DOI: 10.12737/24193

Володченко А.Н., канд. техн. наук, доц.,
Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ

Atomic08@yandex.ru

Установлено, что глинистые породы незавершенной стадии минералообразования пригодны в качестве сырья для получения конструкционно-теплоизоляционных материалов автоклавного твердения. Высокая активность породообразующих минералов этого сырья ускорят синтез новообразований и формирование рациональной микроструктуры цементирующего соединения, что обеспечивает высокие физико-механические свойства ячеистых бетонов. При этом за счет снижения давления и времени автоклавной обработки, а также упрощения технологии возможно сокращение затрат энергии на производство до 35 %.

Ключевые слова: *глинистые породы, газобетонная смесь, автоклавная обработка, структурообразование, конструкционно-теплоизоляционные материалы.*

Повышение эффективности строительства связано со снижением материалоемкости строительных конструкций и уменьшением их теплопроводности без существенной потери несущей способности. Для этого необходима разработка эффективных легких бетонов, которые сочетают высокую прочность с низкой теплопроводностью.

Наиболее оптимальным сочетанием несущей способности с низкой теплопроводностью обладают газобетоны конструкционно-теплоизоляционного назначения. Сырьем для их производства является кварцевый песок, известь и цемент. Исключение из состава вяжущего цемента и использование только извести приводит к снижению физико-механических характеристик ячеистого бетона, повысить которые можно за счет использования сырья, позволяющего изменить состав и морфологию новообразований. Для этого можно использовать техногенное алюмосиликатное сырье и, частности, глинистые породы незавершенной стадии минералообразования [1–14].

Целью работы является изучение свойств ячеистых бетонов конструкционно-теплоизоляционного назначения на основе глинистых пород незавершенной стадии минералообразования.

В качестве сырья для получения конструкционно-теплоизоляционных материалов использовали глинистую породу месторождения Курской магнитной аномалии (КМА) и две породы Архангельской алмазоносной провинции (ААП). По числу пластичности (I_p) породы относятся к супеси: супесь КМА – 6,5, супесь ААП-1 – 3,5, супесь ААП-2 – 2,2.

По гранулометрическому составу супесь КМА алеврито-пелитовая порода.. Количество пелитовой фракции составляет 22,63 мас. %, алевритовой – 61,64 мас. %. В супеси ААП-1 преобладают псаммитовые частицы (77 мас. %), в супеси ААП-2 – алевритовые (53,7 мас. %). Породы содержат большое количество кварца (32–36 мас. %)

Рентгенофазовым и термографическим анализ установлено, что глинистая фракция супеси КМА состоит преимущественно из гидрослюды и смешанослойных минералов, а также присутствует монтмориллонит и каолинит. Глинистые минералы супеси ААП-1 представлены гидрослюдой, монтмориллонитом и смешанослойными минералами, супеси ААП-2 – гидрослюдой, смешанослойными минералами и каолинитом. Породы также содержат рентгеноаморфную фазу.

Сырьевые смеси готовили по разработанной методике [15–17] на основе глинистых пород и вяжущего, полученного совместным помолом породы и извести ($S_{уд}$ = 500 м^2/кг), при этом высокая дисперсность пород ($S_{уд}$ = 120–140 м^2/г) позволила исключить их предварительный помол. Предварительно было установлено, что оптимальное соотношение породы и извести *C* для супеси ААП-1 составило 2,0, для супеси КМА и супеси ААП-2 – 1,5.

Исследование свойств ячеистых бетонов в зависимости от содержания извести, давления автоклавирования и длительности изотермической выдержки проводили с использованием метода математического планирования эксперимента. Интервалы планирования содержания извести были выбраны с использованием разработанной методики расчета известково-

глинистого вяжущего [1, 18] и предварительных испытаний. Режимы автоклавной обработки выбирались с учетом изучения возможности снижения давления и времени автоклавной обработки (табл. 1).

