

УДК 666.973.3

**К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СТЕНОВЫХ ГАЗОСИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*канд. техн. наук, доц. В.В. БОЗЫЛЕВ, канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ, Е.В. РЯДЧИКОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Исследуются вопросы совершенствования технологии изготовления стеновых газосиликатных изделий. Проанализированы современные способы формования стеновых газосиликатных блоков. Важным этапом производственного процесса, обеспечивающим достижение высоких показателей их качества, является формование массивов. Показаны технологические способы производства формования ячеисто-бетонного массива. Представлены результаты исследований вяжущего для получения силикатных изделий, в котором до 50 % извести заменены микронаполнителем с преобладанием аморфной структуры из молотых отходов литейного производства – ваграночного шлака и отработанной формовочной смеси. Приводятся сведения о разработанной и запатентованной установке для активации процесса вспучивания ячеисто-бетонной смеси. Данное решение обеспечивает повышение однородности изделий по прочности и объемной массе.

Введение. Проблема улучшения качества стеновых материалов является актуальной в Республике Беларусь. Разработка эффективных технологических решений в производстве газосиликатных блоков является важной составляющей в комплексе мер, направленных на повышение уровня качественных показателей выпускаемой продукции.

В настоящее время широкое распространение и развитие получило производство ячеисто-бетонных изделий по резательной технологии. Применение резательной технологии в отличие от формования изделий в индивидуальных формах позволяет осуществлять производство всего ассортимента изделий из ячеистого бетона в формах 1 – 2 типоразмеров, проводить автоклавную обработку массивов на специальной запарочной решетке без бортоснастки. Это способствует увеличению оборачиваемости форм и снижению металлоемкости парка форм в 2 – 3 раза, при этом повышается коэффициент заполнения автоклава до значений 0,4 – 0,45. Соответственно снижаются на 20 – 30 % удельные энергозатраты на 1 м³ ячеисто-бетонных изделий, увеличивается в 1,5 – 2 раза производительность формовочных линий за счет увеличения объемов формируемых массивов ячеисто-бетонного сырца [1].

В СССР основной объем изделий по резательной технологии выпускался на оборудовании «Универсал-60», созданном в институте НИПИСиликатобетон, которое в серийном исполнении получило название СМС-300. Комплект оборудования и оснастки для производства изделий из ячеистого бетона по резательной технологии предназначен для доавтоклавной резки массивов на стеновые блоки, перегородочные плиты и армированные панели, плиты покрытия и перекрытия. Он включает резательную машину для продольной и поперечной резки массива, захват для подъема и перемещения массивов, автоклавные решетки и специальный захват для их транспортировки.

В Республике Беларусь имеются заводы, продолжающие работать с использованием старой технологической оснастки, в том числе в Витебской области – Оршанский завод силикатных изделий. Построенные в последние годы и проектируемые новые линии ориентируются на использование европейских технологических решений, позволяющих выпускать блоки высокой точности. В 2007 году выпуск ячеисто-бетонных изделий составил 2,85 млн. м³. Учитывая высокую технико-экономическую эффективность, Основными направлениями развития материально-технической базы строительства Республики Беларусь на период 1998 – 2015 годов ячеисто-бетонные изделия определены главным стеновым материалом и до 2015 года существующие мощности по его производству должны быть увеличены в 2,1 раза.

Основная часть. В Полоцком государственном университете получены результаты, которые позволяют улучшить качественные показатели изготавливаемых газосиликатных изделий за счет совершенствования процессов формования, а также оптимизации состава сырьевых смесей за счет введения микронаполнителя из компонентов с аморфной структурой. В качестве компонентов с аморфной структурой использовались:

- молотые отходы литейного производства – ваграночный шлак (содержание основных компонентов: СаО – 28 %; SiO₂ – 48 %);
- отработанная формовочная смесь (ОФС) с содержанием SiO₂ 95 %.

Результаты изучения влияния микронаполнителей на физико-механические характеристики силикатного вяжущего получены на образцах плотной структуры с отношением извести и ОФС от 0,5 до 1,5.

