

Лесовик В. С., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,

Володченко А. А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА БЕЗАВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ\*

naukavs@mail.ru

Установлено, что содержание пелитовой фракции и рентгеноаморфного вещества в песчано-глинистых породах, которые можно использовать в качестве сырья при производстве безавтоклавных силикатных материалов, составляет до 20 мас. %. Такой состав песчано-глинистой породы обеспечивает формирование прочной микроструктуры цементирующего соединения, что позволит получать эффективные стеновые строительные материалы по энергосберегающей технологии.

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

В настоящее время одним из самых распространенных стеновых строительных материалов является силикатный кирпич и камни. По технико-экономическим показателям силикатный кирпич превосходит глиняный кирпич. На его производство требуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии, в 2,5 раза меньше трудоемкости производства, что, в конечном итоге, снижает себестоимость силикатного кирпича в сравнении с глиняным на 25–35 %. Силикатный кирпич и камни используются для кладки несущих стен и облицовки стен из других материалов, а также для реконструкции жилых и общественных зданий.

Производство силикатных материалов во всем мире базируется на традиционной технологии, в которой главным сырьевым компонентом является кварцевый песок. Однако на традиционном сырье сложно получать высокопустотные изделия, вследствие низкой прочности сырца и неоптимальной структурой матрицы. В тоже время в зону горных работ при разработке месторождений полезных ископаемых попадают некондиционные с точки зрения строительного производства песчано-глинистые породы незавершенной стадии глинообразования, которые, как было показано ранее проведенными исследованиями, можно использовать для производства силикатных материалов [1, 2]. В результате различного генезиса попутно добываемые пес-

чано-глинистые породы из различных регионов могут отличаться по вещественному и гранулометрическому составу. Пелитовая фракция данных пород представлена термодинамически неустойчивыми соединениями, такими как смешаннослойные минералы, тонкодисперсный слабоокатанный кварц, несовершенной структуры гидрослюда,  $\text{Ca}^{2+}$  монтмориллонит, каолинит, а также рентгеноаморфные минералы. Эти термодинамически неустойчивые соединения, обладающие свойствами природных наноразмерных частиц, позволяют изменить морфологию новообразований и оптимизировать структуру цементирующего соединения [3–7]. На основе песчано-глинистых пород можно также получать силикатные материалы по безавтоклавной технологии [9–10].

Цель настоящей работы – изучение влияния содержания пелитовой фракции на свойства силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья и получение эффективных стеновых строительных материалов по энергосберегающей технологии.

Для исследований в качестве природного наноразмерного сырья использовали песчано-глинистые породы региона Курской магнитной аномалии. Гранулометрический состав породы, полученный ситовым анализом, представлен в табл. 1.

Таблица 1

### Гранулометрический состав породы

Содержание фракций, мас. %, размер сит, мм								
более 0,315	0,315–0,20	0,20–0,125	0,125–0,10	0,10–0,05	0,05–0,04	0,04–0,01	0,01–0,005	менее 0,005
1,3	2,95	5,10	6,35	12,90	5,82	42,95	5,70	16,93

По гранулометрическому составу и числу пластичности ( $I_p = 6$ ) породу можно охарактеризовать как супесь пылеватую. По размеру преобладают алевритовые и пелитовые частички. Основная масса материала имеет пелитоморфномикрочешуйчатое строение, неравномерно

окрашена органическим веществом и гидроокислами железа. Пелитовая фракция пород представлена монтмориллонитом, гидрослюдой, каолинитом, смешаннослойными наноразмерными образованиями и рентгеноаморфными соединениями (рис. 1).

