

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ

volodchenko@intbel.ru

Разработана технология производства высокоэффективных стеновых материалов нового поколения с пределом прочности при сжатии до 32 МПа и морозостойкостью 15–25 циклов. Показана возможность снижения энергоемкости производства строительных материалов за счет использования нетрадиционного сырья многих регионах Российской Федерации, Королевства Камбоджа и других государств Юго-восточной Азии, Латинской Америки и т.д.

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

Решение задач в области жилищного строительства связано с внедрением новых эффективных строительных материалов и изделий. Традиционно наружные стены строились из кирпича или строительных блоков – материалов, опробованных и используемых уже на протяжении нескольких тысячелетий. Так уже более века изделия автоклавного твердения применяются в строительстве. Ведущее место в этой группе занимают силикатный кирпич и стеновые изделия из ячеистого бетона, которые по объему производства уступают лишь керамическому кирпичу и сборному железобетону.

Возрастающие темпы гражданского, промышленного, транспортного и других отраслей строительства привели к быстрому развитию производства автоклавных материалов. Но сегодня неуклонное повышение уровня CO₂ в атмосфере, в результате антропогенной деятельности и повышения консенсуса среди ученых всего мира, по данному вопросу, привели к рассмотрению и реализации политики, направленной на сокращение потребления ископаемых видов топлива и связанных с этим выбросов парниковых газов.

Актуальной задачей является снижение энергоемкости производства строительных материалов, разработка 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 проблемы возможно путем рационального использования горных пород, исследования нетрадиционных видов исходного

сырья с высокой внутренней энергией которое не используется в промышленных масштабах.

В качестве сырья для производства стеновых материалов можно использовать глинистые породы незавершенной стадии глинообразования, которые широко распространены во многих регионах Российской Федерации, Королевства Камбоджа, других государств Юго-восточной Азии, стран Латинской Америки и т.д. Это сырье, содержащее природные наноразмерные частицы, ускоряет процесс взаимодействия породообразующих минералов с вяжущим компонентом, что позволяет получать силикатные материалы не только при автоклавной обработке, но и в условиях пропарки без давления [1–12].

Для силикатных материалов, полученных по безавтоклавной технологии, на основе глинистых пород, оптимизация процесса структурообразования и создание более высокоорганизованной структуры является актуальной задачей, что и явилось целью настоящей работы.

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 алевритовые и пелитовые частички.

Нанодисперсные породы представлены смешаннослойными образованиями, рентгеноаморфной фазой, а также в небольших количествах присутствует гидрослюда, Ca²⁺ монтмориллонит и каолинит (рис.1)

Полиминеральный состав изучаемых песчано-глинистых пород, являющиеся природным нанодисперсным сырьем и их термодинамическая неустойчивость определяет возможность взаимодействия с известью, продуктами гидратации цемента с образованием цементирующих соединений при температуре 90–95 °С и, соот-

ветственно, получения стеновых силикатных материалов с низкими энергозатратами.