Обеспечение заданных физико-механических характеристик изготавливаемых изделий происходит за счет комплекса решений на всех производственных этапах. Так, выбор состава сырьевой смеси во многом определяет конечные показатели. Значительный резерв снижения расхода извести может обеспечить использование результатов выполненных исследований по применению в сырьевых составах отходов производства – молотого шлака и отработанной формовочной смеси.

Процессы твердения с применением микронаполнителей, изготовленных из ваграночного шлака, отличаются сложностью и многообразием взаимодействий смеси компонентов в водной среде, в которой имеется известковая и шлаковая часть. При добавке извести к ваграночным шлакам наблюдается очень узкий диапазон эффективного ее влияния, выход за который приводит к падению прочности образцов. В исследованиях прочность определяется при добавке 5 % извести. В этом случае наличие аморфных гидравлических составляющих обеспечивает сырьевой смеси необходимую активность. В связи с этим полученные прочностные характеристики обусловлены не только составом новообразований, но и прочностью самого конгломерата. Исключение составляют смеси, у которых исходное содержание CaO на поверхности песка низкое. В этом случае образование CSH(B) происходит при наличии свободного Ca(OH)₂, поскольку подобные смеси не способны поддерживать необходимую для образования C₂SH(A) концентрацию [2].

Таким образом, для обеспечения эксплуатационных характеристик (прочности, морозостойкости и других показателей) необходимо присутствие в составе сырьевых смесей активных аморфных составляющих, участвующих в синтезе гидросиликатов кальция наравне с гидроокисью кальция и способствующих увеличению количества низкоосновных гидросиликатов кальция и тоберморита, существенно влияющих на показатели долговечности силикатных изделий.

Результаты экспериментальных исследований по определению прочностных характеристик образцов, имеющих различный смесевой состав, представлены таблице.

Предел прочности на сжатие сырца и автоклавированного материала, МПа

Процент микронаполнителя (молотый шлак фракции 75 – 100 мкм)	И/ОФС = 0,5		И/ОФС = 1,0		И/ОФС = 1,5	
	R _{сж} ^{сырца} , МПа	R _{сж} ^{автоклав.} , МПа	R _{сж} ^{сырца} , МПа	R _{сж} ^{автоклав.} , МПа	R _{сж} ^{сырца} , МПа	R _{сж} ^{автоклав.} , МПа
0	0,95	30,6	0,95	15,4	0,72	11,8
10	0,99	24,7	0,95	18,9	1,11	15,9
30	0,95	29	1,11	21,2	1,49	15,9
50	1	40,8	1,01	34,1	0,99	25
70	0,72	36,3	1	36,7	0,95	33,2
100	0,17	–	0,14	–	0,11	–

Полученные результаты были использованы для оптимизации составов известково-кремнеземистого вяжущего с использованием молотых отходов литейного производства. При этом при снижении в 2 раза расхода извести обеспечены прочностные показатели как сырца, так и образцов после автоклавной обработки.

Выполнены исследования, подтвердившие идентичность новообразований составов без замены и с заменой 50 % извести молотым шлаком и отработанной формовочной смесью.

Известно влияние минералогического состава исходных компонентов сырьевой смеси на автоклавный синтез новообразований. Исходные сырьевые компоненты силикатных материалов при соответствующих технологических параметрах образуют растворы, в которых образование конечных фаз зависит от скорости накопления растворенного SiO₂ и CaO в жидкой фазе.

Присутствие в составе вяжущего тонкоизмельченного компонента с высокой удельной поверхностью способствует адсорбции на ней активной составляющей вяжущего с дальнейшим образованием гелеобразных веществ. В процессе автоклавной обработки на их основе возникают низкоосновные гидросиликаты кальция, тоберморит и гидрат $\gamma = C_2S$, причем синтезированные фазы низкоосновных гидросиликатов кальция срстаются с поверхностью зерен заполнителя. Присутствие в вяжущем минералов с различной природой позволяет управлять процессом синтеза, делая его более полным, а значит решить проблему рационального использования основного энергоемкого компонента вяжущего – извести.