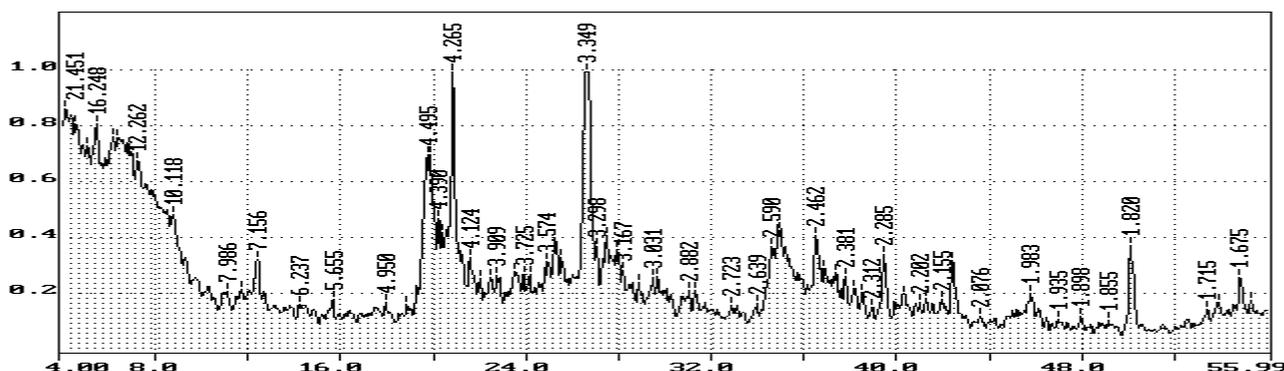


Рис. 1. Рентгенограмма пелитовой фракции

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.

Задачей проведенных исследований являлось определение рационального содержания пелитовой фракции в исходном сырье и разработка составов песчано-глино-известковых материалов, обеспечивающих оптимальное структурообразование и получение силикатных материалов с высокими физико-механическими показателями.

Пелитовую фракцию получали путем отмучивания исходной песчано-глинистой породы. Распределение частиц по размерам в пелитовой фракции, а также исходной породы, определяли методом лазерной гранулометрии с помощью установки MicroSizer 201 (рис. 2). В пелитовой фракции содержатся преимущественно частицы размером в диапазоне 0,7–10 мкм.

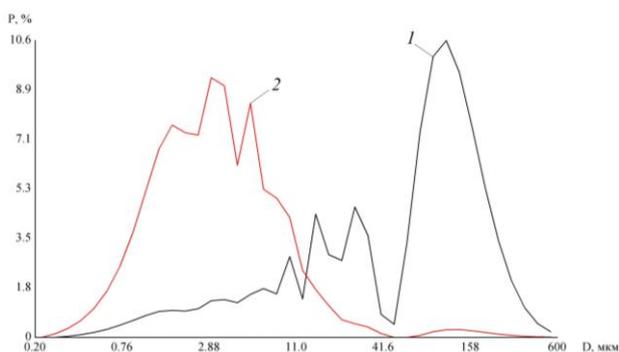


Рис. 2. Распределение частиц по размерам:  
1 – исходная песчано-глинистая порода;  
2 – пелитовая фракция.

Образцы готовили методом полусухого прессования. Предварительно измельченную известь, пелитовую фракцию и исходную породу перемешивали в заданном соотношении, увлажняли необходимым количеством воды и выдерживали в герметичной чашке до полного

гашения извести. Формовочная влажность смеси составляла 10–12 %. Прессование проводили при давлении 20 МПа. Образцы пропаривали при 90–95 °С в течение 12 час.

Эксперимент проводили с использованием метода математического планирования. Условия планирования эксперимента и матрица планирования представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Условия эксперимента**

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
CaO, мас. %	$x_1$	6	10	14	4
Содержание пелитовой фракции, мас. %	$x_2$	10	20	30	10

Таблица 2

**Матрица планирования**

№	$x_1$	$x_2$
1	+1	+1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	-1	-1
5	+1	0
6	-1	0
7	0	+1
8	0	-1
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Варьирование факторов преследовало цель выявления их рационального значения, обеспечивающего получение материала с требуемыми характеристиками.

Выходными параметрами для подбора рационального состава и технологических параметров служили следующие показатели: предел прочности при сжатии, средняя плотность и коэффициент размягчения. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Выходные параметры

№	Предел прочности при сжатии, МПа		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>		Коэффициент размягчения	
	Экспериментальный	Рассчитанный	Экспериментальный	Рассчитанный	Экспериментальный	Рассчитанный
1	17,3	17,3	1820	1820	0,77	0,73
2	14,4	12,07	1860	1855	0,69	0,67
3	16,3	17,3	1920	1920	0,83	0,82
4	12,8	12,07	1885	1880	0,58	0,58
5	16,9	17,6	1850	1850	0,6	0,69
6	16,3	17,6	1920	1915	0,72	0,69
7	22,6	21,6	1890	1895	0,76	0,81
8	13,3	16,3	1900	1895	0,65	0,67
9	22,4	21,9	1910	1910	0,75	0,73
10	22,5	22,1	1905	1900	0,74	0,72
11	22,7	21,8	1910	1905	0,77	0,78

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 соотношение компонентов силикатных изделий технологические параметры, можно обеспечить тре-

буемую прочность при сжатии, среднюю плотность и коэффициент размягчения силикатных изделий.