Таблица 1

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования		
Натуральный вид	Код. вид	–1	0	+1
Содержание $CaO_{акт}$, мас. % (для супеси КМА)	x_1	16	18	20
Содержание $CaO_{акт}$, мас. % (для супеси ААП-1 и супеси ААП-2)	x_1	14	16	18
Давление автоклавирования, МПа	x_2	0,6	1,0	1,4
Длительность изотермической выдержки, ч	x_3	2	5	8

На основе результатов обработки экспериментальных данных построены зависимости предела прочности при сжатии ячеистых бетонов от содержания $CaO_{акт}$, длительности изотермической выдержки и давления автоклавирования (рис. 1). Средняя плотность изделий составляла 700 кг/м^3.

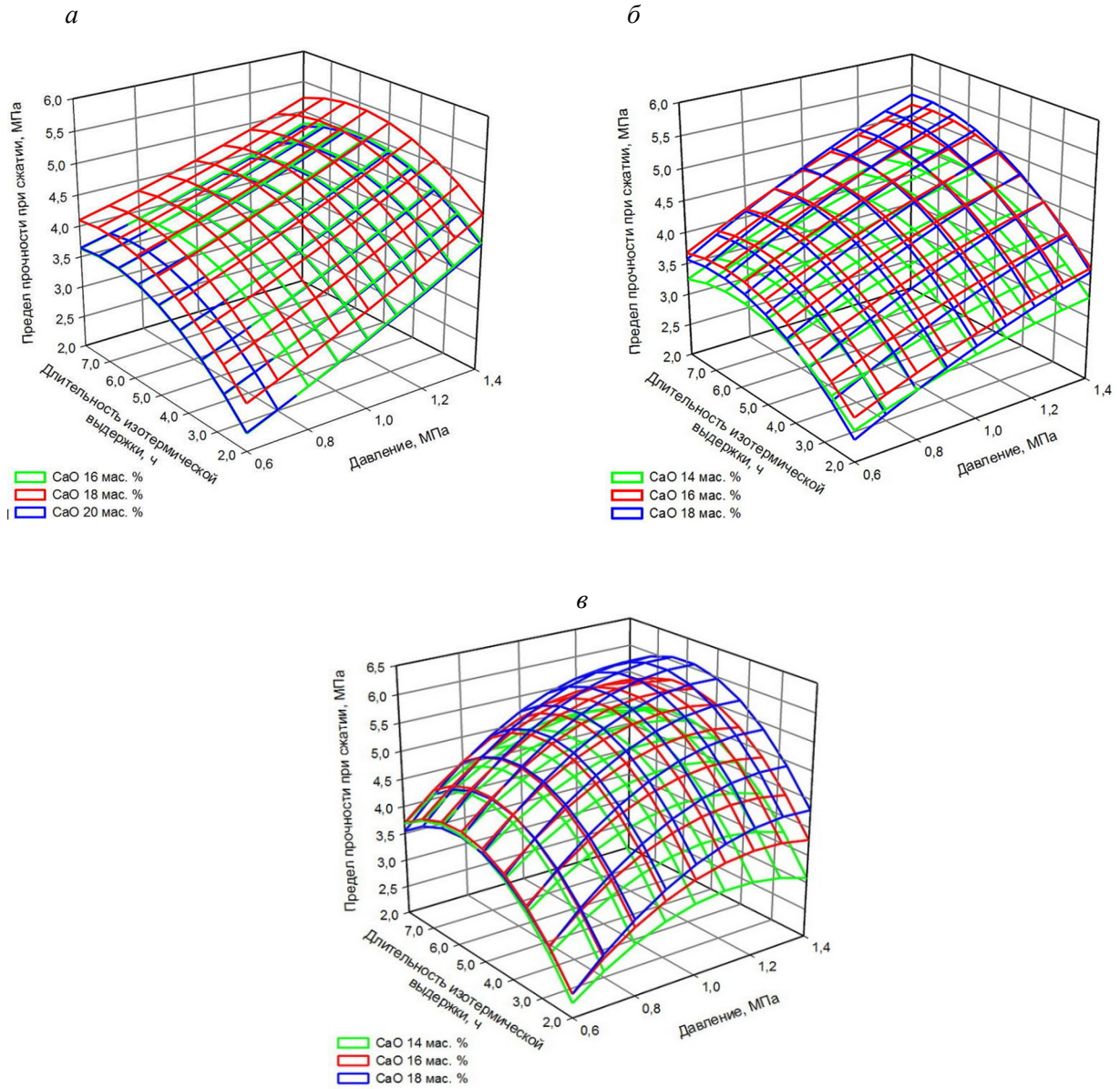

Рис. 1. Предел прочности при сжатии ячеистых бетонов на основе супеси КМА (*а*), супеси ААП-1 (б) и супеси ААП-2 (*в*) в зависимости от содержания $CaO_{акт}$, давления автоклавирования и длительности изотермической выдержки

Максимальную прочность ячеистый бетон набирает при активности смеси 18 мас. % для супеси КМА и 16 мас. % для супеси ААП. Очевидно, этого содержания $CaO_{акт}$ достаточно для синтеза рациональной структуры цементирующего соединения.

При повышении давления автоклавирования с 0,6 до 1,4 МПа предел прочности при сжатии изделий возрастает, при этом прирост прочности при увеличении давления тем больше, чем меньше продолжительность автоклавирования. Оптимальная для набора максимальной прочности продолжительность изотермической выдержки составляет 5 ч.

