

Алфимова Н. И., канд. техн. наук, доц.,  
Шаповалов Н. Н., студент,  
Абросимова О. С., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ\*

alfimovan@mail.ru

*В настоящее время по объемам потребления силикатный кирпич занимает второе место среди мелкоштучных стеновых материалов, однако по ряду свойств он уступает керамическому. Повысить качество материалов автоклавного твердения можно путем домола кварцевого песка или использования сырья с изначально высокой удельной поверхностью, такого как отходы производства керамзита.*

*В ходе исследований установлено, что частичная замена кварцевого песка как заполнителя в составе силикатной смеси на отходы производства керамзита способствует образованию прочных сростков из микро- и субмикрорекристаллических гидросиликатов кальция, имеющих высокую дисперсность и большую поверхность соприкосновения, обеспечивающих хорошую адгезию к зернам заполнителя. Все это в свою очередь приводит к 100 %-му приросту прочности и улучшению эксплуатационных характеристик конечных изделий.*

**Ключевые слова:** силикатный кирпич, отходы производства керамзита, техногенное сырье, морозостойкость, воздухоустойчивость, водостойкость.

Силикатный кирпич в РФ производится более чем на 100 заводах и в настоящее время, несмотря на появления новых строительных материалов, по объемам потребления занимает второе место после керамического [1–3].

Согласно ближайшим прогнозам [2, 4] он не только сохранит в будущем свою рыночную нишу, но его производство получит дальнейшее развитие на современном технологическом уровне. Однако это потребует от производителей переход на новые технологии и внедрение различных решений [5–11], способствующих повышению качества и конкурентоспособности существующей продукции.

Одним из способов повышения качества силикатного кирпича является введения в его состав домолотого кварцевого песка. Однако данная операция является неоправданной с позиции энергозатрат, в связи с чем, актуальным становится использование компонентов, изначально имеющих высокую удельную поверхность, таких, как отходы производства керамзитового гравия.

Рассматриваемые отходы – это алюмосиликатные техногенные образования, которые представлены двумя видами тонкодисперсного сырья с различной термической историей. Первый вид образуется на стадии сушки гранул (пыль, осаждающаяся на электрофильтрах) при температуре 400–500 °С (КПэ), второй – на стадии сортировки керамзитового гравия после обжига при температуре 1130–1200 °С (КПс).

Ранее было установлено [12], что примене-

нии данного вида сырья при производстве силикатных автоклавных материалов в конечных изделиях формируется плотная матрица, созданию которой способствует образование прочных сростков из микро- и субмикрорекристаллических гидросиликатов кальция, имеющих высокую дисперсность и большую поверхность соприкосновения, обеспечивающих хорошую адгезию к зернам заполнителя. Все это способствует приросту прочности на 100 %.

Оптимизация структуры новообразований за счет введения в силикатную систему отходов производства керамзита не могла не отразиться на эксплуатационных характеристиках конечных изделий.

Согласно результатам по испытанию на воздухоустойчивость (табл. 1), контрольные образцы, изготовленные по традиционной рецептуре, после 100 циклов попеременного увлажнения-высушивания имеют 18,1 % потерь прочности, в то время как максимальные потери прочности для образцов с частичной заменой кварцевого песка на отходы производства керамзитового гравия составили 14,3 %, что является вполне допустимым показателем. Необходимо также отметить, что при использовании керамзитовой пыли с электрофильтров прочность образцов снизилась значительно меньше, а в некоторых случаях наблюдался прирост. Это можно объяснить наличием в их составе высокоосновных гидросиликатов кальция, которые являются более стойкими к воздействию попеременного увлажнения-высушивания.

