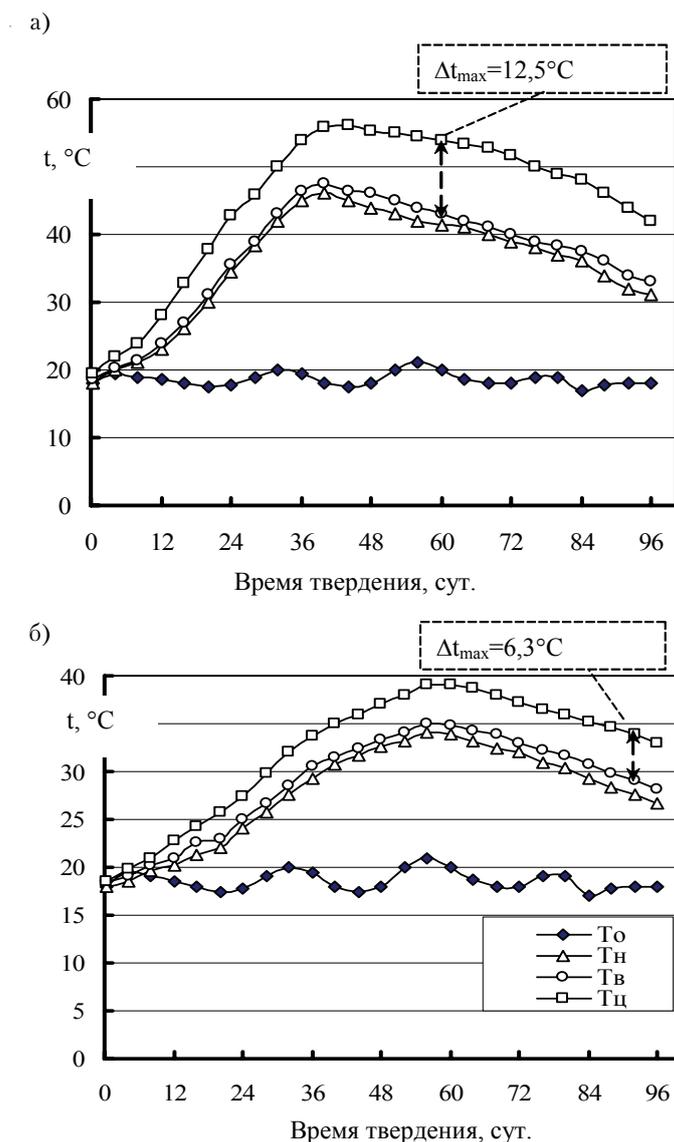


Рисунок 4 – Изменение температуры бетона в процессе твердения: а) состав бетона А-1 (ПЦ=494 кг/м³, В/В=0,40); б) состав бетона А-5 (ПЦ = 198 кг/м³, В/В=0,40).

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что с увеличением содержания золы-уноса взамен портландцемента замедляется набор прочности бетоном, особенно в ранние сроки твердения. В более поздние сроки твердения (56 суток и более) бетоны с высоким содержанием золы-уноса достигают величины нормируемой прочности, что обусловлено пуццолановой реакцией и повышением степени гидратации цемента. Уменьшить замедляющее влияние золы на твердение бетона можно путем ее химической активации – при введении в состав бетона добавки ускорителя твердения в виде сульфата натрия.

2. При замене портландцемента золой-уносом ТЭС до 60 % температура бетона при твердении значительно снижается. Максимальная температура бетона в центре массива +38 °С достигается через 60 часов твердения. При этом максимальный температурный градиент между центром массива и его периферией не превышает 6,3 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aggarwal, V. Concrete Durability through High Volume Fly ash Concrete (HVFC). A Literature review [Текст] / V. Aggarwal, S. M. Gupta, S. N. Sachedeva // Intern. J. of Engineering Science and Technology. – 2010. – Vol. 2(9). – P. 4473–4477.

