

УДК 666.973

Лесовик В.С. – доктор технических наук, профессор

E-mail: naukavs@mail.ru

Моспан А.В. – аспирант

E-mail: alexander.mospan@gmail.com

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес организации: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Конструкционно-теплоизоляционные прессованные силикатные изделия на гранулированных заполнителях

Аннотация

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.

С каждым годом в Российской Федерации и за рубежом наращиваются объемы строительных, ремонтных и восстановительных работ. Значительная часть этих объемов выполняется на территориях, опасных в сейсмическом отношении. Значительные средства затрачиваются также на восстановление зданий и сооружений, пострадавших от землетрясений, наводнений, оползневых явлений, военных действий и других стихийных бедствий.

Развитие методов, способов и средств обеспечения надежности зданий и сооружений в сейсмически опасных районах и снижение затрат, связанных с сейсмической опасностью, являются глобальной проблемой, решение которой имеет важное значение для науки и практики.

Известно, что кладка стен из каменных материалов и кирпича не обладает достаточным запасом прочности и несущей способности, 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 к 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 бетонов автоклавного 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^3 теплопроводность составляет $0,85-0,87 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Однако вопросам разработки недорогих искусственных заполнителей, способных существенно снизить теплопроводность силикатных материалов, уделяется недостаточно внимания.

Если для строительных материалов на основе цемента создана и применяется весьма обширная номенклатура природных и искусственных заполнителей с широким спектром потребительских свойств по экономичности, прочности, пористости, теплопроводности и др., то для силикатных материалов автоклавного твердения выбор весьма невелик. Известные легкие заполнители имеют чрезвычайно большое различие по физическим и химическим свойствам от силикатных матриц: коэффициенты термического расширения, водопоглощение и др. отличаются на порядок и более, что разупрочняет контактную зону «матрица-заполнитель» при эксплуатации и уменьшает атмосферостойкость стеновых изделий в целом. Используемые в настоящее время заполнители для силикатных стеновых материалов не защищают их от насыщения влагой. Сорбционная влажность таких стеновых материалов достигает $8-12 \text{ мас. \%}$ и существенно ухудшает их теплоизолирующие свойства при эксплуатации.

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.

Таблица 1

№ п.п.	Наименование сырья	Средняя плотность, кг/м^3	Насыпная плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа	Растворимость при автоклавной обработке, %
1.	Перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия)	780	705	8,7	92,9
2.	Опока Коркинского месторождения, Челябинская обл.	810	720	10,7	89,1
3.	Цеолит Хотынецкого месторождения, Орловская обл.	890	810	9,6	88,9
4.	Трепел Фокинский, Брянская обл.	840	762	9,8	88,2
5.	Цеолитсодержащий туф, Мухор-Талинское м-е	850	774	9,6	93,4
6.	Бой зеленого тарного стекла, г. Воронеж	890	822	7,2	91,6
7.	Перлит вспученный	570	507	7,8	94,8
8.	Песок кварцевый, Безлюдовское м-е	920	840	7,1	89,2

В табл. 1 приведены физико-механические характеристики гранул, полученных с использованием различных кремнеземсодержащих сырьевых материалов. Полученные данные свидетельствуют о том, что предлагаемые гранулы по своим показателям могут применяться в качестве заполнителей для силикатных изделий автоклавного твердения.

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 методом прессования формовались образцы, которые помещались в автоклав и выдерживались при давлении водяного пара 1 МПа и температуре $178 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 8 часов. Оценивалась возможность уменьшения продолжительности

изотермической выдержки при автоклавной 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 (см. рис.).

Анализируя свойства полученных силикатных материалов (табл. 2), 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 строительных изделий. Отсутствие свободного портландита благоприятно сказывается на повышении водостойкости полученных изделий (табл. 2), которая превышает значение 0,8, поэтому по этому параметру наш силикатный материал составит достойную конкуренцию керамическому кирпичу.

Ранее нами делались попытки вводить порошковый аморфный кремнезем в сырьевые силикатные смеси при формовании силикатного кирпича для интенсификации процессов минералообразования и повышения его прочности, однако при автоклавной обработке аморфный кремнезем переходил в опаловые сферические образования, а существенного повышения прочности силикатных материалов отмечено не было.