Использование в качестве сырья глинистых пород повышает прочность ячеистых бетонов в сравнении с изделиями на традиционном сырье. Например, предел прочности при сжатии известково-песчаных (контрольных) образцов с содержанием $CaO_{акт}$ 14 мас. % и автоклавированных при давлении 1,0 МПа и 5 ч изотермической выдержки составил 3,20 МПа. При использовании в качестве сырья супеси КМА, супеси ААП-1 и супеси ААП-2 прочность составила соответственно 3,62, 3,82 и 4,2 МПа, что на 13–31 % выше значений известково-песчаных ячеистых бетонов.

Цементирующее соединение известково-песчаных ячеистых бетонов формируется в системе $CaO–SiO_2–H_2O$. При использовании глинистых пород фазообразование происходит в более сложной системе $CaO–SiO_2–Al_2O_3–Fe_2O_3–H_2O$. При этом образуются низкоосновные гидросиликаты кальция, тоберморит, гидрогранаты.

В структуре цементирующего соединения ячеистых бетонов на основе супеси КМА при изотермической выдержке 5 ч наблюдаются тонкие пластинки тоберморита (рис. 2, *а*), которые также идентифицируются на рентгенограмме по отражениям 11,38–11,43 Å. Аномальное отклонение от структуры тоберморита 11,3 Å связано, по-видимому, с замещением ионов Si^{4+} на Al^{3+}, что уплотняет его структуру.

а *б*

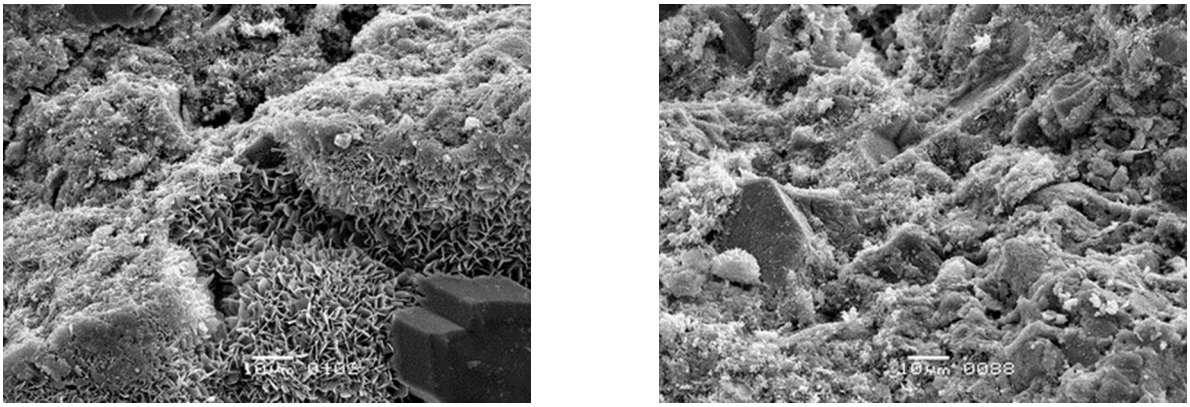

Рис. 2. Микроструктура ячеистого бетона на основе супеси КМА, автоклавированного при давлении 1 МПа, РЭМ: ×1000
а – 5 ч изотермической выдержки; *б* – 8 ч изотермической выдержки