В выполненных исследованиях силикатные вяжущие, содержащие в своем составе измельченные отходы литейного производства – шлак с размером зерен 75 – 100 мкм и отработанную формовочную смесь, в которой присутствие аморфного кремнезема позволяет, изменяя фазовый состав, влиять на

свойства готового изделия. На рентгенограмме образцов (рис. 1) имеются дифракционные пики с углами $2\theta = 50,137$, что подтверждает наличие низкоосновных гидросиликатов кальция, которые образуются в течение первых 4-х часов автоклавной обработки. При увеличении длительности запаривания до 7 часов на рентгенограммах появляются интенсивные линии с углом $2\theta = 29,378$, принадлежащие тобермориту.

По результатам экспериментальных исследований построены адекватные статистические модели прочности при сжатии сырца (1), прочности при сжатии автоклавированного материала (2) и коэффициента морозостойкости (3).

Предел прочности при сжатии сырца:

$$R_{сж.сырца} = 0,51 + 0,14 X_1 - 0,09X_2 + 0,07X_4 - 0,04X_1 X_2 - 0,04X_1 X_3 + 0,04X_1 X_4 - 0,04X_2 X_4. \quad (1)$$

Предел прочности при сжатии автоклавированного материала:

$$R_{сж.авт} = 13,8 + 4X_1 - X_2 + 0,75X_3 + 1,4 X_4 - 0,7 X_4^2 + X_1 X_2. \quad (2)$$

Коэффициент морозостойкости:

$$K_{мороз.} = 0,762 + 0,114X_1 + 0,067X_6 + 0,07X_1 X_2 - 0,069X_1X_6 + 0,083X_2 X_5 + 0,084X_3X_5 + 0,08 X_4X_6. \quad (3)$$

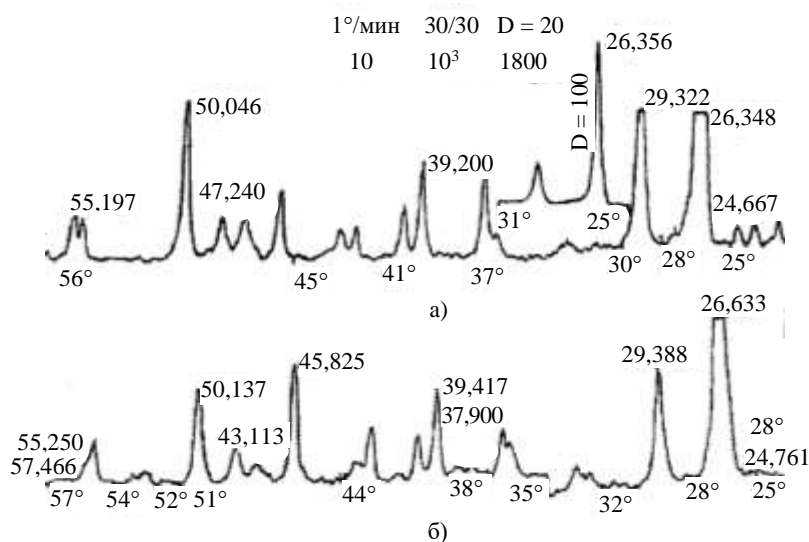


Рис. 1. Рентгенограммы образцов:
 а – с содержанием в качестве вяжущего 10 % извести и 15 % кварцевого песка;
 б – с содержанием в качестве вяжущего 5 % извести, 5 % молотого шлака и 15 % отработанной формовочной смеси

По полученным данным исследований технологических параметров и сырьевых составов в зависимости от требуемых свойств готовых изделий построены номограммы влияния расхода микронаполнителя и отработанной формовочной смеси в вяжущем на прочность автоклавированного материала, прочность сырца и коэффициент морозостойкости (рис. 2).

Результаты проведенного эксперимента позволяют прогнозировать прочностные характеристики изделий при использовании силикатного вяжущего, содержащего в своем составе аморфный кремнезем, а также измельченный микронаполнитель определенного количества и дисперсности.

