

Володченко А. А., канд. техн. наук, инженер,
Лесовик В. С., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,
Чхин Сованн, аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

naukavs@mail.ru

Разработана технология производства высокоэффективных безавтоклавных силикатных материалов с использованием песчано-глинистых пород и извести, позволяющие получать водостойкие изделия с пределом прочности при сжатии до 32 МПа. Морозостойкость составляет 15–25 циклов. Использование песчано-глинистых пород вместо традиционного кварцевого песка в производстве силикатных материалов улучшает процесс формирования сырьевой смеси, повышает прочность сырца в 4–11 раз, снижает брак в процессе формирования. Это позволит формировать высокопустотные изделия нового поколения со средней плотностью 1100–1300 кг/м³ и пределом прочности при сжатии до 32 МПа.

Ключевые слова: песчано-глинистые породы, пелитовая фракция, нанодисперсное сырье, рентгеноаморфное вещество, известь, тепловлажностная обработка, силикатные материалы, давление прессования.

В настоящее время на первый план выходят задачи разработки и внедрения энергосберегающих технологий производства строительных материалов, что соответствует современным тенденциям развития «зеленых» технологий, которые позволяют сохранить окружающую среду и обеспечить комфортные условия для жизни человека. Снижение расхода топлива ведет к сокращению выбросов в атмосферу парниковых газов и уменьшает уровень загрязнений вредными веществами, попадающих в почву, воду и воздух.

Решение этой задачи применительно к технологии получения силикатных материалов заключается в переходе от традиционного сырья, в качестве кремнеземистого компонента которого используется кварцевый песок, к получению композиционного вяжущего на основе алюмосиликатного сырья [1–5], способствующее синтезу цементирующих веществ с оптимальной микроструктурой. Для этих целей можно использовать глинистые породы незавершенной стадии глинообразования, которые широко распространены во многих регионах Российской Федерации [6–15], Королевства Камбоджа, государств Юго-восточной Азии, Латинской Америки и т.д.

Давление прессования при формировании традиционного известково-песчаного силикатного кирпича составляет 15–20 МПа. Данный

вид сырья не позволяет эффективно использовать более высокие параметры давления прессования, так как существенного повышения прочности сырца при этом не происходит. Для сырьевых смесей на основе песчано-глинистых пород, напротив, более выгодно использовать повышенные значения давления прессования. Поэтому предприятиям, которые будут использовать предлагаемое сырье целесообразно применять прессы, обеспечивающие формирование при давлении выше 20 МПа. За счет этого можно существенно повысить физико-механические характеристики изделий и, соответственно, повысить конкурентную способность предприятий.

Цель настоящей работы – изучения влияния давления прессования, содержания СаО и формовочной влажности на физико-механические свойства силикатных изделий на основе супеси.

Для исследований были использованы наиболее представительные песчано-глинистые породы, отличающиеся по составу и свойствам (табл. 1). Количество пелитовой фракции в суглинках достигает 51,05 мас. %. Для супеси этот показатель составляет 22,63 мас. %. По размеру преобладают алевроитовые и пелитовые частички. Химический состав показывает, что породы имеют высокое содержание кремнезема и относятся к категории кислых (табл. 2).

Таблица 1

Гранулометрический состав песчано-глинистых пород

Порода	Содержание фракций, мас. %, размер сит, мм					
	более 0,1	0,1–0,05	0,05–0,04	0,04–0,01	0,01–0,005	менее 0,005
Супесь	15,7	12,90	5,82	42,95	5,70	16,93
Суглинок № 1	0,55	20,72	18,58	21,15	7,49	31,51
Суглинок № 2	0,2	9,33	9,56	29,86	9,35	41,70

Таблица 2

Химический состав песчано-глинистых пород

Порода	SiO ₂ общ.	SiO ₂ своб.	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.	Сумма
Супесь	82,87	61,78	6,70	0,42	2,63	1,77	1,03	1,26	1,10	2,05	99,83
Суглинок № 1	73,0	38,05	10,4	0,72	3,60	2,32	1,32	1,86	1,29	3,95	98,46
Суглинок № 2	65,1	35,12	12,5	0,77	4,36	3,21	1,64	1,93	1,74	5,76	97,01

Нанодисперсные породы представлены смешаннослойными образованиями, рентгено-аморфной фазой, а также в небольших количе-

ствах присутствует гидрослюда, Ca²⁺ монтмориллонит и каолинит (рис. 1 и 2).

