

Лесовик В. С., д-р техн. наук, проф.,  
Мосьпан А. В., аспирант,  
Беленцов Ю. А., д-р техн. наук, проф.,  
Ряпухин Н. В., канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СИЛИКАТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ГРАНУЛИРОВАННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ ДЛЯ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА\*

naukavs@mail.ru

*Показано, что использование гранул, полученных на основе природных аморфных кремнеземсодержащих материалов и гидроксидов щелочных металлов в качестве заполнителей для силикатных бетонов, позволяет получать стеновые материалы пониженной плотности и теплопроводности. Они имеют замкнутую пористость и нечеткую границу раздела между заполнителем и матрицей, могут применяться в сейсмостойком строительстве и позволяют существенно облегчить вес строительных конструкций без снижения их теплоизолирующих и прочностных характеристик. За счет высокой адгезии к кладочным растворам рекомендуется их использование для сейсмостойкого строительства.*

**Ключевые слова:** силикатный материал, активный гранулированный заполнитель, теплопроводность, стеновой материал, сейсмостойкое строительство.

Известно, что кладка стен из каменных материалов и кирпича не обладает достаточным запасом прочности и несущей способностью, поскольку является хрупким материалом, не способным к развитию пластических деформаций; силикатный кирпич имеет слабую адгезию к кладочным растворам. Поэтому даже незначительные перегрузки, а этот фактор типичен при любом землетрясении, весьма опасны для кладки стен из штучных материалов. При этом, если для стен зданий, возводимых в обычных регионах РФ, имеются отдельные рекомендации и нормативы по их проектированию [1, 2], то в действующем СНиП [3] конструкции стен для сейсмоопасных регионов РФ из штучных материалов не рассматриваются.

В условиях современного градостроительства особые требования предъявляются не только к прочностным показателям и архитектурно-декоративному внешнему облику зданий и сооружений, но и их функциональным характеристикам. При этом особое внимание уделяется теплозвукоизоляционным материалам, используемым для создания внешних ограждающих стеновых конструкций, особенно для жилых и общественных зданий, где значительная часть всего веса здания приходится на долю этих конструкций. Поэтому в сейсмически опасных районах, при проектировании зданий и сооружений с одной стороны необходимо максимально снизить вес ограждающих конструкций, а с другой, снижение веса не должно способствовать ухудшению таких важных характеристик, как сейсмостойкость зданий и сооружений.

Всесторонний анализ энергозатрат, экологических и потребительских факторов при производстве и эксплуатации стеновых материалов показывает привлекательность бесцементных силикатных строительных материалов автоклав-

ного твердения на основе известково-песчаного вяжущего и кварцевого заполнителя. Силикатные строительные изделия не требуют высоких энергозатрат при получении по сравнению со строительными материалами на основе цемента, их недостатком является относительно высокая теплопроводность: при плотности 1930 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность составляет 0,85-0,87 Вт/(м·К). Однако вопросам разработки недорогих искусственных заполнителей, способных существенно снизить теплопроводность силикатных материалов уделяется недостаточно внимания.

Нами предлагаются силикатные строительные материалы, включающие активные гранулированные безобжиговые заполнители (АГЗ). АГЗ вводились в состав песчано-известковых сырьевых смесей перед прессованием силикатного кирпича [4-8]. АГЗ состоят из природного сырья, содержащего аморфный кремнезем (опока, перлит, трепел и др.) и щелочь в соотношении 5 к 1, т.е. ядра гранул имеют силикатный модуль равный 5. Защитная оболочка вокруг ядра гранулы, состоящая из молотой извести и кремнефтористого натрия, не позволяет водорастворимому гидроксиду щелочного металла выйти из гранулы при приготовлении силикатной смеси и формовании изделий. Кремнефтористый натрий обеспечивает достаточную водостойкость АГЗ.

