

**Гавшина Олеся Викторовна**

аспирант

**Локтионов Виктор Алексеевич**

аспирант

**Яшкина Светлана Юрьевна**

аспирант

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г. Шухова»

г. Белгород, Белгородская область

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЦЕМЕНТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ НИЗКОЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ**

**Аннотация:** в статье приведены результаты свойств низкоцементных бетонов в зависимости от содержания цементного вяжущего. В ходе исследований определен оптимальный состав низкоцементных бетонов для формирования путем вибролитья.

**Ключевые слова:** корунд, глинозем, низкоцементные бетоны, композиционные материалы, огнеупоры, керамобетоны, прочность, плотность.

Прогресс в области гидравлически твердеющих огнеупорных бетонов в значительной мере определен соответствующими достижениями в области создания новых цементов и повышения их свойств. Важным этапом при этом явилась разработка и применение высокоглиноземистых цементов (фирма «Lafarge», Франция) [1; 2]. Однако традиционные огнеупорные бетоны гидратационного твердения, которые содержат значительное количество высокоглиноземистого цемента – ВГЦ (содержание  $Al_2O_3 > 70\%$ ), характеризуются значительными недостатками. Роль вяжущего сводится к обеспечению необходимой транспортной монтажной прочности бетонов после твердения и сушки. При последующем нагреве до температур, предшествующих спеканию, в вяжущем, как правило, протекают необратимые деструктивные процессы. С учетом того, что

в структуре бетона вяжущее совместно с тонкомолотыми добавками является матричной (непрерывной) фазой, отмечается существенное понижение термомеханических характеристик материала. Поэтому основным направлением в совершенствовании известных и создании новых огнеупорных бетонов является предельно возможное снижение содержания в них традиционных (например, высокоглиноземистых) вяжущих (цементов) или получение из без обычных традиционных вяжущих.

Цель создания новых как бесцементных, так и низкоцементных огнеупорных бетонов состояла в том, чтобы уменьшить или устранить недостатки традиционных огнеупорных бетонов, например, на основе ВГЦ. Содержание последнего обычно достигало 25–35%, что обуславливало такие недостатки бетонов, как высокая влажность бетонной смеси, высокая пористость и низкая прочность материала. Традиционные огнеупорные бетоны характеризуются также низкими термомеханическими и эксплуатационными характеристиками.

Таким образом, задача состояла в том, чтобы:

- уменьшить содержание цемента;
- уменьшить влажность бетонной смеси;
- улучшить технологичность смеси;
- улучшить структуру бетона, а также его термические, физические и эксплуатационные свойства [7; 3].

В последние 20 – 25 лет наметилось несколько направлений в разработке и применении более эффективных огнеупорных бетонов. Одно из них, касающееся бетонов гидратационного твердения – существенное снижение содержания высокоглиноземистого цемента, что достигается, прежде всего, разработкой комплексных типов связующих, у которых основная часть цемента заменена высокодисперсными или ультрадисперсными порошками или коллоидной связкой. Данные бетоны получили название низкоцементных [4–6].

Матричная (вяжущая) система бетонов кроме ВГЦ содержит полидисперсные порошки, например, глинозема или шпинели ( $0,1 - 30 \div 40$  мкм),

ультрадисперсный  $\text{SiO}_2$  (микрокремнезем) и разнообразные добавки, регулирующие реотехнологические свойства [8].

Для определения свойств образцов корундового низкоцементного бетона, методом вибролитья, были сформированы составы образцов кубов (3x3 см), с разным содержанием вяжущего.

Образцы подвергались термообработке при температурах 100 и 1000°C. Полученные данные предоставлены в табл. 1.