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

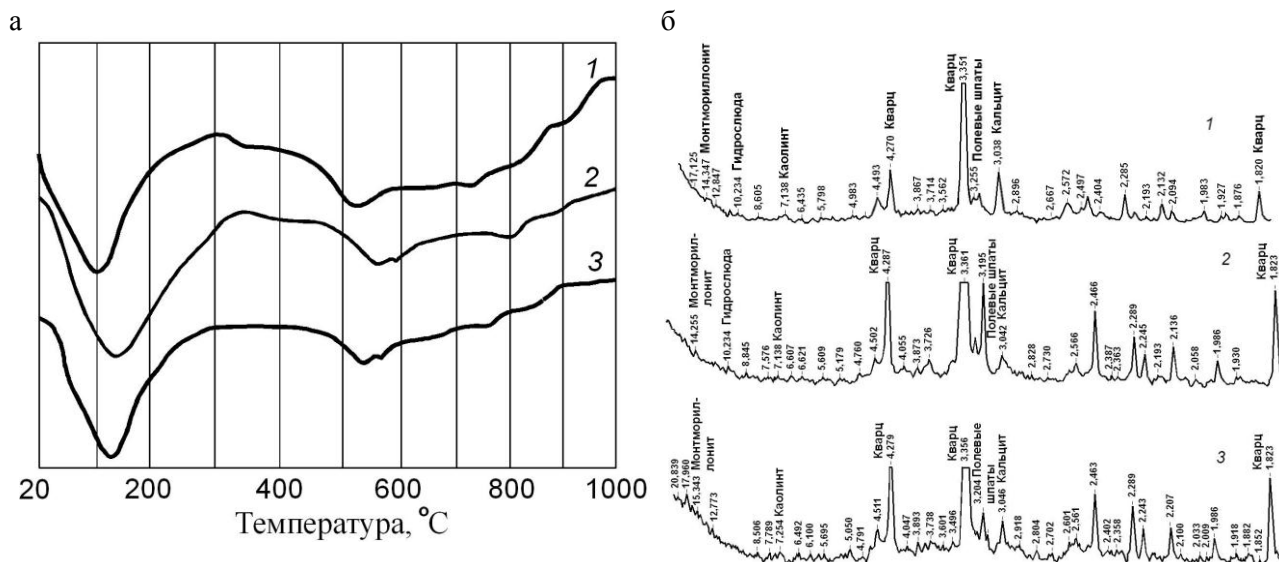


Рис. 1. Термограммы (а) и рентгенограммы (б) песчано-глинистых пород:

1 – супесь; 2 – суглинок № 1; 3 – суглинок № 2

В качестве вяжущих компонентов применяли портландцемент ОАО «Белгородский цемент» ЦЕМ I 42,5, негашеную комовую известь АО «Стройматериалы» (г. Белгород).

Содержание $\text{CaO}_{\text{акт}}$ в извести составляла 78,3 мас. %, температура гашения 97,5 °С, время гашения – 4 мин 30 сек.

Образцы готовили методом полусухого прессования и литьевого способа формования. Предварительно измельченную известь, цемент и исходную породу перемешивали в заданном соотношении, увлажняли необходимым количеством воды и выдерживали в герметичной чашке до полного гашения извести. Методика приготовления сырьевой массы для образцов литьевого способа формования была такой же, как и для образцов полусухого прессования. Отличие заключалось в том, что перед формованием в смесь добавлялась вода до получения консистенции, позволяющей проводить формование методом литья. Нормальная густота смеси составляла, в зависимости от состава, в пределах 40–55 %. Сформованные образцы подвергали гидротермальной обработке в пропарочной камере при температуре 90–95 °С по режиму: подъем температуры – 1,5 ч, время изотермической выдержки – 9 ч, снижение температуры – 1,5 ч. Общее время пропаривания составило 12 ч.

Для полученных образцов определяли предел прочности при сжатии, среднюю плотность, водопоглощение, коэффициент размягчения. Для оценки влияния действия воды на прочностные свойства полученного материала образцы каждого состава выдерживали в течение 1 года в водопроводной воде. Каждые 2 месяца воду меняли. По истечении указанного времени образцы испытывали на прочность в водонасыщенном состоянии. Результаты экспериментов приведены на рис. 2.

Максимальная прочность образцов в сухом и водонасыщенном состоянии достигается при содержании извести 10 мас. % и составляет соответственно 22,58 и 18,35 МПа (см. рис. 2, кривая 1 и 2). Коэффициент размягчения составляет 0,81, что свидетельствует о высокой водостойкости полученного материала. Средняя плотность с увеличением содержания извести с 5 до 15 мас. % уменьшается с 1880 до 1755 кг/м³, водопоглощение увеличивается с 13,03 до 16,75 %.

Результаты испытаний водонасыщенных образцов, выдержанных 1 год в воде, показали значительное повышение прочности в сравнении с водонасыщенными образцами, которые не подвергались длительному хранению в воде (см. рис. 2, кривая 3). Максимальной прочности

34,71 МПа образцы достигают при содержании извести 12 мас. %. При этом прочность, в сравнении с образцами без длительного хранения в воде повысилась в два раза. Это связано с тем,

что порообразующие минералы породы и, в частности, ее наноразмерная составляющая обеспечивают синтез цементирующего соединения, обладающего гидравлическими свойствами