Анализируя свойства полученных силикатных материалов (табл. 1), следует отметить их низкую теплопроводность и относительно высокие значения прочности при изгибе. Силикаты натрия, выделяющиеся при автоклавной обработке из АГЗ, пропитывают матрицу, связывают портландит, залечивают микродефекты и неорганизованные поры силикатного материала, вдвое повышают значения коэффициента конструктивного качества полученных строитель-

ных изделий. Отсутствие свободного портландита благоприятно сказывается на повышении водостойкости полученных изделий (табл. 1), которая превышает значение 0,8, поэтому по

этому параметру наш силикатный материал составит достойную конкуренцию керамическому кирпичу.

Таблица 1

№ смеси	Мас. % гранулированного заполнителя на основе:	Удельная поверхность порошкового материала ядра перед грануляцией, м <sup>2</sup> /кг	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Водостойкость, относительная потеря прочности после 25 циклов замачивания	Предел прочности при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Общая пористость, %	Водопоглощение, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	0	-	0,76	0,74	28,4	3,86	27,2	21,3	1880
2	15, трепел	250	0,66	0,77	28,3	4,32	38,8	18,8	1705
3	25, трепел	300	0,52	0,81	24,8	5,21	50,8	14,3	1460
4	25, опока	300	0,53	0,80	24,6	5,28	50,4	14,7	1475
5	40, трепел	250	0,23	0,88	22,5	4,31	57,7	11,2	1010
6	40, природный перлит	250	0,25	0,85	21,9	4,81	57,2	10,8	910
7	45, вспученный перлит	250	0,24	0,86	22,1	4,11	59,8	9,1	885

Способность гранул выделять водорастворимые активные соединения, проникающие в силикатную матрицу, оценивалась по потере массы гранул до и после автоклавной обработки.

Полученные гранулы вводились в силикатную смесь в различном процентном соотношении, затем формовались образцы методом пресования, которые помещались в автоклав и выдерживались при давлении водяного пара 1 МПа и температуре 178 °С в течение 8 часов. Оценивалась возможность уменьшения продолжительности изотермической выдержки при авто-

клавной обработке силикатных изделий с активными гранулированными заполнителями.

При автоклавной обработке силикатных изделий аморфный кремнезем реагирует со щелочью с образованием водорастворимых силикатов, которые переходят в матрицу, обогащая ее активными компонентами, существенно ускоряя процессы минералообразования. На месте АГЗ остается водонепроницаемая пора с незначительным количеством непрореагировавшего материала (рис. 1).

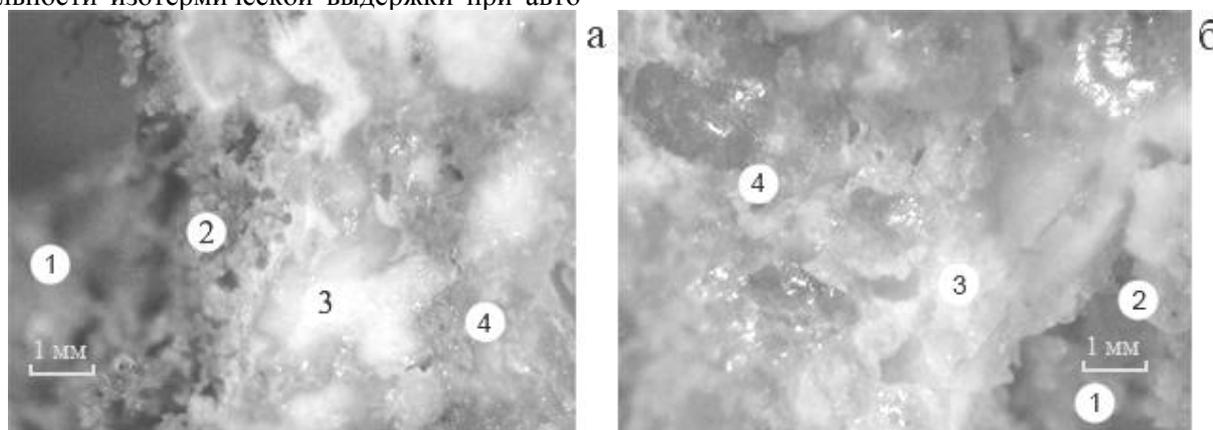


Рис. 1. Микрофотографии контактного слоя активных гранул на основе опоки (а) и перлита (б) с силикатной матрицей: 1 – поровое пространство, 2 – остатки порообразующего состава гранул, 3 – переходный слой гранулы и силикатной матрицы, 4 – силикатная матрица. Съемка образцов производилась на поляризационном микроскопе ПОЛАМ Р-312

