

*Д-р техн. наук В. В. Примаченко,  
канд. техн. наук В. В. Мартыненко,  
канд. техн. наук Н. М. Казначеева,  
канд. техн. наук И. Ю. Костырко, Ю. А. Крахмаль,  
канд. техн. наук К. И. Кущенко,  
канд. техн. наук П. П. Криворучко, Т. Г. Тишина  
(ПАО «УКРНИИ ОГНЕУПОРОВ ИМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»,  
г. Харьков, Украина)*

## **Исследование влияния вида и количества высокоглиноземистого цемента на свойства теплоизоляционных бетонов на основе шамотного легковесного заполнителя**

### **Введение**

В ПАО «УКРНИИ ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» проводятся систематические исследования по разработке эффективных теплоизоляционных бетонов с кажущейся плотностью от 0,8 до 1,6 г/см<sup>3</sup> для службы как в окислительных, так и в восстановительных средах [1—8]. Для изготовления этих бетонов используются высокоглиноземистый цемент и различные заполнители: бетоны с микропористым гексаалюминаткальциевым заполнителем (для окислительных и восстановительных сред — до 1600 °С); бетоны с микропористым анортитовым заполнителем (также для окислительных и восстановительных сред — до 1200 °С); бетоны с шамотным легковесным заполнителем (для окислительных сред — до 1200 °С). Подробная информация о бетонах с гексаалюминаткальциевым заполнителем приведена в работах [6; 8], с анортитовым заполнителем — в работах [5; 7]. О бетонах с шамотным легковесным заполнителем приведена только краткая информация в работе [9].

В настоящей статье приведена более подробная информация о разработке в ПАО «УКРНИИ ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» теплоизоляционных бетонов с шамотным легковесным заполнителем с использованием высокоглиноземистого цемента разных видов и количеств.

## Экспериментальная часть

Для проведения исследований использовали следующие сырьевые материалы: шамотный легковесный заполнитель марки ЗШЛ-0,8 класса 3 (среднезернистый) по ТУ У 26.2-00190503-252-2004 производства ООО «Михайловские огнеупоры», высокоглиноземистый цемент марки ВГЦ-73 по ТУ У 26.2-00190503-337:2010 производства ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» и высокоглиноземистый цемент марки Gorkal-70 производства фирмы Gorka Cement Sp. z.o.o. (Республика Польша). Для изготовления бетонных образцов использовали также специальные добавки, вид и количество которых были установлены ранее [5] с целью сохранения значений кажущейся плотности и повышения прочности теплоизоляционных бетонов как после влажного твердения и сушки, так и после обжига. Добавки вводили в опытные бетонные смеси в одинаковом количестве.

Результаты химического анализа основных сырьевых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав основных сырьевых материалов

Наименование материала	Массовая доля, %								
	$\Delta m_{\text{прк}}$	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Заполнитель марки ЗШЛ-0,8	0,32	65,3	30,2	0,54	1,51	0,23	0,46	0,52	0,50
Цемент марки ВГЦ-73	0,22	0,92	75,5	нет	0,35	22,3	н. о.	н. о.	нет
Цемент марки Gorkal-70	0,34	0,23	71,4	0,05	0,13	28,2	нет	н. о.	н. о.

Шамотный легковесный заполнитель марки ЗШЛ-0,8 использовали с насыпной плотностью 0,76 г/см<sup>3</sup>, содержанием фракции 0—5 мм — 96 %.

Высокоглиноземистый цемент марки ВГЦ-73 использовали с удельной поверхностью 5930 см<sup>2</sup>/г и пределом прочности при сжатии 102,0 МПа после 7 суток твердения во влажных условиях. Сроки схватывания цемента составили: начало — 1 ч 50 мин, конец — 5 ч 20 мин. Петрографическим анализом цемента марки ВГЦ-73 установлено, что он состоит из ~92—95 об. % СА<sub>2</sub> и ~3—5 об. % СА, а также содержит следы криптористаллической фазы ~2—3 об. %.

Высокоглиноземистый цемент марки Gorkal-70 использовали с удельной поверхностью 5690 см<sup>2</sup>/г и пределом прочности

при сжатии 78,5 МПа после 7 суток твердения во влажных условиях. Сроки схватывания цемента составили: начало — 20 мин, конец — более 8 ч. По данным петрографического исследования фазовый состав цемента марки Gorkal-70 представлен ~48—52 об. %  $CA_1$ ; ~47—50 об. %  $CA_2$  и ~1—2 об. % стекловидного вещества.