Таблица 1

## Свойства образцов

Содержание цемента, %	Содержание CaO, %	Водопоглощение, %		Пористость, %		Плотность, %		Прочность при сжатии, %		W, %
		1000°C	100°C	1000°C	100°C	1000°C	100°C	1000°C	100°C	
0,5	0,15	7,64	–	21,45	–	3,03	–	–	–	8,7
1	0,3	8,27	–	23,37	–	3,1	–	–	–	8,78
3	0,9	8,27	8,41	23,81	23,86	3,12	6,06	2,04	1,43	9
5	1,5	8,58	7,3	24,76	21,38	3,11	3,14	19,65	13,82	9,14
10	3	8,43	7,02	23,89	20,44	3,1	3,12	40,21	25	9,44
20	6	9,58	8,25	25,95	22,54	3	2,95	30,78	24,18	9,82
30	18	10,78	8,47	27,52	22,01	2,87	2,82	23,35	36,63	11,46

В таблице не указаны данные образцов концентрации 0,5% (0,15 CaO) и 1% (0,3 CaO), так как после термообработки при 1000 °C они разрушились. Остальные полноценно прошли назначенные испытания.

По данным приведенным в табл. 1, был построен график влажности составов и диаграммы основных физики – механических характеристик, с содержанием вяжущего, в пересчете на CaO (0,15–9%), которые изображены на рис. 1–5.



Рис. 1. Зависимость влажности массы от количества добавляемого цемента

Увеличение количества цемента, содержащееся в вяжущем, влечет за собой увеличение содержания CaO, при этом также увеличивая влажность готовых масс от 8,7% до 11,5%. Из анализа приведенного графика видно, что состав, содержащий 10% цемента, будет иметь формовочную влажность около 9,5% цемента.

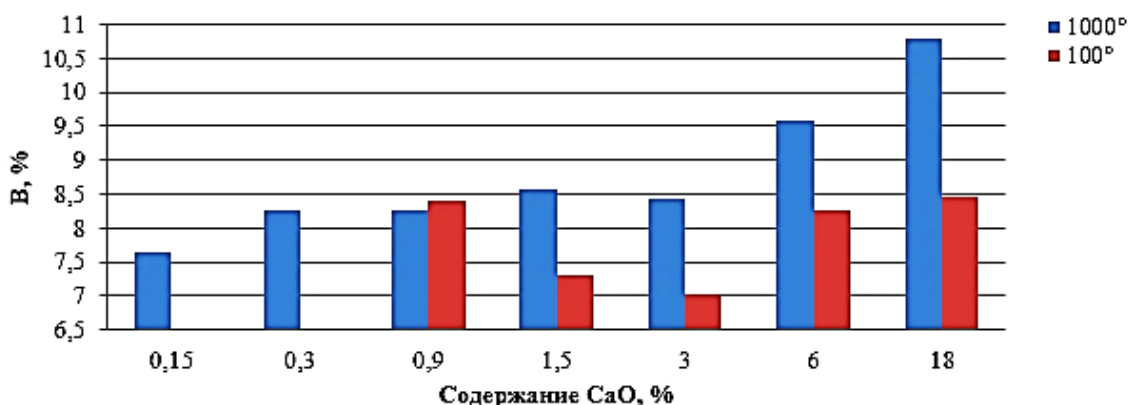


Рис. 2. Диаграмма значений водопоглощения образцов

Из диаграммы, приведенной на рис. 2 видно, как показания составов, прошедших термообработку при 1000 °C, возрастают. Наибольшим значением водопоглощения характеризуется образцы равные 10,78% для суспензии 18% CaO. Данные образцов подвергавшиеся 100 °C, наименьшее значение 7% водопоглощения состава с 3% CaO.