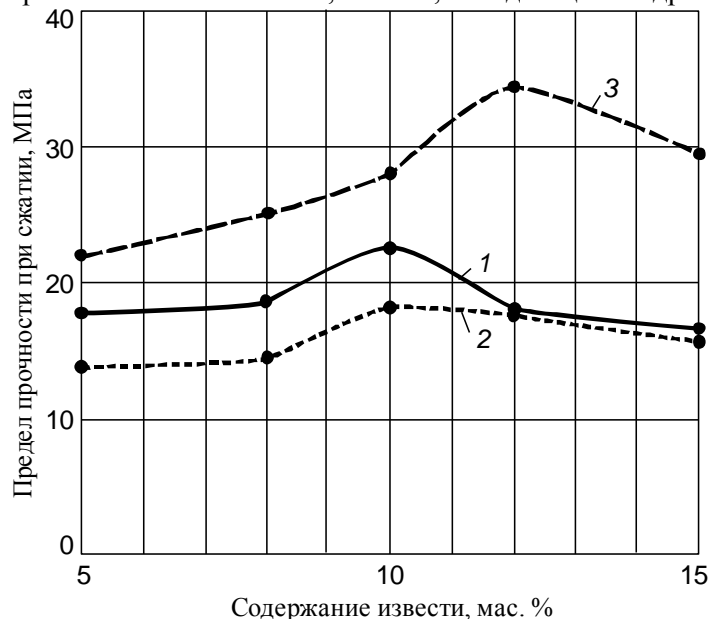


Рис. 2. Предел прочности при сжатии образцов в зависимости от содержания извести:

1 – образцы после 2-х сут выдержки при комнатной температуре; 2 – водонасыщенные образцы; 3 – водонасыщенные образцы после года хранения в воде

Для оптимизации процесса структурообразования и создания более высокоорганизованной структуры на макро-, микро- и наноуровне проведены исследования с использованием комплексного вяжущего из извести и портландцемента. Эксперименты проводили с использованием супеси и суглинка № 2. Содержание изве-

сти в массе сухой смеси составляло 5 мас. %, портландцемента – 5, 10, 15 и 20 мас. %. Формовочная влажность смеси литьевого способа формования составила 40 %, полусухого прессования – 10 %. Полусухое прессование проводили при давлении 10 МПа. Результаты испытаний приведены на рисунке 3.

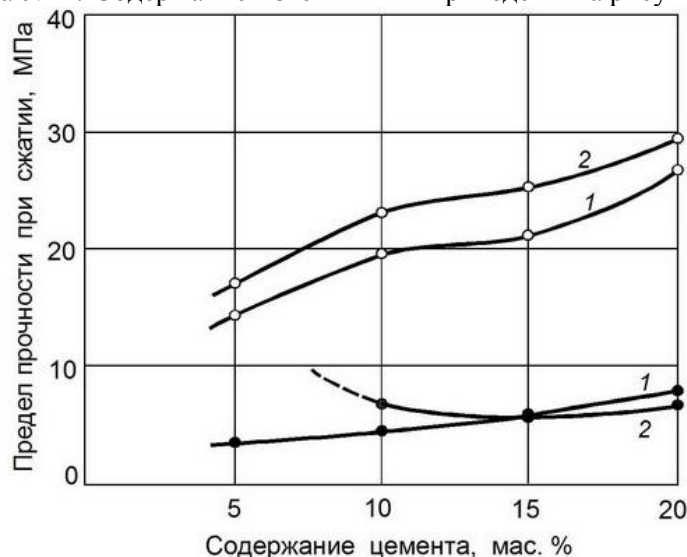


Рис. 3. Предел прочности при сжатии образцов с 5 мас. % извести в зависимости от содержания портландцемента:

●—● — образцы литьевого способа формования
○—○ — образцы полусухого формования
1 – супесь; 2 – суглинок № 2

При увеличении в известково-глинистой массе содержания цемента с 5 до 20 мас. % прочность образцов литьевого способа формования на основе супеси увеличивается с 3,67

МПа до 7,63 МПа (рис. 3). При этом водостойкими являются образцы с содержанием 10–20 мас. % цемента (коэффициент размягчения 0,72–0,88). Коэффициент размягчения образцов с со-

держанием 5 мас. % цемента составляет 0,62. При этом у образцов этого состава при нахождении в воде наблюдалось частичное разрушение поверхности.

Известково-глинистые образцы с содержанием 5 мас. % цемента на основе суглинка № 2 в воде полностью разрушились. При увеличении содержания цемента выше 10 мас. % обеспечивается водостойкость получаемого материала.