Составы шихт для изготовления опытных бетонных образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Составы шихт для изготовления опытных бетонных образцов

Номер шихты	Массовая доля, %		
	Заполнитель марки ЗШЛ-0,8 с добавками	Цемент марки ВГЦ-73	Цемент марки Gorkal-70
1	60	40	—
2	70	30	—
3	80	20	—
4	60	—	40
5	70	—	30
6	80	—	20

Смеси составляли из компонентов, указанных в табл. 2, в заданном соотношении, затворяли водой и формовали методом трамбования образцы в виде кубов с длиной ребра 50 мм и призм размером 114 × 114 × 65 мм. Влажность масс подбирали индивидуально по удобоукладываемости. Образцы выдерживали во влажных условиях в течение 1, 3 и 7 суток, после чего высушивали в сушильном шкафу при температуре 110 °С до постоянного веса и определяли их свойства. Образцы после 3 суток влажного твердения и сушки обжигали при температуре 1000 °С с выдержкой при максимальной температуре 2 ч и при температуре 1200 °С с выдержкой 5 ч.

Физико-механические свойства определяли по стандартным методикам, фазовый состав — петрографическим методом в иммерсионных препаратах, теплопроводность ( $\lambda$ ) — методом стационарного потока на изготовленных образцах-призмах.

## Результаты и их обсуждение

Свойства образцов приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что кажущаяся плотность и предел прочности при сжатии как высушенных, так и обожженных

Таблица 3

## Свойства опытных бетонных образцов

Номер шихты	Вид цемента	Содржанние цемента в шихте, %	Время влажно-го твердения, сутки	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>			Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>			Линейная усадка, %, после обжига при температуре, °С		Массовая доля, %		Теплопроводность, Вт/(м·К), при средней температуре, °С				
				после сушки при 110 °С	после обжига при температуре, °С	после сушки при 110 °С	после сушки при 110 °С	после обжига при температуре, °С	после обжига при температуре, °С	после обжига при температуре, °С	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	350	650				
1		40	1	1,18	—	—	4,2	—	—	1000	1200	1000	1200	—	—	—		
				3	1,26	1,12	1,13	7,0	4,4	4,0	4,0	1,1	1,8	—	—	0,361	0,403	
				7	1,31	—	—	12,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	ВПЦ-73	30	1	1,11	—	—	2,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				3	1,15	1,06	1,07	4,0	2,4	2,9	0,8	1,2	—	—	—	—	0,400	
				7	1,17	—	—	6,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3		20	1	1,01	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				3	1,03	0,98	0,99	1,7	1,3	2,4	0,9	1,7	—	—	—	—	н.о.	
				7	1,04	—	—	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Gorkal-70	40	1	1,26	—	—	8,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				3	1,26	1,10	1,09	9,8	5,9	5,0	0,8	1,1	—	—	—	—	н.о.	
				7	1,26	—	—	10,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5		30	1	1,12	—	—	5,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				3	1,13	1,03	1,01	6,3	3,9	4,1	0,8	1,6	—	—	—	—	0,310	0,365
				7	1,17	—	—	7,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6		20	1	1,03	—	—	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				3	1,06	0,98	0,98	5,1	3,5	3,4	0,7	0,9	—	—	—	—	0,282	0,348
				7	1,07	—	—	6,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

образцов практически не зависят от вида цемента. Также видно, что уменьшение количества цемента от 40 до 30 и 20 %, несмотря на то, что приводит к закономерному существенному снижению кажущейся плотности и прочности высушенных и обожженных образцов, все же возможно получение с самым низким исследованным содержанием цемента (20 %) и использованием промышленного шамотного легковесного заполнителя после 7 суток твердения теплоизоляционного бетона с кажущейся плотностью 1,0—1,1 г/см<sup>3</sup> и пределом прочности при сжатии 2,3—6,0 Н/мм<sup>2</sup>; при содержании цемента 30 % — 1,2 г/см<sup>3</sup> и 6,3—7,4 Н/мм<sup>2</sup>; при содержании цемента 40 % — 1,3 г/см<sup>3</sup> и 10,4—12,7 Н/мм<sup>2</sup>. Учитывая значения линейной усадки после обжига при температуре 1200 °С, которая для всех полученных бетонов составляет менее 2 % (это значение усадки соответствует ГОСТ 20190—90 [10]), они являются пригодными для службы при температурах до 1200 °С.