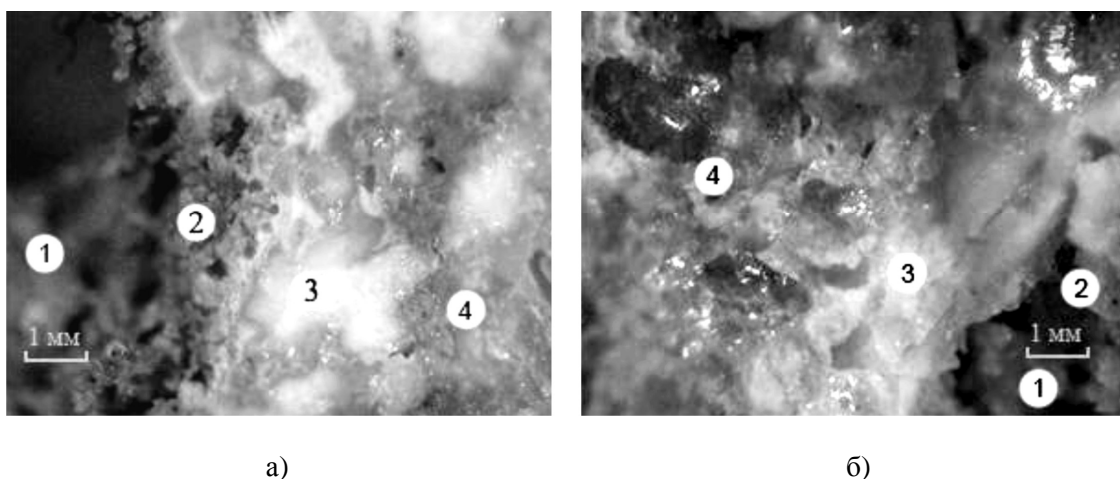


Рис. Микрофотографии контактного слоя активных гранул на основе опоки (а) и перлита (б) с матрицей.

Обозначения: 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 кирпича 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 эксплуатации 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 использовании только кристаллических компонентов – песка, при использовании же аморфных кремнезёмов: 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.

За счет ввода АГЗ в силикатном материале формируется организованная пористость, поры играют роль демпферов: они не дают развиваться продольным и поперечным трещинам, способствуют получению более монолитной матрицы. В целом же средняя плотность материала снижается и может достигнуть величины 650 кг/м^3 . Сочетание величины средней плотности материала ниже 1000 кг/м^3 и наличие замкнутой, водонепроницаемой пористости позволило получить силикатный материал с пониженной в три раза, по сравнению с традиционным силикатным кирпичом, теплопроводностью.

Таблица 2

№ смеси	Мас. % гранулированного заполнителя на основе:	Удельная поверхность порошкового материала ядра перед грануляцией, м ² /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 ³
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

Строительное материаловедение, а также геоника большое внимание уделяют созданию новых высокопрочных, умных материалов – бетонов и силикатов [9]. 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 за счет использования АГЗ на стадии их изготовления и автоклавной обработки.

Таким образом, учитывая повышенные конструктивные показатели новых силикатных изделий, возможность облегчить вес строительных конструкций на 35-40 % без снижения их теплоизолирующих и прочностных характеристик, за счет высокой адгезии к кладочным растворам и т.д., рекомендуется их использование для сейсмостойкого строительства, в том числе и в условиях Крайнего Севера.

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

Список литературы

1. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М., 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 наполнитель 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. 15.11.2007 г.; опубл. 20.07.2009 г., Бюл. № 20. – 10 с.
5. Пат. № 2361839 РФ, МПК⁸ С 04 В 28/18. Гранулированный наполнитель 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. 15.11.2007 г.; опубл. 20.07.2009 г., Бюл. № 20. – 10 с.
6. Пат. № 2365555 РФ, МПК⁸ С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный наполнитель 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 наполнитель 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; заявл. 15.11.2007 г.; опубл. 27.08.2009 г., Бюл. № 24. – 7 с.
8. Пат. № 2433976 РФ, МПК⁸ С 04 В 28/18. Способ изготовления гранулированного наполнителя 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. № 2010119770/03; заявл. 17.05.2010 г.; опубл. 20.11.2011 г., Бюл. № 32. – 7 с.
9. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. – Белгород: Изд-во БГТУ им. Шухова В.Г., 2012. – 213 с.
10. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С. и др. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. – Белгород: Изд-во БГТУ им. Шухова В.Г., 2008. – 595 с.