Силикатный материал с АГЗ имеет большую прочность сцепления с цементным кладочным раствором, т.к. прореагировавшие гранулы делают поверхность силикатного материала более шероховатой со сферическими кавернами, что облегчает и процесс штукатурки стен. За счет насыщения силикатной матрицы гидросиликатами натрия, происходят дальнейшие преобразования минеральной структуры полученного строительного материала в процессе экс-

плуатации в сторону упрочнения: приведенные в таблице значения по прочности увеличиваются на 10-15%.

Исследование кинетики взаимодействия материалов ядра гранул АГЗ разного состава в процессе автоклавной обработки образцов стеновых изделий при изотермической выдержке при давлении 1 МПа и температуре 178 °С показывает, что предварительная механоактивация материала ядра гранул эффективна при исполь-

зовании только кристаллических компонентов – песка, при использовании же аморфных кремнеземов – перлита, опоки, трепела и др. механоактивация не приносит существенного ускорения процессов образования гидросиликатов натрия и зависит в основном от дисперсности частиц аморфного кремнезема. Следует отметить, что резкое ускорение процесса растворения кремнезема отмечается лишь в первые два часа автоклавирования, при этом реакция идет за счет наличия частиц с поврежденной кристаллической структурой, что подтверждают кривые РФА, либо при наличии особо тонкодисперсных частиц. С течением времени характер взаимодействия кремнезема со щелочными гидроксидами приобретает монотонно-замедленный характер.

При введении АГЗ, в силикатном материале формируется организованная пористость, поры играют роль демпферов: они не дают развиваться продольным и поперечным трещинам, способствуют получению более монолитной матрицы.

Таким образом введение в состав известково-кремнеземистого вяжущего активных гранулированных заполнителей позволит не только управлять процессами структурообразования на макро-, микро- и наноуровне, но и получить уникальные свойства материала модифицирующего природный процесс генезиса известняка-ракушечника. Результатом этого воздействия является синтез нано- и микроразмерных гидратных новообразований толщиной несколько микрон, что позволяет существенно повысить деформативные характеристики, влаго- и морозостойкость, снизить теплопроводность силикатного материала.

В целом же средняя плотность материала снижается и может достигнуть величины  $650 \text{ кг/м}^3$ . Сочетание величины средней плотности материала ниже  $1000 \text{ кг/м}^3$  и наличие замкнутой, водонепроницаемой пористости позволило получить силикатный материал с пониженной в три раза, по сравнению с традиционным силикатным кирпичом, теплопроводностью.

Строительное материаловедение, а также геоника, большое внимание уделяют созданию новых высокопрочных, умных материалов [9-11]. У них должна быть упорядоченная регулируемая структура, формируемые новообразования обладают высокой прочностью и низкой теплопроводностью, обладать способностью самозалечивать дефекты структуры и ликвидировать разупрочняющую пористость. Этими свойствами обладают полученные нами силикатные изделия строительного назначения на

стадии их изготовления и автоклавной обработки.

Введение растворяющихся при автоклавной обработке гранул (АГЗ) в силикатный материал позволяет получать изделия с более развитой поверхностью контакта с кладочными растворами. Образующиеся каверны на месте расположения гранул, при заполнении их раствором, существенно повышают прочность кладки в целом и меняют характер разрушения поверхностной зоны (рис. 2).



Рис 2. Характер разрушения силикатных материалов с АГЗ на кладочных растворах традиционных составов

Упрочнение кладочных растворов путем использования более прочных вяжущих (например ТМЦ-50), полипропиленовой фибры, добавок глинистых пород определенного генезиса и состава позволяет увеличить прочность кирпичной кладки на срез в 25-30 раз. Экспериментально доказано, что при приложении внешней нагрузки данная кладка в этом случае разрушается не по поверхности контакта раствора с кирпичем, а по самому силикатному материалу (рис. 3). Повышенная монолитность каменной кладки существенно повышает сейсмическую стойкость сооружений [12].