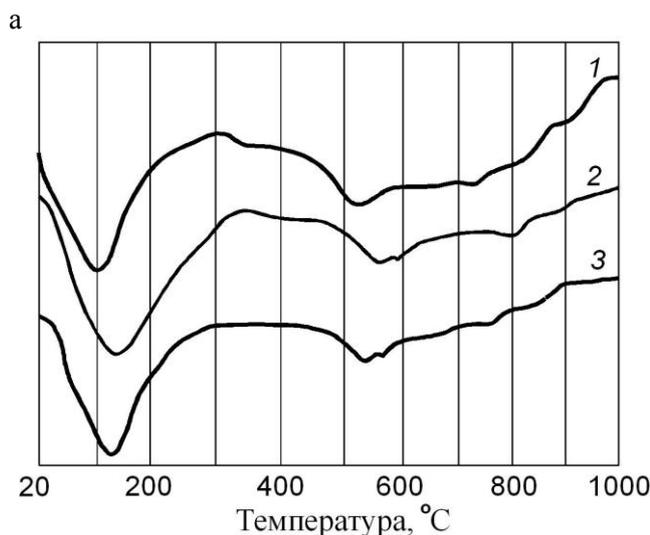


Рис. 1. Термограммы (а) и рентгенограммы (б) песчано-глинистых пород: 1 – супесь; 2 – суглинок № 1; 3 – суглинок № 2

Полиминеральный состав изучаемых песчано-глинистых пород, являющиеся природным нанодисперсным сырьем и их термодинамическая неустойчивость определяет возможность взаимодействия с известью с образованием цементирующих соединений при гидротермальной обработке без давления и, соответственно, получения стеновых силикатных материалов с низкими энергозатратами.

В качестве известкового компонента использовали негашеную комовую известь ОАО «Стройматериалы» (г. Белгород). Активность извести составляла 78,3 %, температура гашения 97,5 °С, время гашения – 4 мин 30 сек.

Образцы готовили методом полусухого прессования. Предварительно измельченную известь и исходную породу перемешивали в заданном соотношении, увлажняли необходимым количеством воды и выдерживали в герметичной чашке до полного гашения извести. Образцы пропаривали при 90–95 °С в течение 12 час.

Для сырьевых смесей с рациональным [11–13] содержанием извести 10 мас. % было изучено влияние давления прессования на прочность сырца (рис. 2).

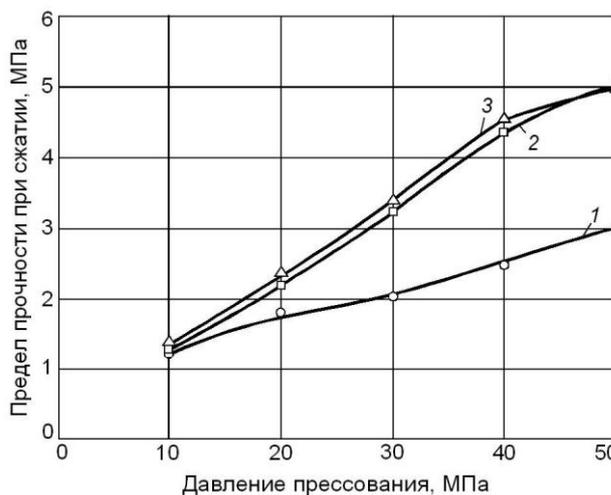


Рис. 2. Влияние давления прессования на прочность сырца:

давления прессования, МПа: 1 – супесь; 2 – суглинок № 1; 3 – суглинок № 2

Влияние давления прессования на прочность сырца зависит от вида песчано-глинистой породы. Прочность сырца, полученного при давлении прессования 10 МПа, практически одинакова для всех песчано-глинистых пород и составляет в пределах 1,2–1,38 МПа. С увеличением давления прессования до 50 МПа прочность сырца на основе супеси повышается до 3

МПа, что выше прочности известково-песчаных в 7 раз (см. рис. 2, кривая 1). Существенно большее влияние увеличение давления прессования оказывает на рост прочности сырца на основе суглинков. Характер изменения прочности и ее величина для суглинка № 1 и № 2 примерно одинаковы (см. рис. 2, кривая 2 и 3). Прочность сырца повышается до 5 МПа, т.е. в 11 раз. Можно сделать вывод, что увеличение давление прессования оказывает тем большее

влияние на повышение прочности сырца, чем выше содержание пелитовой фракции в породе.

Увеличение давление прессования оказывает существенное влияние не только на повышение прочности сырца, но и готовых изделий.

Эксперимент проводили с использованием метода математического планирования. условия планирования эксперимента, матрица планирования и физико-механические показатели образцов приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
Содержание СаО, мас. %	x_1	6	10	14	4
Формовачная влажность, мас. %	x_2	6	8	10	2
Давление прессования, МПа	x_3	10	30	50	20

Таблица 2

Матрица планирования и результаты испытаний образцов

№ п/п	Значения факторов						Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент размягчения
	в безразмерной системе координат			в натуральном масштабе					
	x_1	x_2	x_3	СаО, мас. %	Формовачная влажность, мас. %	Давление прессования, МПа			
1	+1	+1	+1	14	10	50	26,9	2010	0,85
2	+1	+1	-1	14	10	10	13,7	1760	0,84
3	+1	-1	+1	14	6	50	27,4	1990	0,8
4	+1	-1	-1	14	6	10	12,4	1715	0,77
5	-1	+1	+1	6	10	50	30,6	2115	0,8
6	-1	+1	-1	6	10	10	16,3	1875	0,78
7	-1	-1	+1	6	6	50	29,9	1980	0,72
8	-1	-1	-1	6	6	10	13,5	1760	0,69
9	+1	0	0	14	8	30	24,4	1915	0,81
10	-1	0	0	6	8	30	24,8	2020	0,79
11	0	+1	0	10	10	30	28,3	1985	0,85
12	0	-1	0	10	6	30	24,1	1950	0,78
13	0	0	+1	10	8	50	32,2	2050	0,89
14	0	0	-1	10	8	10	15,3	1795	0,82
15	0	0	0	10	8	30	26,1	1955	0,83

После статистической компьютерной обработки экспериментальных данных были получены математические модели изменения физико-механических свойств силикатных образцов.

По уравнениям регрессии был проведен анализ влияния исследуемых факторов. Меняя

активность сырьевой смеси, формовочную влажность и давление прессования, можно обеспечить требуемую прочность при сжатии, среднюю плотность и коэффициент размягчения силикатных изделий.

$$R_{\text{сж}} = 26,38 - 1,03x_1 + 0,85x_2 + 7,58x_3 - 1,92x_1^2 - 0,32x_2^2 - 2,77x_3^2 - 0,34x_1x_2 - 0,31x_1x_3 - 0,49x_2x_3.$$

$$\rho_{\text{ср}} = 1969,26 - 36x_1 + 35x_2 + 124x_3 - 7,16x_1^2 - 7,16x_2^2 - 52,16x_3^2 - 23,13x_1x_2 + 8,13x_1x_3.$$

$$K_{\text{раз}} = 0,84 - 2,9 \cdot 10^{-2}x_1 + 3,6 \cdot 10^{-2}x_2 + 1,6 \cdot 10^{-2}x_3 - 4,2 \cdot 10^{-2}x_1^2 - 2,7 \cdot 10^{-2}x_2^2 + 1,3 \cdot 10^{-2}x_3^2.$$

С помощью математических моделей получены номограммы изменения физико-

механических свойств силикатных образцов (рис. 3).