Уравнения регрессии прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ), средней плотности ( $\rho_{ср}$ ) и коэффициента размягчения ( $K_{раз}$ ) силикатных изделий имеют вид:

$$\begin{aligned} R_{сж} &= 21,87 + 2,62 x_2 - 4,27 x_1^2 - 2,92 x_2^2, \\ \rho_{ср} &= 1909,17 - 32,51x_1 - 24,5x_1^2 - 14,5x_2^2 - 18,75x_1x_2, \\ K_{раз} &= 0,73 + 0,073x_2 - 0,038x_1^2 + 0,007x_2^2 - 0,043 x_1x_2. \end{aligned}$$

Комплексное представление о влиянии содержания СаО и содержания пелитовой фракции на предел прочности при сжатии, среднюю плотность и коэффициент размягчения силикатных изделий представлено на номограммах (рис. 3), построенных с помощью уравнения регрессии.

Как видно из полученных данных (рис. 3, а) максимальной прочности (22 МПа) достигают образцы, содержащие 10 мас. % извести и 20 мас. % пелитовой фракции. При увеличении содержания пелитовой фракции до 30 мас. % прочность практически не изменяется. Повышение содержания извести до 14 мас. % снижает прочность до 18 МПа.

Средняя плотность с увеличением содержания извести уменьшается, причем тем сильнее, чем выше содержание пелитовой фракции (см. рис. 3, б). Максимальную среднюю плотность имеют образцы, при 6 мас. % извести и 30 мас. % пелитовой фракции. Эти образцы имеют и самую высокую величину коэффициента размягчения (см. рис. 3, в).

Увеличение содержания извести лишь незначительно повышает коэффициент размягче-

ния. Однако образцы всех исследуемых составов, исходя из значений коэффициента размягчения, являются водостойкими.

Таким образом, содержание пелитовой фракции оказывает существенное влияние на прочностные свойства силикатных материалов на основе супеси. В тоже время все составы с 20 мас. % пелитовой фракции обеспечивают получение материалов с высокими прочностными показателями и хорошей водостойкостью, а дальнейшее увеличение не приводит к существенному повышению прочности. Это имеет важное практическое значение, так как при колебаниях вещественного состава сырья, которое неизбежно в процессе реального производства, можно получать строительные материалы с заданными физико-механическими свойствами.

По данным дифференциально-термического и рентгенофазового анализов (рис. 4 и 5) новообразования представлены преимущественно слабокристаллизованными соединениями гидросиликата кальция –  $CSH(V)$  и  $C_2SH_2$ .