Прочность образцов полусухого прессования повышается при увеличении содержания портландцемента, причем, характер повышения прочности (рис. 3) для обоих видов глинистых пород практически одинаковый. Для супеси прочность повышается 14,38 до 26,43 МПа, для суглинка № 2 с 16,71 до 29,15 МПа. Прочность образцов на основе суглинка № 2 в сравнении с супесью выше на 16,2–19,4 %. Это связано, вероятно, с тем, что в суглинке № 2 содержание пелитовой фракции выше, чем у супеси.

В силикатных материалах на основе комплексного вяжущего с высоким содержанием глинистых минералов повышается прочность и устойчивость кристаллизационных структур, так как известь компенсирует в растворе образующийся недостаток ионов кальция. Известь ускоряет процесс твердения и увеличивает прочность силикатных материалов с содержанием цемента, но, вероятно, степень этого влияния будет зависеть от состава глинистых пород.

Образцы с содержанием цемента 5–10 мас. % также не являются водостойкими (коэффициент размягчения составляет 0,46–0,61). Только при содержании цемента 15 мас. % и выше образцы становятся водостойкими.

Средняя плотность с увеличением содержания цемента повышается для образцов наливного способа формования на основе супеси и суглинка № 2 соответственно с 1410 до 1450 кг/м³ и с 1385 до 1410 кг/м³, для полусухого способа формования соответственно с 1705 до 1760 кг/м³ и с 1710 до 1750 кг/м³. Средняя плотность образцов на комплексном вяжущем выше, чем на вяжущем только на основе извести. Водопоглощение для всех образцов с увеличением содержания цемента снижается. Образцы с содержанием 15 и 25 мас. % извести выдержали 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Состав цементирующих соединений в образцах, полученных методом полусухого прессования, изучали термографическим и рентгенографическим методами анализа (рисунок 4 и 5).

Гидросиликаты кальция образуются не только в результате реакции гидроксида кальция с порообразующими составляющими глинистой породы, но и в результате гидратации

клинкерных минералов цемента. На кривой ДТГ при 180 °С фиксируется рефлекс потери массы (рис. 4), который связан с дегидратацией новообразований, наиболее вероятно, хорошо окристаллизованных гидросиликатов кальция. Можно предположить, что при гидратации клинкерных минералов образуются гидросиликаты более высокой степени кристаллизации, чем при взаимодействии извести и глинистых минералов.

Синтез гидросиликатов кальция более высокой степени кристаллизации обуславливает формирование более плотного цементирующего соединения. Этим можно объяснить более высокую прочность образцов на основе комплексного вяжущего и повышенную среднюю плотность.

Идентификация гидросиликатов кальция по рентгенограмме, как уже указывалось выше, 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 гидрогранатам.

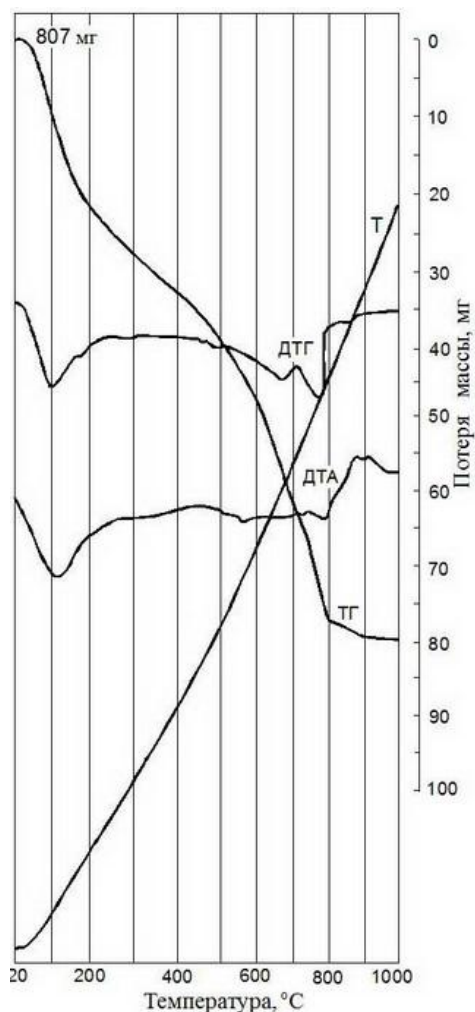


Рис. 4. Дериватограмма образца, полученного прессованием, на основе супеси с содержанием 5 мас. % извести и 15 мас. % цемента