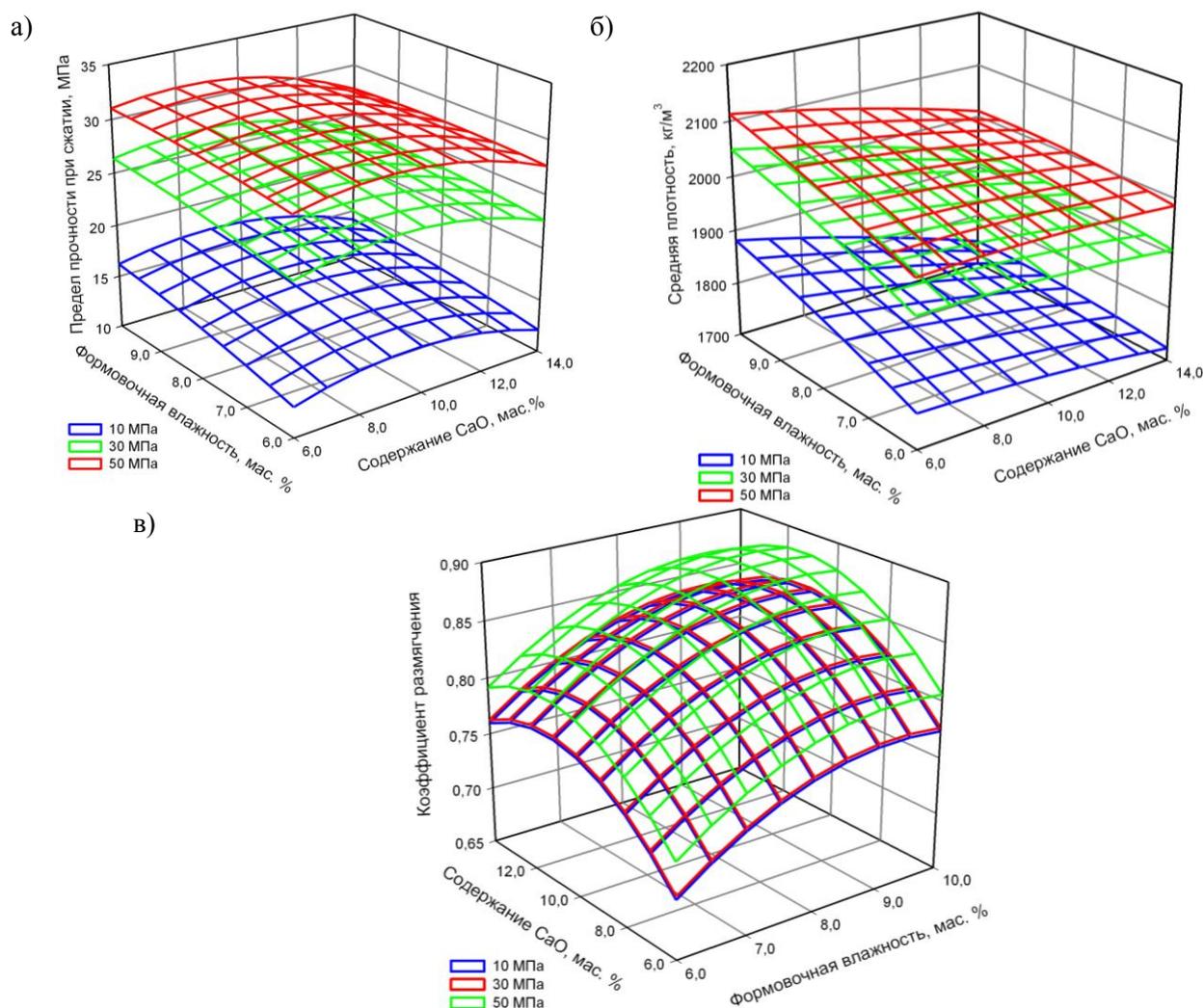


Рис. 3. Номограммы зависимости физико-механических свойств силикатных изделий от:
 а – предела прочности при сжатии; б – средней плотности;
 в – коэффициента размягчения

Наибольшую прочность образцы набирают при содержании извести 10 мас. % (см. рис. 3). Дальнейшее увеличение содержания извести приводит к снижению прочности. Очевидно, содержание 10 мас. % CaO в супеси является оптимальным для образования рационального состава новообразований при данных условиях гидротермальной обработки. Оптимальная формовочная влажность составляет 10 %. При большей влажности при прессовании из образцов выделяется вода.

С повышением давления прессования с 10 до 50 МПа прочность изделий (содержание CaO 10 мас. %) возрастает с 17 МПа до 32 МПа. Прирост прочности при увеличении давления прессования с 10 до 30 МПа составил 67 %, а с 30 до 50 МПа – 33 %. Можно сделать вывод, что наиболее эффективным является увеличение давления прессования до 30 МПа.

Средняя плотность образцов с увеличением содержания извести снижается, минимальное ее значение составляет 1715 кг/м^3 (рис. 3, б). С повышением давления прессования значение сред-

ней плотности повышается до 2115 кг/м^3 . Наибольшей средней плотностью обладают образцы с формовочной влажностью 10 %. Эти же образцы обладают и высокими значениями коэффициента размягчения, 0,8–0,9 (рис. 3, в).