Важным этапом производственного процесса, обеспечивающим достижение высоких показателей качества газосиликатных блоков, является формирование массивов.

Формование ячеисто-бетонного массива выполняется в соответствии с принятым технологическим способом производства и может быть литьевым, вибрационным или ударным. Процесс формования включает заливку смеси из смесителя в форму и вспучивание смеси. В процессе вспучивания смеси могут использоваться динамические воздействия. Окончание процесса формования наступает после достижения максимальной высоты вспучивания и прекращения активного газовыделения смеси. Общая продолжительность цикла формования с учетом установки форм, заливки смеси и формования составляет 12 – 20 мин.

Процессы газообразования и вспучивания являются результатом взаимодействия ингредиентов бетонной смеси – газообразователя (обычно алюминиевой пудры) и гидрата окиси кальция, выделяюще-

гося при гидратации цемента и специально вводимого в газобетонную смесь. Выделяющийся водород вспучивает смесь и создает ячеистую структуру газобетона.

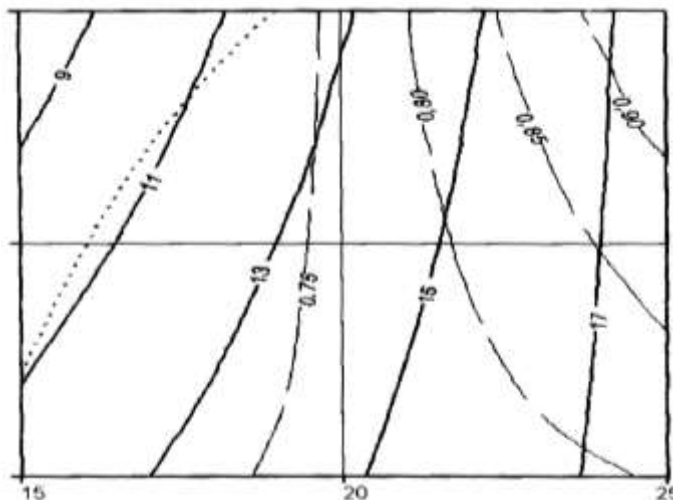


Рис. 2. Влияние расхода микронаполнителя и отработанной формовочной смеси в вяжущем на прочность автоклавированного материала, прочность сырца и коэффициент морозостойкости:
 значения коэффициента морозостойкости;
 ——— значения прочности автоклавированного материала, МПа; - - - - прочность сырца, МПа

Примечание. Водовяжущее отношение – 0,35; удельное давление прессования образцов – 20 МПа; время выдержки – 7 ч; давление пара в автоклаве – 1 МПа.

Анализ производств ячеисто-бетонных изделий по традиционной литьевой технологии, особенно зарубежных фирм, достигших сравнительно высоких технико-экономических показателей производства ячеистого бетона, свидетельствует, что из-за большого количества воды затворения используются смеси с повышенным расходом вяжущих материалов (цемент и известь), высокой тонкостью помола песка (3000 – 3500 см²/г) и цемента (3500 – 4000 см²/г). При этом требуются повышенные затраты на автоклавную обработку (давление 1,2 – 1,4 МПа и продолжительность 14 – 16 ч), а также высокое качество всех исходных материалов. Производство ячеисто-бетонных изделий по литьевой технологии характеризуется большой продолжительностью выдержки сырца до резки (3 – 6 ч) и автоклавной обработки, а также высокой влажностью изделий после автоклавной обработки, которая зависит в первую очередь от количества воды затворения.

Для регулирования процесса вспучивания в производственной практике применяются различные установки. Известны конструкции установок, регулирующие процесс вспучивания ячеисто-бетонной смеси путем вибрационных воздействий. Конструктивно установка представляет собой виброплощадку, на которую помещают форму с сырьевой смесью. Установки позволяют улучшить физико-механические свойства газосиликатных смесей за счет механических воздействий на вспучиваемый массив [1, 3]. Недостатком известной конструкции является нестабильность получаемых результатов, ухудшение однородности ячеисто-бетонных смесей из-за невозможности обеспечить точное согласование режимов вспучивания и вибрации при изменении факторов внешней среды.