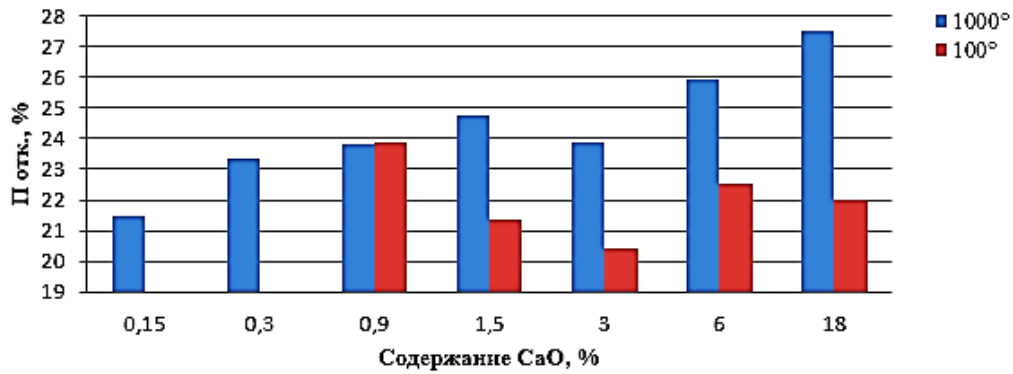


Рис. 3. Диаграмма значений открытой пористости образцов

На диаграмме видно (рис. 3), что пористость изделий, прошедших термообработку при 1000°C, растет с увеличением содержания цемента. Наиболее оптимальным составом, в обеих температурах, является 0,9%. В остальных составах значение пористости составляет 20–26%.

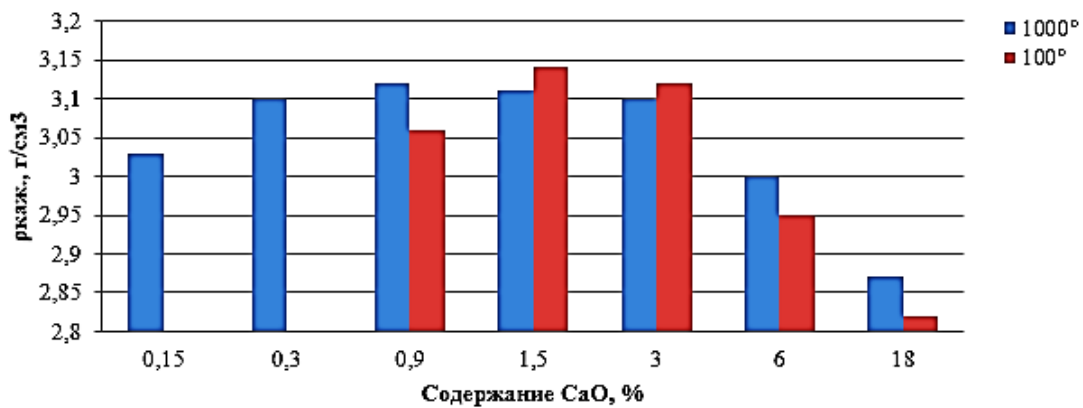


Рис. 4. Диаграмма значений кажущейся плотности образцов

Из приведенной диаграммы (рис. 4) видно, что плотность изделий напрямую зависит от процентного состава СаО и содержания корунда. Наибольшей плотностью характеризуются образцы с 0,9%, 1,5% и 3% содержанием вяжущего, значения находятся в интервале 3,1–3,14 г/см<sup>3</sup>. Плотность же образца, содержащего 9% СаО, имеет наименьшие показатели 2,82–2,87 г/см<sup>3</sup>, так как плотность цемента меньше плотности корунда, следовательно, чем больше процентного состава цемента, тем меньше плотность.