Таблица 1

## Испытания на водостойкость образцов силикатных изделий

Вид заполнителя	Содержание КП, % Содержание СаО <sub>акт.</sub> , масс. %	Время изотермической выдержки, ч Давление автоклавирования, атм	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при сжатии и процент потери прочности после:			
				50 циклов		100 циклов	
				МПа	%	МПа	%
Кварцевый песок*	$\frac{0^*}{10}$	$\frac{6}{10}$	16,5	15,03	-8,9	13,51	-18,1
Кварцевый песок + КПэ	$\frac{25}{8}$	$\frac{6}{6}$	31,2	32,20	+3,2	29,89	-4,2
	$\frac{15}{6}$	$\frac{4}{6}$	16,9	18,58	+9,9	16,68	+1,3
Кварцевый песок + КПс	$\frac{25}{8}$	$\frac{6}{6}$	27,8	26,97	-3,0	24,88	-10,5
	$\frac{15}{6}$	$\frac{4}{6}$	16,3	15,18	-6,9	13,67	-14,3

\* Контрольный образец, изготовленный по традиционной рецептуре

Данные, полученные после испытания образцов на водостойкость показали, что силикатные материалы, изготовленные с использовани-

ем отходов производства керамзитового гравия после двух лет пребывания в воде теряют от 0 до 4 % от первоначальной прочности (табл. 2).

Таблица 2

## Водостойкость образцов силикатных изделий

Рецептурно-технологические параметры и механические свойства	Кварцевый песок	Кварцевый песок + КПэ		Кварцевый песок + КПс		
		25	15	25	15	
Содержание КП, %	–	25	15	25	15	
Содержание СаО <sub>акт.</sub> , масс. %	10	8	6	8	6	
Время изотермической выдержки, ч	6	6	4	6	4	
Давление автоклавирования, атм.	10	6	6	6	6	
Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа	11,7	25,3	16,6	23,9	12,6	
Коэффициент размягчения, МПа	0,71	0,81	0,98	0,86	0,77	
Предел прочности при сжатии после:	1 год	$\frac{11,2}{-4,27}$	$\frac{25,0}{-1,18}$	$\frac{16,8}{+1,20}$	$\frac{23,7}{-0,84}$	$\frac{12,2}{-3,17}$
	2 год	$\frac{11,0}{-5,98}$	$\frac{24,9}{-1,58}$	$\frac{16,6}{0}$	$\frac{23,6}{-1,26}$	$\frac{12,1}{-4,0}$

Необходимо отметить, что у образцов с 15 %-м содержанием керамзитовой пыли с электрофильтров наблюдается незначительный прирост прочности после года выдерживания в воде, что, возможно, обусловлено гидравлическими свойствами полученного материала.

Испытания на морозостойкость полученных образцов показали, что частичная замена кварцевого песка на отходы производства керамзитового гравия, благодаря их высокой дисперсности, ведет к повышению плотности и прочности изделий (табл. 2). Вследствие этого в структуре силикатного кирпича формируется большое количество микрокапилляров, в которых вода не замерзает, что значительно повышает его морозостойкость.

У состава № 4 после 15 циклов попеременного замораживания-оттаивания прочность уве-

личилась на 45,6 %. Данный образец был получен при сокращении длительности изотермической выдержки на 2 ч и давления автоклавирования на 4 атм. В таких условиях в большом количестве образуются высокоосновные гидросиликаты кальция, которые отличаются пониженной прочностью в сравнении с низкоосновными, однако имеют высокие показатели морозо- и водостойкости.

Прирост прочности на 30,1 и 25,0 % у составов № 1 и 2 можно также объяснить наличием в их составе высокоосновных гидросиликатов кальция, которые (исходя из высокой начальной прочности образцов) образовались в процессе испытания на морозостойкость при увлажнении за счет взаимодействия непрореагировавших во время автоклавной обработки керамзитовой пыли и извести.