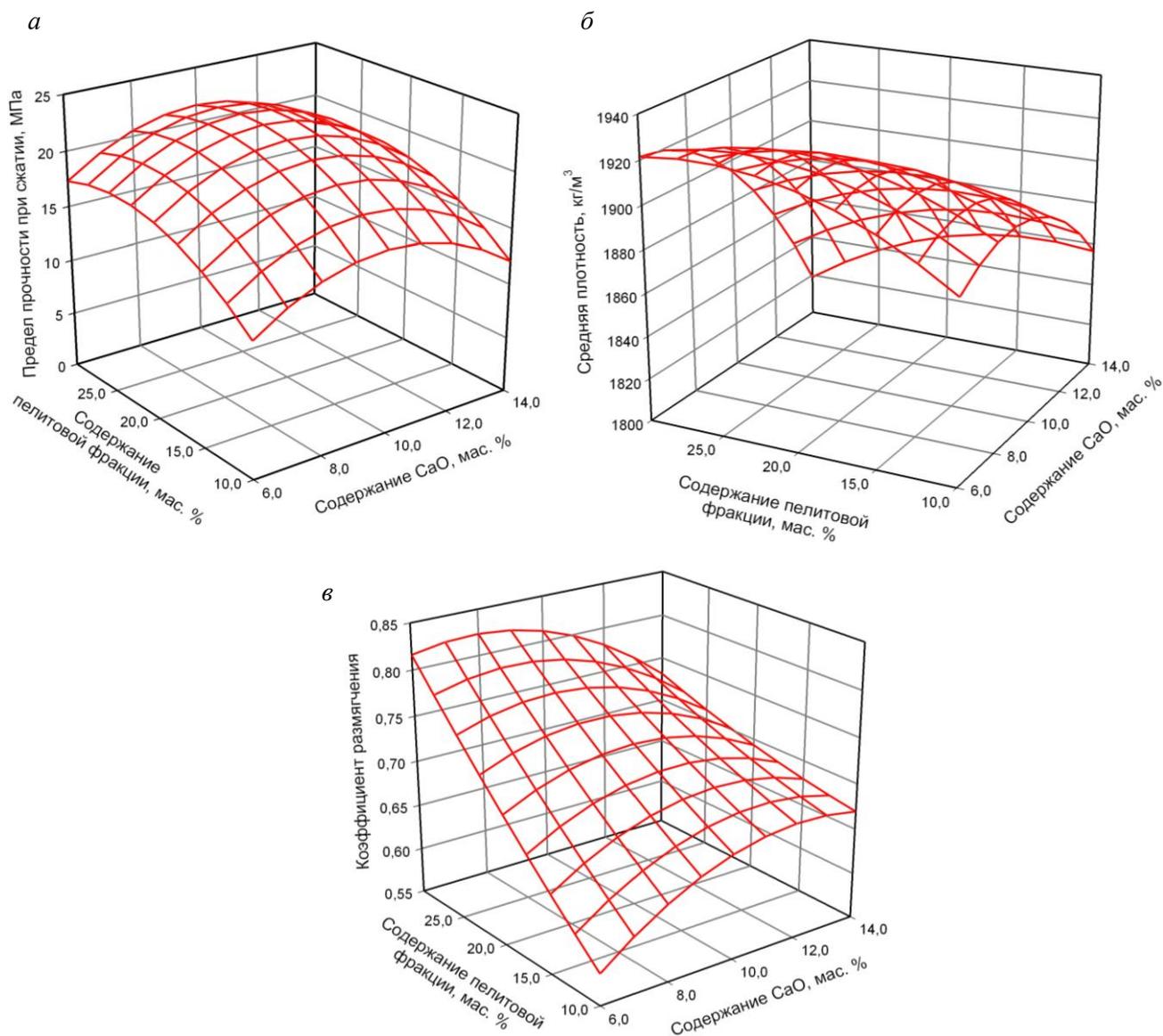


Рис. 3. Номограммы зависимости физико-механических свойств силикатных изделий от:  
 а – предела прочности при сжатии; б – средней плотности;  
 в – коэффициента размягчения