Влияние давления прессования на физико-механические свойства было изучено также для силикатных материалов на основе суглинков (рис. 4). Содержание CaO составило 10 мас. %, формовочная влажность – 10 %.

С повышением давления прессования прочность образцов на основе суглинков № 1 и № 2 возрастает соответственно с 14,1 до 31,5 МПа и с 14,2 до 32,5 МПа, т.е. в 2,2 раза (см. рис. 4, кривая 1 и 2). Наиболее эффективным, как и с супесью, является увеличение давления прессования до 30 МПа.

Средняя плотность образцов увеличивается с 1630 до 1920 кг/м^3 и с 1585 до 1915 кг/м^3 соответственно для суглинка № 1 и № 2 (см. рис. 4, кривая 3 и 4). Коэффициент размягчения для всех образцов составляет 0,75–0,79, что свиде-

тельствует о хорошей водостойкости полученного материала.

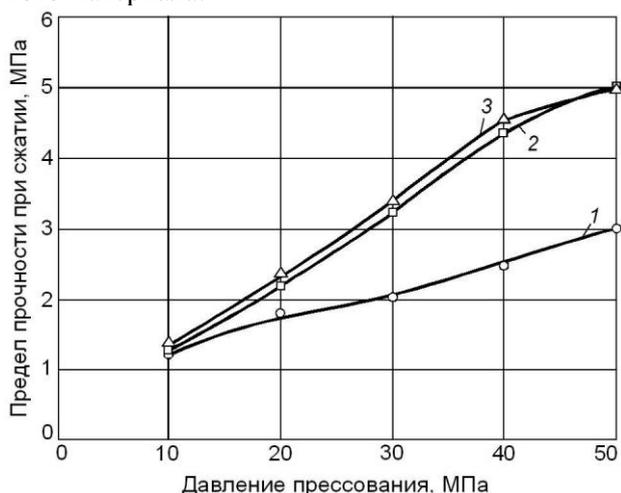


Рис. 4. Предел прочности при сжатии (1, 2) и средняя плотность (3, 4) в зависимости от давления прессования сырца:

1, 3 – суглинок № 1; 2, 4 – суглинок № 2

Необходимо отметить, что прочность образцов на основе суглинка № 2 выше, чем для суглинка № 1. Средняя плотность, наоборот, меньше, что связано с повышенным содержанием пелитовой фракции (см. табл. 2). Однако с увеличением давления прессования разница в средней плотности уменьшается и при давлении 50 МПа значения средней плотности практически одинаковы.