Таблица 3

**Морозостойкость силикатных изделий**

№ п/п.	Количество КП, %	Содержание СаО <sub>ак</sub> мас. %	Длительность изотермической выдержки, ч	Давление автоклавирования, атм.	Предел прочности при сжатии в естественном состоянии, МПа	Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа	Коэффициент размягчения	Предел прочности при сжатии и его процентное изменение после попеременного замораживания-оттаивания							
								15 циклов		25 циклов		35 циклов		50 циклов	
								МПа	%	МПа	%	МПа	%	МПа	%
<b>Составы с керамзитовой пылью с электрофильтров</b>															
1	25	8	6	6	31,2	25,3	0,81	40,6	+30,1	38,4	+23,0	35,7	+14,4	31,7	+1,6
2	25	4	6	6	25,2	22,4	0,89	31,5	+25,0	29,2	+15,9	25,8	+2,4	23,2	-7,9
3	15	8	2	8	21,1	15,0	0,71	22,2	+5,2	20,6	-2,4	19,5	-7,6	17,8	-15,6
4	15	6	4	6	16,9	16,6	0,98	24,6	+45,6	23,3	+37,9	21,8	+29,0	17,8	+5,3
<b>Составы с керамзитовой пылью с сортировки</b>															
5	25	8	6	6	27,8	23,9	0,86	32,6	+1,20	30,2	+1,08	26,3	-5,7	23,6	-12,5
6	25	4	2	6	15,6	11,5	0,74	14,9	-4,5	13,9	-10,9	11,4	-26,9 <sup>1</sup>	-	-
7	15	6	4	6	16,3	12,6	0,77	16,4	-0,6	15,7	-3,7	14,1	-13,5	13,3	-18,3
8	15	4	2	8	14,1	9,9	0,70	13,0	-7,8	12,0	-14,9	9,8	-30,5 <sup>1</sup>	-	-

Потери прочности превышают требования ГОСТ 379-95. Кирпич и камни силикатные

С целью выявления комплексного воздействия агрессивных факторов окружающей среды на физико-механические характеристики разработанных материалов была заформована серия образцов, которая выдерживалась на открытом воздухе в течение года. Анализ полученных результатов показал, что со временем происходит уплотнение образцов силикатных материалов, связанное с процессом карбонизации непрореагировавшей извести (рис. 1, а). Минимальное увеличение средней плотности после 6 мес выдерживания на открытом воздухе наблюдалось у образцов, изготовленных с использованием отходов производства керамзита с электрофиль-

тров, максимальное – у контрольных образцов, полученных по традиционной рецептуре и технологии. Это объясняется большей начальной средней плотностью образцов, изготовленных с использованием керамзитовой пыли, что способствует замедлению интенсивности процесса проникновения CO<sub>2</sub> в толщу композита, а также меньшим содержанием непрореагировавшей в процессе автоклавной обработки Са(ОН)<sub>2</sub> в данных образцах. Необходимо отметить, что с течением времени за счет уплотнения верхних слоев материала, препятствующих проникновению углекислоты внутрь композита, процесс нарастания плотности затухает.

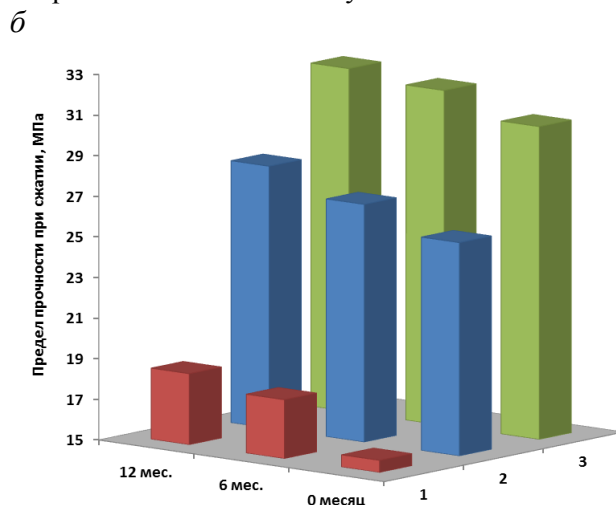
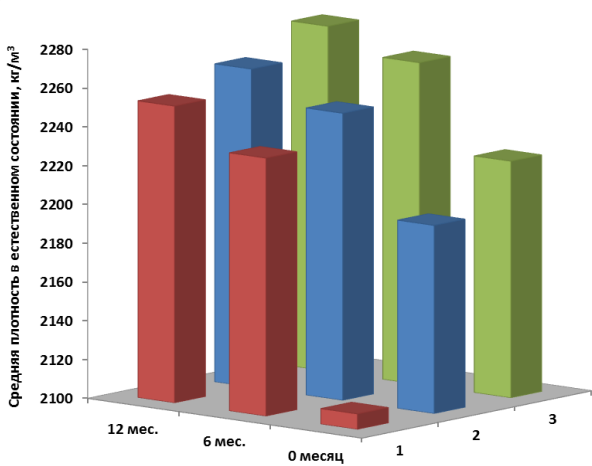