Для сопоставления выполнены петрографические исследования образцов из шихт 2 и 5 с одинаковым содержанием цемента (30 %) марок ВГЦ-73 и Gorkal-70, обожженных при температуре 1200 °С. По микроструктуре они практически не отличаются друг от друга. Вокруг некоторых зерен шамота отмечаются тонкие криптористаллические каемки шириной менее 4 мкм. Минеральный состав образцов практически полностью соответствует минеральным составам шамотного заполнителя и соответствующего цемента. Происходит незначительное взаимодействие высокоглиноземистого цемента обеих марок с шамотом, за счет чего количество цемента уменьшается на 1—3 об. %.

## Заключение

Выполнены исследования влияния вида и количества высокоглиноземистого цемента марок ВГЦ-73 и Gorkal-70 на свойства теплоизоляционных бетонов на основе промышленного шамотного легковесного заполнителя. Установлено, что свойства бетонов практически не зависят от вида использованного цемента при равном его количестве.

Разработаны теплоизоляционные бетоны с кажущейся плотностью 1,0—1,3 г/см<sup>3</sup> с массовой долей Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и СаО соответственно 42,0—52,8 % и 6,4—12,2 % на основе промышленного шамотного легковесного заполнителя и высокоглиноземистого цемента марок ВГЦ-73 и Gorkal-70. Разработанные бетоны пригодны для службы при температурах до 1200 °С, а их производство освоено в ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО».

## Библиографический список

1. Современные огнеупорные легковесные изделия и бетоны с микропористой структурой / [В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Н. М. Казначеева, И. Ю. Костырко] // *Металлургическая и горнорудная пром-сть.* — 2009. — № 2. — С. 93—96.
2. New types of low thermal conductive refractories with a microporous structure for thermal sets / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, L. A. Derghaputskaya [etc.] // *Refractory materials: manufacturing, methods of testing, application in metallurgical processes: Abstracts XI-th Intern. Conf., 17—20 may 2005, Wisla-Jawornik.* — P. 53 (54).
3. Влияние технологических параметров на свойства и микроструктуру анортитового легковеса / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Л. А. Дергапуцкая [и др.] // *Зб. наук. пр. ВАТ «УкрНДІВ ім. А. С. Бережного».* — Х. : Каравела, 2002. — № 102. — С. 18—25.
4. Исследование устойчивости гексаалюминаткальциевых легковесов к углеродсодержащей среде при высоких температурах / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Л. А. Дергапуцкая [и др.] // *Зб. наук. пр. ВАТ «УкрНДІВ ім. А. С. Бережного».* — Х. : Каравела, 2005. — № 105. — С. 14—19.
5. High-performance heat insulating castable with microporous anorthite aggregate / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, L. A. Derghaputskaya [etc.] // *Proceedings of Unified International Technical Conference on Refractories «Unitec 2007», Dresden, Germany, 18—21.09.07.* — P. 125—129.
6. Влияние вида глинозема на свойства гексаалюминаткальциевого заполнителя и теплоизоляционного бетона на его основе / [В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Н. М. Казначеева, В. В. Рубанова] // *Зб. наук. пр. ВАТ «УкрНДІВогнетривів ім. А. С. Бережного».* — Х. : Каравела, 2008. — № 108. — С. 23—30.
7. Исследование фазового состава и физико-механических свойств анортитовых бетонов после термообработки в углеродсодержащей среде / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Н. М. Казначеева [и др.] // *Зб. наук. пр. ВАТ «УкрНДІВ ім. А. С. Бережного».* — Х. : Каравела, 2010. — № 110. — С. 194—201.
8. Research of properties of insulating castable based on microporous calcium hexaluminate aggregate after thermal treatment in carbonaceous atmosphere / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, N. M. Kaznacheeva [etc.] // *Proceedings of Unified International Technical Conference on Refractories «Unitec 2011», 12<sup>th</sup> Biennial Worldwide Congress, Kyoto, Japan, 30.10—02.11.11.* — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. — 1-A-9.
9. Теплоизоляционные бетоны на основе шамотного легковесного заполнителя и высокоглиноземистого цемента / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Н. М. Казначеева [и др.] // *Технология и применение огнеупоров и техн. керамики в пром-сти : междунар. науч.-технич. конф., г. Харьков, 16—17 апр. 2013 г. : тез. докл.* — Х. : Оригинал, 2013. — С. 18—19.
10. Бетоны жаростойкие. Технические условия: ГОСТ 20910—90. — [Действует с 1991-07-01] — М. : Изд-во стандартов, 1991. — 23 с. — (Межгосударственный стандарт).

*Рецензент к. т. н. Бабкина Л. А.*