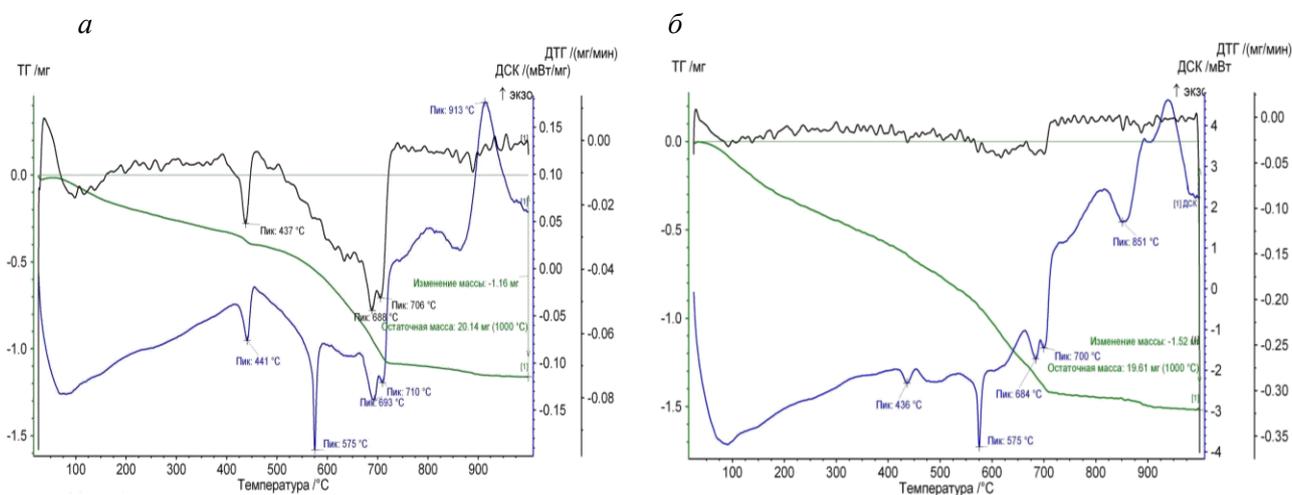


Рис. 4. Деривотограммы образцов с 10 мас. % извести с содержанием:  
 а – 10 мас. % пелитовой фракции; б – 30 мас. % пелитовой фракции

На кривой ДТА фиксируется эндотермический эффект при 120 °С, соответствующий обезвоживанию слабоокристаллизованных гидросиликатов кальция. Экзотермический эффект при 870 °С, свидетельствует о присутствии низкоосновных гидросиликатов кальция тоберморитового типа. На кривых ТГ и ДТГ также фиксируется потеря массы при 680 °С (рис. 4, а), что, вероятно, обусловлено разрушением комплексного карбонатсодержащего новообразования.

Эндоэффект при 575 °С связан с полиморфным превращением кварца.

Идентификация гидросиликатов кальция рентгенофазовым анализом затруднена, вследствие наложения рефлекса 3,04 Å на такой же рефлекс карбоната кальция (рис. 5). Отражения на рентгенограммах в интервале 2,73–2,79 Å относятся, вероятно, к присутствию гидрогранатов.