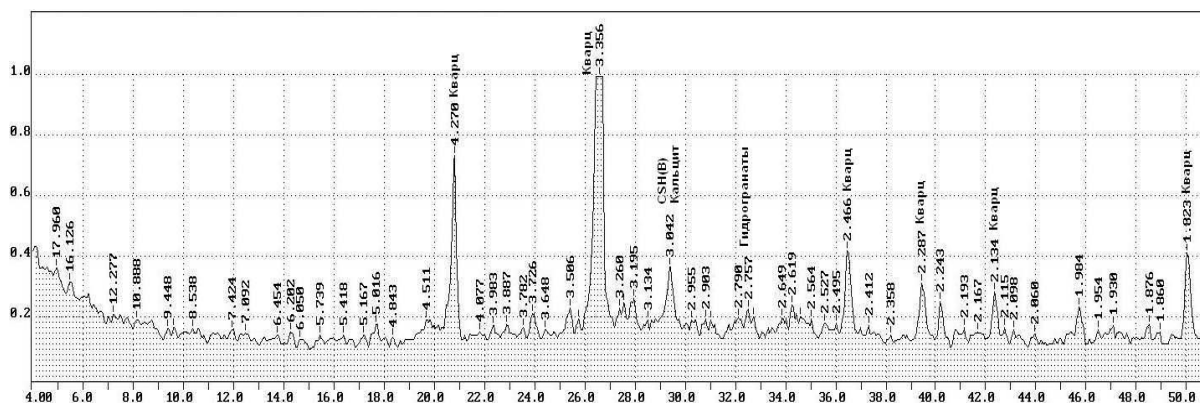


Рис. 5. Рентгенограмм образца, полученного прессованием, на основе супеси с содержанием 5 мас. % извести и 15 мас. % цемента

Таким образом, использование комплексного вяжущего на основе цемента и извести формирует более благоприятное соотношение между гелевидными и хорошо окристаллизованными новообразованиями, оптимизирует состав цементирующего соединения, что позволяет получать силикатные материалы более высокой прочности в сравнении с силикатными материалами только на основе глинистой породы и извести. Только необходимо учитывать, что при содержании извести 5 мас. % для обеспечения высокой водостойкости изделий содержание цемента по отношению ко всей массе сырьевой смеси должно составлять не менее 15 мас. %. Поэтому, когда ставится задача выбора в качестве вяжущего извести или комплексного на основе извести и цемента необходимо исходить из требуемых прочностных показателей и материальных затрат на получение стеновых материалов.

Таким образом, на основе изучаемого сырья можно получать высокоэффективные безавтоклавных силикатные материалы с использованием песчано-глинистых пород, извести и цемента, с пределом прочности при сжатии до 32 МПа. Морозостойкость составляет 15–25 циклов. На основе полученных данных можно проводить оценку сырьевых ресурсов месторождений подобного сырья в различных регионах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. – М.: Изд-во АСВ, 2006. 526 с.
2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 213 с.
3. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Автоклавные ячеистые бетоны на основе магнезиальных глин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 5. С. 14–21. 4. 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.
5. Володченко А.Н. Влияние песчано-глинистых пород на оптимизацию микроструктуры автоклавных силикатных материалов // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 47. № 4. С. 32–36.
6. Володченко А.Н. Вяжущее на основе магнезиальных глин для автоклавных силикатных материалов // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 30. № 3. С. 38–41.
7. 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.
8. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние глинистого сырья на микроструктуру безавтоклавных силикатных материалов // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 30. № 3. С. 42–44.
9. Володченко А.А. Свойства безавтоклавных стеновых материалов на основе песчано-глинистых пород // Технические науки – от теории к практике. 2013. № 17-2. С. 7–12.
10. Володченко А.А. Влияние режима гидротермальной обработки на свойства силикатных материалов // Фундаментальные исследования. 2013. № 6. Ч. 6. С. 1333–1337.
11. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 56–59.
12. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н. Материалы автоклавного твердения с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-3. С. 525–529.