При увеличении длительности гидротермальной обработки образовавшаяся структура гидросиликата становится нестабильной и происходит перекристаллизация. На рис. 2, *б* отмечаются отдельные фрагменты кристаллов, которые связанны гелевидными образованиями. Структура цементирующего соединения становится рыхлой и прочность его снижается. Можно сделать вывод, что рациональная микроструктура новообразований, обеспечивающая наибольшую прочность, формируется в течение 5 ч изотермической выдержки.

Подобный фазовый состав новообразований формируется в ячеистых бетонах на основе супеси ААП-1 и супеси ААП-2. Однако прочностные показатели ячеистых бетонов на основе этих пород различаются. Это связано, вероятно, с тем, что за счет индивидуального состава глинистых пород формируется цементирующее соединение с разным соотношением минеральных фаз.

Синтез более сложного фазового состава цементирующего соединения приводит к снижению его теплопроводности в сравнении с цементирующим соединением на основе традиционного известково-песчаного вяжущего. За счет этого снижается теплопроводность межпоровых перегородок и, соответственно, теплопроводность ячеистого бетона на основе глинистых пород.

Таким образом, использование в качестве сырья для производства конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов глинистых пород ускоряет синтез цементирующих

соединений, оптимизируется их состав и микроструктуру что существенно повышает физико-механические показатели изделий. При этом время изотермической выдержки сокращается в 2 раза в сравнении с ячеистыми бетонами на основе традиционного сырья, за счет чего возможно снижение энергозатрат на производство.

На основе полученных результатов исследований предложены составы газобетонных смесей для получения конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона с маркой по средней плотности D700 и D500. Для получения ячеистого бетона марки D500 изучаемые породы необходимо предварительно измельчать до удельной поверхности 250 м^2/кг.

Предел прочности при сжатии известково-песчаных ячеистых бетонов марки по средней плотности D700 составил 4,1 МПа (табл. 2). Использование в качестве сырья глинистых пород повысило прочность ячеистого бетона. Для изделий на основе супеси ААП-1 предел прочности при сжатии составил 4,5 МПа, что на 10 % выше прочности известково-песчаных. Максимальной прочностью обладает ячеистый бетон на основе супеси ААП-2 – 5,4 МПа, что на 32 % выше прочности известково-песчаных. Предел прочности при сжатии известково-песчаных ячеистых бетонов марки по средней плотности D500 составил 2,5 МПа (см. табл. 2). Максимальное повышение прочности (36 %), как и для ячеистого бетона марки D700, обеспечивает супесь ААП-2, минимальное (15 %) – супесь ААП-1. Коэффициент теплопроводности ячеистого бетона в зависимости от средней плотности находится в пределах 0,10–0,15 Вт/(м·°С), морозостойкость ячеистых бетонов составляет не менее 25 циклов.

Таблица 2

Свойства конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов на основе глинистого сырья

Порода	Состав вяжущего, мас. %					Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему (С)	Содержание $CaO_{акт}$, мас. %	Предел прочности при сжатии, МПа	Водонасыщение $W_{нас}$ через 72 ч испытаний, в % по массе	Влажностная усадка, мм/м	Марка по морозостойкости, F	Коэффициент тепло-проводности, Вт/(м·°С)
	Известь	Супесь ААП-1	Супесь ААП-2	Супесь КМА	Песок кварцевый							
$S_{уд}$ = 120–140 м^2/кг	D700											
Песок кварцевый	40	–	–	–	60	1,5	16	4,10	45,1	0,50	15	0,17
Супесь ААП-1	40	60	–	–	–	2,0	16	4,50	43,3	0,45	25	0,14
Супесь ААП-2	40	–	60	–	–	1,5	16	5,40	41,5	0,40	25	0,15
Супесь КМА	45	–	–	55	–	1,5	18	4,60	42,9	0,45	25	0,15
$S_{уд}$ = 250 м^2/кг	D500											
Песок кварцевый	40	–	–	–	60	1,5	16	2,5	55,5	0,50	25	0,12
Супесь ААП-1	40	60	–	–	–	2,0	16	2,85	53,8	0,52	25	0,10
Супесь ААП-2	40	–	60	–	–	1,5	16	3,40	52,5	0,45	25	0,11
Супесь КМА	45	–	–	55	–	1,5	16	2,90	55,1	0,51	25	0,12