Изучение микроструктуры проводили на образцах, сформованных при давлении прессования 10, 20 и 50 МПа. С увеличением давления прессования наблюдается повышение плотности упаковки материала, что приводит к увеличению прочности (рис. 5).

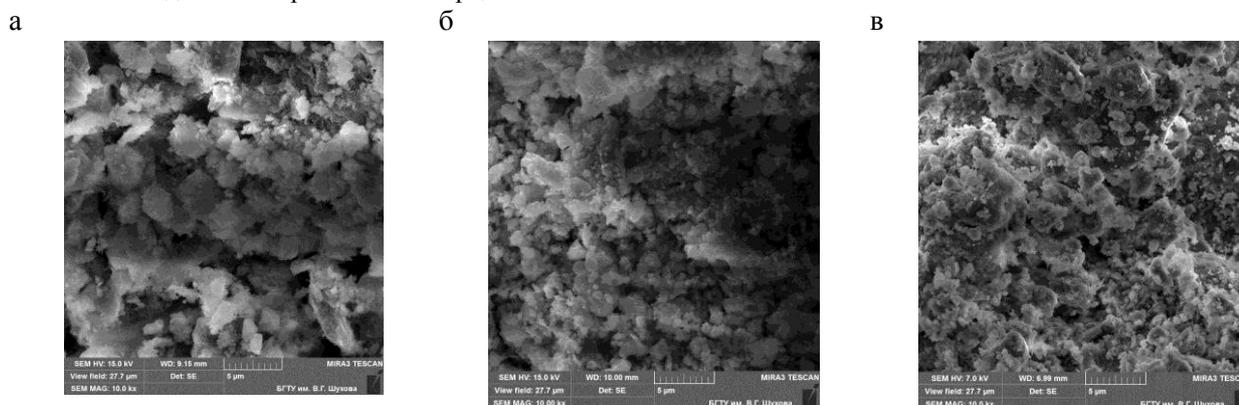


Рис. 5. Микроструктура образцов на основе суглинка № 1, РЭМ: $\times 10000$: давление прессования, МПа: а – 10; б – 20; в – 50

По данным дифференциально-термического новообразования преимущественно слабокристаллизованными соединениями гидросиликата кальция. Эндотермический эффект в области температур 100–

200 °С и экзотермические эффекты при 900 и 940 °С свидетельствуют о присутствии слабокристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция (рис. 6).

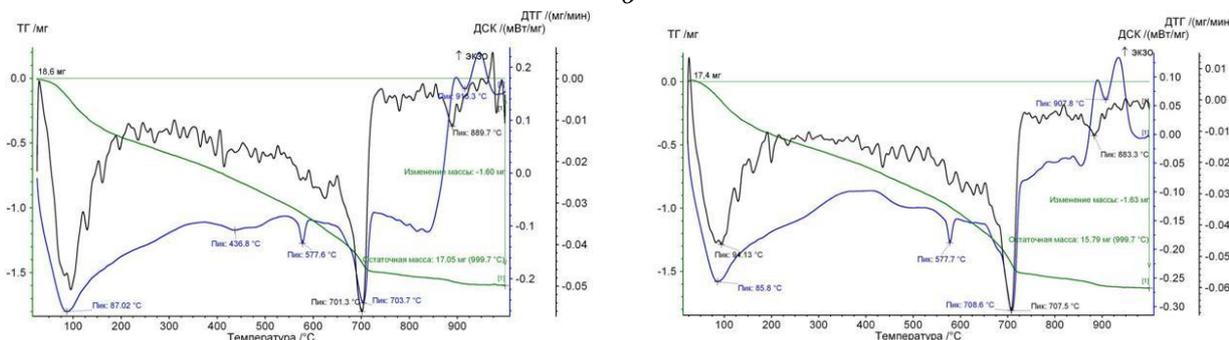


Рис. 6. Дериватограммы образцов на основе суглинков: а – суглинок № 1; б – суглинок № 2