Рис 3. Характер разрушения силикатных материалов с АГЗ на упрочненных кладочных растворах

Качество раствора закладывается при подборе состава, а его пригодность для возведения кладки оценивается по параметрам прочности на сжатие (до 20-30 МПа), морозостойкости (до 300 циклов) и подвижности (9-13 см), а так же вели-

чиной сцепления при отрыве стеновых материалов из кладки, что влияет на работу конструкции при растяжении, изгибе по перевязанным и неперевязанным швам. В реальности совместная работа структурных элементов приводит к необходимости учитывать более широкий спектр свойств кладочных растворов. Структура кладки окончательно формируется непосредственно на строительной площадке при твердении вяжущего. При подборе состава раствора основной задачей является выбор вида вяжущего и заполнителя, состава раствора, водоцементного отношения и использование добавок различного вида.

Структура раствора формируется взаимодействием трех основных элементов [10]:

- матрицей, формируемой цементным камнем, которая связывает каркас заполнителя, обеспечивая монолитность и целостность раствора после твердения;
- заполнителем, формирующим каркас и обеспечивающим равномерное распределение цементного камня в объеме;
- контактной зоной цементного камня и стеновых материалов.

Совершенствование структуры раствора и формируемой зоны контакта возможно за счет влияния на основные структурные элементы.

Таким образом, предлагаемые технологии получения силикатных материалов с развитой поверхностью контакта с растворами, в сочетании с улучшенным составом самих кладочных растворов позволяет увеличить прочность кладки в 8-10 раз. Данная система рекомендована для использования в сейсмостойком строительстве, в том числе, в условиях Крайнего Севера.

Новизна решений по формированию систем закрытой пористости в силикатных бесцементных материалах автоклавного твердения отмечена 5 патентами РФ.

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Москва, 1992.
2. СНиП РК 5.02-02-2010. Каменные и армокаменные конструкции.
3. СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах.
4. Пат. № 2361838 РФ, МПК8 С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе кварцевого песка, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Воронцов В.М.;

заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. –№ 2007142320/03; заявл. 15.11.2007г.; опубл. 20.07.2009г., Бюл. № 20. – 10 с.

5. Пат. № 2361839 РФ, МПК8 С 04 В 28/18. Гранулированный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе кремнистых цеолитовых пород, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Воронцов В.М., Лесовик Р.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. –№ 2007142318/03; заявл. 15.11.2007г.; опубл. 20.07.2009г., Бюл. № 20. – 10 с.

6. Пат. № 2365555 РФ, МПК8 С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе трепела, диатомита и опоки, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Воронцов В.М., Лесовик Р.В., Ходыкин Е.И.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. –№ 2007142319/03; заявл. 15.11.2007г.; опубл. 27.08.2009г., Бюл. № 24. – 12 с.

7. Пат. № 2365556 РФ, МПК8 С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе перлита, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Гридчин А.М., Строкова В.В., Лесовик Р.В., Мосьпан А.В., Воронцов В.М.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. –№ 2007142316/03; опубл. 27.08.2009г., Бюл. № 24. – 7 с.

8. Пат. № 2433976 РФ, МПК8 С 04 В 28/18. Способ изготовления гранулированного заполнителя для силикатных изделий автоклавного твердения / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Лесовик Р.В., Воронцов В.М.; Заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова.

9. Лесовик, В.С. Геоника. Предмет и задачи / В.С. Лесовик // – Белгород. Изд-во БГТУ им. Шухова В.Г. – 2012. – 213с.

10. Гридчин, А.М. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях / А.М. Гридчин, Ю.М. Баженов, В.С. Лесовик и др.// – Белгород. Изд-во БГТУ им. Шухова, – 2008. – 595с.

11. Лесовик, В.С. Геоника / В.С. Лесовик // – Новосибирск – 1994. – 210с.

12. СНиП РК 2.03-30-2006 – Строительство в сейсмических районах.