Таким образом, глинистые породы незавершенной стадии минералообразования пригодны в качестве сырья для получения конструкционно-теплоизоляционных автоклавных ячеистых бетонов. Высокая активность породообразующих минералов этого сырья ускорят синтез новообразований и формирование рациональной микроструктуры цементирующего соединения, что обеспечивает высокие физико-механические свойства ячеистых бетонов. При этом за счет снижения давления и времени автоклавной обработки, а также упрощения технологии возможно сокращение затрат энергии на производство до 35 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с уче-

том генезиса горных пород. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 526 с.

2. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород, 2014.

3. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. С. 10–20.

4. Кара К.А. К вопросу о технико-экономической эффективности неавтоклавного ячеистого бетона // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 4 (29). С. 20–27.

5. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород, 2011.

6. Лесовик В.С., Володченко А.А. Влияние состава сырья на свойства безавтоклавных силикатных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 10-15.

7. Алфимова Н.И. Вишневская Я.Ю, Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья. Saarbrucken. LAP LAMBERT, 2013. 127 с.

8. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н. Материалы автоклавного твердения с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-3. С. 525–529.

9. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н. Повышение водостойкости силикатных материалов за счет введения техногенного алюмосиликатного сырья //«Современная наука: тенденции развития»: IV Междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 26 марта 2013 г.: Сборник научных трудов. Т.2. Краснодар, 2013. С. 72–73.

10. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Volodchenko A.N., Zagorodnjuk L.H. Improving the efficiency of wall materials for «green» building through the use of aluminosilicate raw materials // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45142–45149.

11. 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.

12.Алфимова Н.И. Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих. Saarbrucken. LAP LAMBERT, 2012. 97 с.

13. Алфимова Н.И. Прессованные материалы автоклавного твердения с использования техногенного сырья // [Электронный ресурс]: Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 24 мая 2011 г. БГТУ. Белгород, 2011.

14. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. Influence of the inorganic modifier structure on structural composite properties // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 19. С. 40617–40622.

15. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., А.А. Володченко А.А. Регулирование свойств ячеистых силикатных бетонов на основе песчано-глинистых пород // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 10. С. 4–9.

16. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутно-добываемых пород Архангельской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 13–18.

17. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Автоклавные ячеистые бетоны на основе магнезиальных глин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 5. С. 14–21.

18. Володченко А.Н. Оптимизация состава сырьевой смеси силикатных материалов на основе известково-глинистого вяжущего // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. № 5. С. 237–240.

Volodchenko A.N., Strokova V.V.

FEATURES OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING CONSTRUCTIONAL HEAT INSULATING CELLULAR CONCRETE BASED ON NONCONVENTIONAL RAW MATERIALS

It was found that the clay rocks unfinished stage mineral suitable as a raw material for thermal insulation materials construction-autoclaved. High activity of raw rock-forming minerals accelerate the synthesis of tumors and the formation of a rational connection cementitious microstructure that provides high physical and mechanical properties of porous concrete. At the same time by reducing the pressure and time of autoclaving and simplify technology possible reduction of energy production costs by 35%.

Key words: *clay rocks, gas-silicate mixture, autoclaved aerated concrete, structure formation, construction-insulating materials.*

Володченко Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, профессор, кафедры теоретической и прикладной химии.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: vvstrokova@gmail.com

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: vvstrokova@gmail.com