Эндотермический эффект при 577 °С связан с полиморфным превращением кварца. В области температур 400–500 °С наблюдается слабовыраженный эндотермический эффект, который можно отнести потере конституционной воды неизмененных глинистых минералов. Эндотер-

мический эффект при 700 °С на обусловлен разрушением карбонатсодержащего новообразования. При этой температуре также фиксируется потеря массы за счет выделения углекислого газа.

На дериватограммах отсутствуют эффекты дегидратации гидроксида кальция. Это свидетельствует о том, что известь полностью прореагировала с породообразующими минералами изучаемого сырья.

Таким образом, изучаемое сырье за счет содержащихся в нем метастабильных глинистых минералов наноразмерного уровня активно взаимодействует с известью в условиях тепловлажностной обработки при температуре 90–95 °С с образованием слабокристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция, водного основного карбосиликата кальция ориентировочного состава $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и гидрорганатов, что приводит к возникновению прочной конденсационно-кристаллизационной и кристаллизационной структуры материала, обеспечивающей высокие физико-механические показатели силикатных изделий.

Использование песчано-глинистых пород вместо традиционного кварцевого песка в производстве силикатных материалов улучшает процесс формования сырьевой смеси, повышает прочность сырца в 4–11 раз, снижает брак в процессе формования. Это позволит формовать высокопустотные изделия нового поколения со средней плотностью 1100–1300 кг/м³ и пределом прочности при сжатии до 32 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н. Материалы автоклавного твердения с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 6 (ч. 3). С. 525–529.
2. Строкова В.В., Алфимова Н.И., Черкасов В.С., Шаповалов Н.Н. Прессованные материалы автоклавного твердения с использованием отходов производства керамзита // *Строительные материалы*. 2012. № 3. С. 14–15.
3. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2013. 127 с. ISBN 978-3-659-35755-8.
4. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н., Абримова О.С. Эксплуатационные характеристики силикатного кирпича, изготовленного с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2013. №3. С. 11–15.
5. Патент на изобретение RUS 2465235 22.06.2011. Сырьевая смесь для изготовления силикатного кирпича. Алфимова Н.И., Черкасов В.С., Трунов П.В., Шаповалов Н.Н., Попов М.А.
6. Лесовик, В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд-во АСВ, 2006. 526 с.
7. Лесовик, В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 213 с.
8. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазонасной провинции // *Известия вузов. Строительство*. 2007. № 2. С. 13–18.
9. Володченко А.Н. Взаимодействие мономинеральных глин с гидроксидом кальция в гидротермальных условиях Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 30. № 3. С. 35–37.
10. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Реологические свойства газобетонной смеси на основе нетрадиционного сырья // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 45–48.
11. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2010. № 1. С. 13–17.
12. Володченко А.А. Свойства безавтоклавных стеновых материалов на основе песчано-глинистых пород // *Технические науки – от теории к практике*. 2013. № 17–2. С. 7–12.
13. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние глинистого сырья на микроструктуру безавтоклавных силикатных материалов // *Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции*. 2012. Т. 30. № 3. С. 42–44.
14. Володченко А.А. Влияние режима гидротермальной обработки на свойства силикатных материалов // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 6. Ч. 6. С. 1333–1337.
15. Володченко А.Н. Нетрадиционное сырье для автоклавных силикатных материалов // *Технические науки – от теории к практике*. 2013. № 20. С. 82–88.