Формирование ячеистой структуры бетона определяется двумя обобщающими (для литьевой и ударной технологий) характеристиками – объемом образующегося газа и реологическими свойствами раствора, кинетика изменения которых во времени зависит от исходного состояния смеси (щелочность, вязкость, температура, газообразующая способность раствора) и от интенсивности динамических воздействий в процессе формования (вспучивания).

Установлено, что независимо от способа формования смеси (ударная или литьевая технология) и вида вяжущего общая пористость ячеистого бетона изменяется в пределах 68,7 – 79,9 %, а объем капиллярных пор радиусом не менее 0,01 – 50 мкм колеблется в пределах 361,3 – 562,5 мм³/г, возрастая для материалов с пониженной плотностью за счет увеличения переходных пор в интервале радиусов 0,1 – 0,01 мкм. Объем этих пор, обладающих высокой удельной поверхностью 11,5 – 27,4 м²/г, составляет для образцов ячеистого бетона ударной технологии 39,9 – 51,4 % против 57,7 – 62,6 % для ячеистого бетона литьевой технологии.

Анализ показал, что для получения повышенной прочности ячеистого бетона, необходимо стремиться к уменьшению объема пор радиусом 0,1 – 0,01 мкм. Максимальную прочность показывают образцы ячеистого бетона, водопоглощение которых изменялось в пределах 30,2 – 33,2 %, а объем переходных пор ($r = 0,01 - 0,1$ мкм) составлял 165 – 225 мм³/г.

Таким образом, использование ударных воздействий при формировании ячеисто-бетонной смеси приводит к перераспределению объема пор радиусом менее 0,01 и 50 мкм.

Для ячеистого бетона, полученного по ударной технологии (по сравнению с литьевой), характерно снижение доли «опасных» переходных пор радиусом 0,01 – 0,1 мкм при практически одинаковой его плотности и возрастание объема пор радиусом 0,1 – 50 мкм, т.е. следует стремиться к максимально возможному снижению капиллярной пористости путем сокращения количества воды затворения. Например, при одинаковой плотности, равной 460 кг/м³, ячеистый бетон, изготовленный по ударной технологии, имеет прочность при сжатии 4,23 МПа, а по литьевой – 3,86 МПа; водопоглощение составляет соответственно 34,1 и 45,7 %; морозостойкость 35 и 15 циклов [4].

Преимущество формирования ячеистого бетона по ударной технологии по сравнению с литьевой наиболее ярко проявляется при правильно подобранных режимах и наличии обратной связи между реологическими свойствами смеси и параметрами ударных воздействий, что особенно легко осуществляется при автоматическом управлении режимными параметрами. Использование обратной связи на стадии приготовления смеси позволяет частично компенсировать разбросы параметров сырья.

Значительное снижение вязкости смеси за счёт ударных воздействий позволяет использовать высоковязкие ячеисто-бетонные смеси с пониженным отношением воды к твердению (В/Т), что способствует росту физико-технических характеристик материала.

Для ячеисто-бетонных смесей на смешанном вяжущем и кварцевом песке В/Т может быть понижено до 0,37 – 0,38 по сравнению с 0,50 – 0,65 при применении литьевой технологии.

За рубежом в производстве ячеистого бетона также наблюдается тенденция по снижению количества воды затворения смеси (уменьшение В/Т) за счет применения динамических воздействий во время вспучивания ячеисто-бетонной смеси, что в конечном итоге обеспечивает уменьшение влажности бетона после автоклавной обработки, количества форм и постов созревания массива.

На основании результатов экспериментальных исследований, опыта промышленного производства в Республике Беларусь установлено, что ударная технология по сравнению с литьевой позволяет:

- уменьшить расход сырьевых материалов: цемента на 20 – 30 %, извести на 10 – 15 %, газообразователя на 5 – 10 %;
- уменьшить более чем в два раза количество литьевых форм;
- уменьшить более чем в два раза количество постов созревания, а следовательно, и размеров камер созревания, габаритов здания цеха;
- уменьшить энергозатраты на 10 – 20 % при помолу кремнеземистого компонента и автоклавной обработке благодаря применению материалов с более низкой тонкостью помола и смеси с пониженным содержанием воды;
- повысить на 25 – 40 % прочностные показатели при аналогичных сырьевых материалах;
- исключить применение гипса;
- использовать исходные сырьевые материалы с более низкими качественными показателями;
- снизить отпускную влажность бетона до 25 % [5].