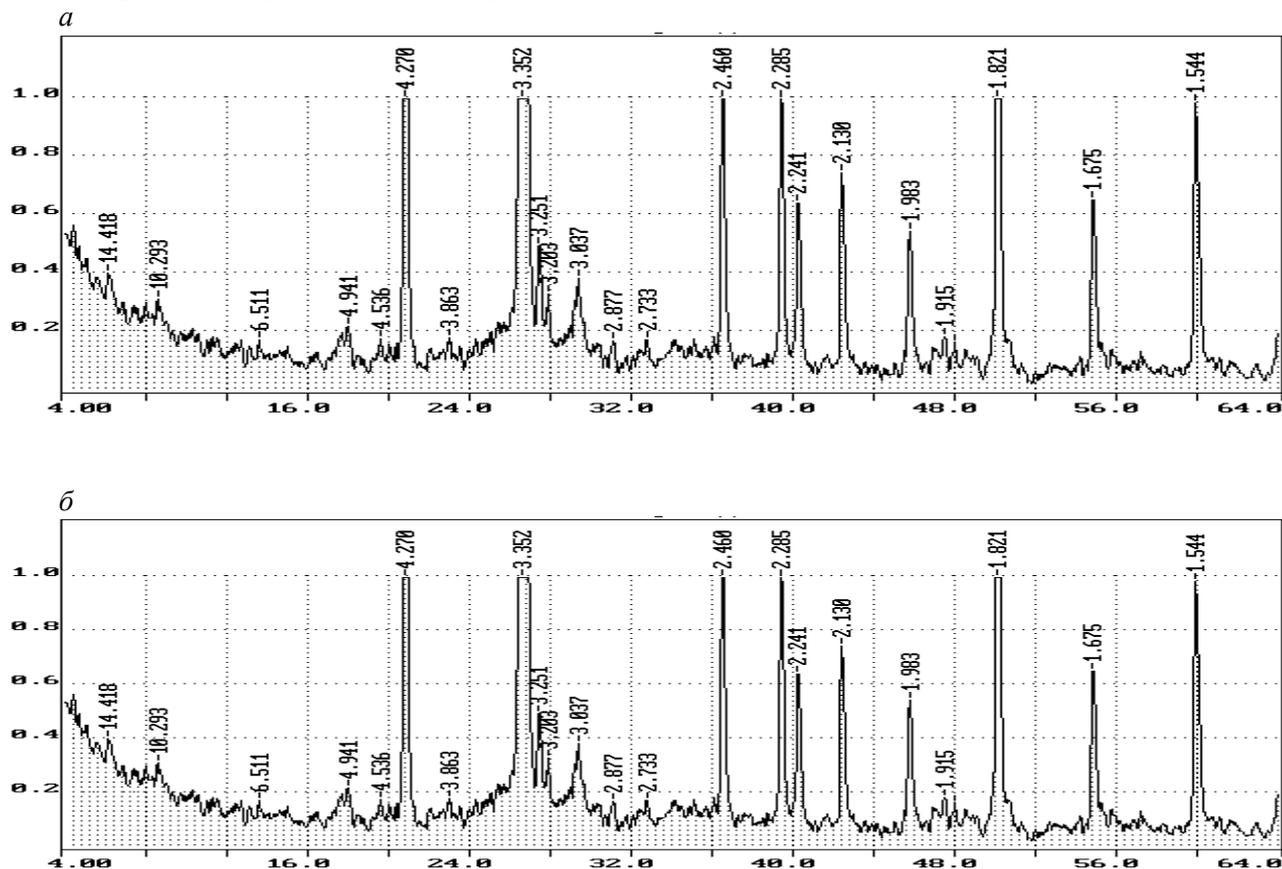


Рис. 5. Рентгенограмма образца с 10 мас. % извести с содержанием: а – 10 мас. % пелитовой фракции; б – 30 мас. % пелитовой фракции

При взаимодействии извести с глинистыми минералами в условиях тепловлажностной обработки ослабевают связи между кремнекислородными тетраэдрами и атомами алюминия в кристаллической решетке глинистого минерала, и как глинозем, так и кремнезем, и рентгеноаморфное вещество приобретают способность вступать в реакции с гидроксидом кальция.

Повышение прочности образцов с увеличением доли пелитовой фракции в исходной породе приводит к увеличению количества новообразований и формированию более плотного состава цементирующих соединений. Можно предположить, что содержание 20 мас. % пелитовой фракции и РАФ достаточно для формирования прочной микроструктуры цементирующего вещества и увеличение тонкодисперсной со-

ставляющей не приводит к заметному повышению прочности.

Таким образом, физико-механические свойства безавтоклавных силикатных материалов на основе песчано-глинистых пород существенно зависят от содержания пелитовой фракции, в состав которой входят рентгеноаморфная фаза и тонкодисперсный кварц. Оптимальное содержание пелитовой фракции в песчано-глинистой породе составляет около 20 мас. %. Такой состав песчано-глинистой породы обеспечивает в условиях пропарки формирование прочной микроструктуры цементирующего соединения, что позволит получать эффективные стеновые строительные материалы по энерго-сберегающей технологии.

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

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик, В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород / В.С. Лесовик. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 526 с.
2. Лесовик, В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография / В.С. Лесовик. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 213 с.
3. Лесовик, В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов / В.С. Лесовик // Изв. вузов. Строительство. – 1994. – № 7, 8. – С. 96–100.
4. Володченко, А.Н. Попутные продукты горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов / А.Н. Володченко, В.С. Лесовик, С.И. Алфимов, Р.В. Жуков // Современные наукоемкие технологии. – М., 2005. – № 10. – С. 79–79.
5. Алфимов, С.И. Техногенное сырье для силикатных материалов гидратационного твердения / С.И. Алфимов, Р.В. Жуков, А.Н. Володченко, Д.В. Юрчук // Современные наукоемкие технологии. – М., 2006. – № 2. – С. 59–60.
6. Володченко, А.Н. Силикатные материалы на основе вскрышных пород архангельской алмазонасной провинции / А.Н. Володченко, Р.В. Жуков, С.И. Алфимов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Новочеркасск, 2006. – № 3. – С. 67–70.
7. Прессованные материалы автоклавного твердения с использованием отходов производства керамзита / В.В. Строкова, Н.И. Алфимова, В.С. Черкасов, Н.Н. Шаповалов // Строительные материалы. – М., 2012. – № 3 – С. 14–15.
8. Володченко, А.Н. Особенности взаимодействия магнезиальной глины с гидроксидом кальция при синтезе новообразований и формирование микроструктуры / А.Н. Володченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 51–55.
9. Лесовик, В.С. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах / В.С. Лесовик, В.В. Строкова, А.А. Володченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 1. – С. 13–17.
10. Лесовик, В.С. Долговечность безавтоклавных силикатных материалов на основе природного наноразмерного сырья / В.С. Лесовик, А.А. Володченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 6–11.