Рис. 1. Изменение во времени средней плотности (а) и предела прочности при сжатии (б) силикатных образцов<sup>1</sup>: 1 – контрольные; 2 – с 25 % КПс; 3 – с 25 % КПз

<sup>1</sup>Указаны средняя плотность и предел прочности при сжатии в естественном состоянии.

Наравне с увеличением средней плотности также происходит незначительное увеличение предела прочности при сжатии (рис. 1, б). Максимальный прирост соответствует контрольным образцам, изготовленным с применением традиционной рецептуры и режима.

Следует также отметить, что после года хранения на открытом воздухе видимых повреждений обнаружено не было, цвет композитов, изготовленных с использованием керамзитовой пыли не изменился.

Как известно, по способности противостоять высоким температурам силикатный кирпич значительно уступает керамическому кирпичу. В связи с этим было изучено поведение силикатных материалов, изготовленных с использованием отходов производства керамзита при высокотемпературном воздействии.

Помимо повышения физико-механических характеристик, введение керамзитовой пыли положительно сказывается на внешнем виде изделий – они приобретают стойкую однородную окраску, интенсивность которой зависит от соотношения компонентов в смеси и не изменяется в процессе автоклавирования.

Таким образом, установлена возможность улучшения эксплуатационных характеристик силикатных материалов за счет использования отходов производства керамзита, что позволит расширить области использования данного вида изделия и повысить его конкурентоспособность.

*\*Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов А.А. Анализ состояния российского рынка силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. №9. С. 4–5.
2. Понамарев И.Г. Российский рынок силикатного кирпича // Строительные материалы. 2009. №9. С. 4–11.
3. Бажитов С.В. Конкуренция между кирпичным строительством и новыми видами строительных технологий // Строительные материалы. 2008. №11. С. 62–63.

4. Барина Л.С., Куприянов Л.И., Миронов В.В. Силикатный кирпич в России: современное состояние и перспективы развития // Строительные материалы. 2008. №11. С. 4–9.

5. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Повышение эффективности производства автоклавных материалов // Известия вузов. Строительство. 2008. № 9. С. 10–16.

6. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Алфимов С.И. Силикатные материалы на основе вскрышных пород архангельской алмазоносной провинции // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Новочеркасск, 2006. № 3. С. 67–70.

7. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Силикатные автоклавные материалы с использованием нанодисперсного сырья // Строительные материалы. 2008. № 11. С. 42–43.

8. Строкова В.В., Череватова А.В., Нелюбова В.В. Силикатные автоклавные материалы на основе высококонцентрированной вяжущей суспензии // Строительные материалы. 2007. № 10. С. 10–16.

9. Нелюбова В.В. Повышение эффективности производства силикатных автоклавных материалов с применением нанодисперсного модификатора // Строительные материалы. 2008. № 9. С. 89–92.

10. Особенности структурообразования окрашенных силикатных материалов в присутствии наноструктурированного вяжущего / В.В. Нелюбова, В.В. Строкова, А.В. Череватова, Т.Ю. Гончарова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 28–32

11. Силикатные материалы автоклавного твердения с наноструктурированным модификатором в условиях высокотемпературных воздействий / В.В. Нелюбова, И.В. Жерновский, В.В. Строкова, М.В. Безродных // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 8–10.

12. Прессованные материалы автоклавного твердения с использованием отходов производства керамзита / В.В. Строкова, Н.И. Алфимова, В.С. Черкасов, Н.Н. Шаповалов // Строительные материалы. 2012. № 3. С. 14–15.