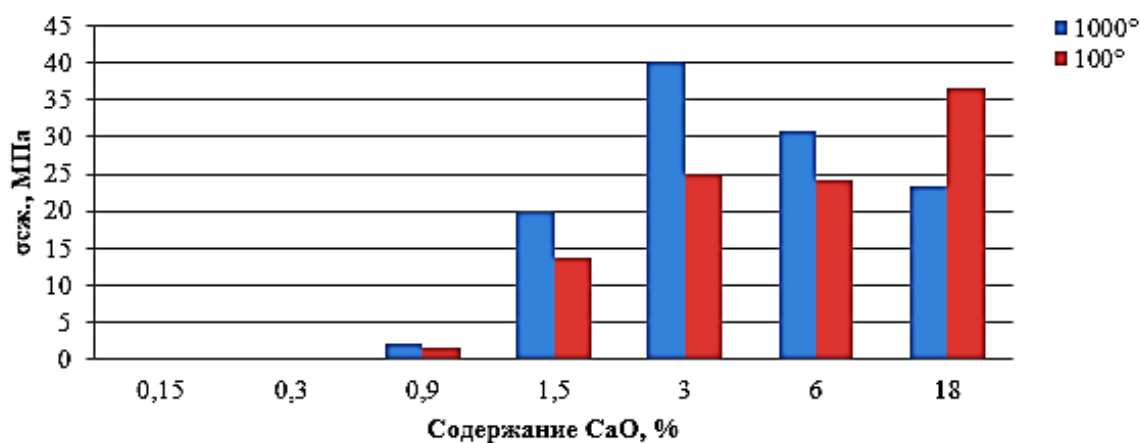


Рис 5. Диаграмма значений и прочности на сжатие образцов

При термообработке разрушаются химические связи в цементе и происходит разупрочнение материала (происходит дегидратация цемента). Это объясняет снижение прочности у образцов с более высоким содержанием вводимого в массу цемента.

На диаграмме (рис. 5) видно, что для составов с большим процентным содержанием цемента, характерно увеличение предела прочности при сжатии с увеличением содержания в них вяжущего компонента при сушке 100С, но значительно снижается прочность при термообработке на 1000С. Так значение прочности образцов с 18% содержанием СаО намного превышает прочностные характеристики состава с 0,9% при сушке на 100С. Но большее введение в массу цемента отрицательно сказывается на прочности при термообработке 1000С. Оптимальное содержание СаО достигает 3%, что подтвердилось проведенными исследованиями. Химическое превращение при высоких температурах у такого состава не несет кардинально разрушающего эффекта.

Таким образом, по результатам исследований физико-механических характеристик экспериментальных составов, подвергнутых термообработке при различной температуре, был определен оптимальный состав низкоцементных бетонов для вибрولитья с 3% содержанием СаО. Данный состав имеет следующие характеристики после термообработки при 1000°C, в табл. 2.

## Свойства образцов оптимального состава

Содержание цемента, %	Открытая пористость ( $P_{отк}$ ), %	Кажущаяся плотность ( $\rho_{каж}$ ), г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ), МПа
10	24	3,1	40

**Список литературы**

1. Banerjee S. Monolithic Refractories. – Singapore – New Jersey – London – Hong-Kong, World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., 1998.
2. Feldman R.F., Ramachandran V.S. Characters of hydration of 3 CaO \* A12O3 // American ceramic soc. 1966. №5. P. 268–273.
3. Jshikawa M., Taoka K. Energy and Resource Saving and Dusty Environment in Monolithic Refractories // Taikabutsu-Refractories. 2000. V. 52. №4. P. 234–239.
4. Огнеупорные материалы на основе искусственных керамических вяжущих суспензий карбидокремниевого состава / Е.А. Дороганов [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – №4. – С. 156–160.
5. Зуев А.С. Применение искусственных керамических вяжущих на основе термоактивированного высокоглиноземистого сырья в технологии полусухого формования / А.С. Зуев, Е.И. Евтушенко, В.А. Дороганов // Новые огнеупоры. – 2012. – №4. – С. 17–20.
6. Пивинский Ю.Е. Огнеупорные бетоны нового поколения. Низкоцементные бетоны, наливные вибрационные тиксотропные огнеупорные массы // Огнеупоры. – 1992. – 7. – С. 12–21.
7. Сербезов С.А. Неформуваниогнеупорниматериали: Справочник. – София, 2001. – 638 с.
8. Стрелов К.К. Технология огнеупоров / К.К. Стрелов, И.Д. Кощев, П.С. Мамкин. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Metallurgy, 1988. – 376 с.