Lesovik V.S. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: naukavs@mail.ru

Mospan A.V. – post-graduate student

E-mail: alexander.mospan@gmail.com

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

The organization address: 308012, Russia, Belgorod, Kostukova st., 46

Load-bearing structural insulating material with granulated filler for earthquake resistant building

Resume

Using of pellets, derived from natural materials and amorphous silica-alkali metal hydroxides as placeholders for silicate concrete, produces wall materials of low density and thermal conductivity. They have a closed porosity and fuzzy interface between the filler and the matrix can be used in earthquake-resistant construction, and greatly simplify the weight of building structures without reducing their insulating and strength characteristics. Due to the high adhesion to mortar recommended their use in earthquake engineering, including in the Far North. It should be noted the low thermal conductivity of the resulting silicate material and relatively high flexural strength. Sodium silicates released during autoclaving of the proposed aggregate impregnated matrix connecting Portland, heal microdefects and fugitive pore silicate material, doubles the values of the structural quality of building products. Due to the introduction of the developed aggregate in the silicate material formed organized porosity, pore act as shock absorbers: it do not develop the longitudinal and transverse cracks, which would produce a solid matrix. In general, the average density of the material is significantly reduced.

Keywords: silicate material, active granular filler, thermal conductivity, walling material, earthquake resistant building.

References

1. Recommendations for use of small wall blocks from cellular concrete. CNIISK named after V.A. Kucherenko. – Moscow, 1992.
2. SNiP RK 5.02-02-2010. Reinforced masonry structures.
3. SNiP RK 2.03-30-2006. Construction in seismic regions.
4. The patent № 2361838 RF, MPK⁸ C 04 B 28/18. Granular filler for composite silicate wall products on the basis of quartz sand, the composition of raw mix for the manufacture of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142320/03; it is declared 15.11.2007; it is published 20.07.2009, The bulletin. № 20. – 10 p.
5. The patent № 2361839 RF, MPK⁸ C 04 B 28/18. Granular aggregate for the silicate wall products on the basis of siliceous zeolite rocks, the composition of raw mix for the production of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M., Lesovik R.V.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142318/03; it is declared 15.11.2007; it is published 20.07.2009, The bulletin. № 20. – 10 p.
6. The patent № 2365555 RF, MPK⁸ C 04 B 28/18. Granular filler for composite silicate wall products on the basis of tripoli, diatomaceous earth and mold, the composition of raw mix for the manufacture of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M., Lesovik R.V., Khodykin E.I.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142319/03; it is declared 15.11.2007; it is published 27.08.2009, The bulletin. № 24. – 12 p.
7. The patent 2365556 RF, MPK⁸ C 04 B 28/18. Granular filler for composite silicate wall products based on perlite, the composition of raw mix for the manufacture of silicate wall products, the method of obtaining silicate wall products and silicate walling product / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2007142316/03; it is declared 15.11.2007; it is published 27.08.2009, The bulletin. № 24. – 7 p.
8. The patent № 2433976 RF, MPK⁸ C 04 B 28/18. Method of manufacturing granular filler for silicate materials / Lesovik V.S., Mospan A.V., Strokova V.V., Vorontcov V.M., Lesovik R.V.; BSTU named after V.G. Shukhov. № 2010119770/03; it is declared 17.05.2019; it is published 20.11.2011, The bulletin № 32. – 7 p.
9. Lesovik V.S. Geonic. subject matter and objectives/ V.S. Lesovik // – Belgorod. BSTU named after V.G. Shukhov – 2012. – 213 p.
10. Gridchin A.M., Bazhenov Yu.M., Lesovik V.S. etc. Building materials for extreme environment. – Belgorod. BSTU named after V.G. Shukhov – 2008. – 595 p.