2. Белякова, Ж. С. Экологические, материаловедческие и технологические аспекты применения зол в бетоне [Текст] / Ж. С. Белякова, Е. Г. Величко, А. Г. Комар // Строительные материалы. – 2001. – № 3. – С. 46–48.
3. Добавки в бетон [Текст] : [справ. пособие] / [В. С. Рамачандран, Р. Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др.]. – М. : Стройиздат, 1988. – 575 с.
4. High-percentage replacement of cement with fly ash for reinforced concrete pipe / C. Berryman, J. Zhu, W. Jensen, M. Tadros // Cem. Concr. Res. – 2005. – Vol. 35. – P. 1088–1091.
5. Li, G. Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO₂ [Текст] / Gengying Li // Cem. Concr. Res. – 2004. – Vol. 34, No 6. – P. 1043–1049.
6. Mehta, P. K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development [Текст] / P. K. Mehta // Intern. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 20–21 May 2004 : Proc. / Edited by Kejin Wang. – Beijing (China) : Iowa State University, 2004. – P. 3–13.
7. Liu, M. Wider Application of Additions in Self-compacting Concrete [Текст] : A thesis for the degree of Doctor of Philosophy / Miao Liu. – London, 2009. – 392 p.
8. Malhotra, V. M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete [Текст] / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Ottawa : Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, Inc., 2002. – 101 p.
9. Malhotra, V. M. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review [Текст] / V. M. Malhotra // Mario Collepardi Symp. on Advances in Concrete Science and Technology, 8 October 1997 : Proc. / Ed. P. K. Mehta. E–Rome (Italy) : [s. n.], 1997. – P. 271–314.
10. Termkhajornkit, P. The fluidity of fly ash-cement paste containing naphthalene sulfonate superplasticizer [Текст] / P. Termkhajornkit, T. Nawa // Cem. Concr. Res. – 2004. – Vol. 34, No 6. – P. 1017–1024.
11. Naik, T. R. Use of industrial by-products in cement-based materials [Текст] / T. R. Naik, R. N. Kraus // Exploiting wastes in concrete : Proceedings International Conference (and Seminars) Held at the University of Dundee, Scotland, U.K. on 6–10 September 1999 / Edited by Ravindra K. Dhir and Trevor G. Jappy. – London : Thomas Telford, 1999. – P. 23–34.
12. Jiang L. Durability of concrete incorporating large volumes of low-quality fly ash [Текст] / L. Jiang, Z. Liu, Y. Ye // Cement and Concrete Research. – 2004. – Vol. 34. – P. 1467–1469.
13. Запорожец, И. Д. Тепловыделение бетона [Текст] / И. Д. Запорожец, С. Д. Окорочков, А. А. Парийский. – Ленинград-Москва : Стройиздат, 1966. – 314 с.

Получено 18.12.2012

М. М. ЗАЙЧЕНКО, О. І. СЕРДЮК
БЕТОНИ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ ЗОЛИ ДЛЯ МАСИВНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто вплив часткової заміни портландцементу мінеральною добавкою у вигляді золи-виносу ТЕС. Встановлено, що із збільшенням вмісту золи-виносу замість портландцементу сповільнюється набір міцності бетоном, особливо в ранні терміни твердження. У більш пізні терміни твердження (56 діб і більше) бетони з високим вмістом золи-виносу досягають величини нормованої міцності, що обумовлено пуцолановою реакцією і підвищенням ступеня гідратації цементу. Зменшити уповільнюючий вплив золи на твердіння бетону можна шляхом її хімічної активації – при введенні до складу бетону добавки прискорювача твердження у вигляді сульфату натрію. При заміні портландцементу золою-виносом ТЕС до 60 % температура бетону при твердненні значно знижується. Максимальна температура бетону в центрі масиву +38 °С досягається через 60 годин твердження. При цьому максимальний температурний градієнт між центром масиву і його периферією не перевищує 6,3 °С.

бетон, портландцемент, зола-виносу, твердження, міцність при стиску, термічне тріщиноутворення

NICKOLAY ZAICHENKO, ALEXANDER SERDUK
HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETES FOR THE MASSIVE REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The influence of partial replacement of Portland cement with mineral supplement in the form of fly ash of thermal power plants has been considered. It has been discovered that with increasing content of fly ash as a partial replacement of Portland the concrete hardening slows, especially at the early stages of hardening. At the later period of hardening (56 days or more) concrete with high fly ash reach value of normalized strength due to the pozzolanic reaction and increasing the degree of hydration of cement. To reduce the

retarding effect of fly ash on concrete hardening chemical activation of fly ash must be conducted – by adding the concrete hardening accelerator in the form of sodium sulfate. When replacing Portland cement with fly ash is up to 60 % the temperature of concrete hardening significantly reduces. The maximum temperature of the concrete in the center of the array +38 °C is reached after 60 hours of curing. The maximum temperature gradient between the center and the periphery of the array does not exceed 6,3 °C.
concrete, Portland cement, fly ash, hardening, compressive strength, thermal cracking

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетони на основі фізико-хімічно модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Сердюк Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології і хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: утилізація відходів промисловості при виробництві будівельних матеріалів та виробів.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе физико-химически модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Сердюк Александр Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: утилизация отходов промышленности при производстве строительных материалов и изделий.

Nickolay Zaichenko – Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department of Technologies of Building Structures, Products and Materials, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes on the base of physical-chemical modified fillers.

Alexander Serduk – Doctor in Engineering, Professor, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: utilization of waste products in production of building materials and products.