В Полоцком государственном университете разработан способ и установка для формирования ячеисто-бетонного массива, обеспечивающие снижение негативного влияния динамических воздействий на оснастку с одновременным улучшением качественных показателей бетона.

Применяемая на ряде предприятий Республики Беларусь ударная технология изготовления газосиликатных блоков ориентирована на использование конструкции ударной кулачковой установки. Она содержит опорную раму, установленную с возможностью вертикального перемещения, закрепленные снизу вращающиеся ролики, контактирующие с кулачками, с помощью которых осуществляется подъем и падение опорной рамы с формой. Упором-ограничителем служит ударная балка [6].

Недостатком известной конструкции является уплотнение нижних слоев массива, вызванное ударами подающей опорной рамы с формой на упоры-ограничители, и, соответственно, появление неоднородности вспучиваемого массива по объемной массе и прочности.

В работе была поставлена задача – изменить условия формирования, разработать такой технологический прием воздействия на сырьевую смесь, который обеспечит повышение однородности ячеисто-бетонной смеси в массиве.

Конструкция разработанной **установки для формирования изделий по ударной технологии**. Установка содержит опорную раму, установленную с возможностью вертикального перемещения, вра-

шающиеся ролики, контактирующие с кулачками, упоры-ограничители перемещения опорной рамы. При этом установка содержит регулируемые упругие элементы, расположенные под опорной рамой соосно вращающимся роликам в вертикальной плоскости, причем вращающиеся ролики с кулачками и упоры-ограничители установлены сверху опорной рамы.

На рисунке 3 представлен общий вид установки в разрезе. Она содержит корпус 1, в котором подвижно закреплена опорная рама 2. Форму со смесью помещают на опорную раму 2. Регуляторами величины сжатия 6 пружин 5 устанавливают заданные значения силы сжатия. Осуществляют вращение кулачков 4, которые контактируют с роликами 3, вследствие чего опорная рама 2 смещается вниз, сжимая пружины 5. В момент выхода кулачка 4 из зацепления с роликом 3 опорная рама 2 перемещается вверх и ударяется об упоры-ограничители 7. За счет освобождения сжатых пружин 5 при ударе опорной рамы 2 смесь подвергается ударным воздействиям, направленным вверх. Величина вертикального перемещения опорной рамы 2 регулируется с помощью упоров-ограничителей 7, имеющих регуляторы величины амплитуды 8.

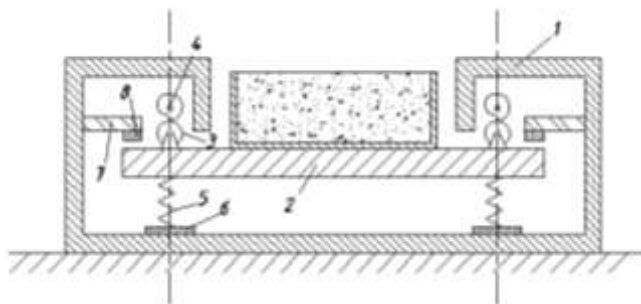


Рис. 3. Установка для активации вспучивания ячеисто-бетонной смеси

Заключение. Разработанное конструктивное решение запатентовано. Выполненные эксперименты подтвердили достижение заявленной цели – обеспечение равномерности вспучивания ячеисто-бетонной смеси, повышение однородности изделий по прочности и объемной массе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зейфман, М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов / М.И. Зейфман. – М.: Стройиздат, 1990. – 184 с.
2. Боженков, П.И. Технология автоклавных материалов / П.И. Боженков. – Л.: Стройиздат, 1978. – 368 с.
3. Левин, С.Н. Производство изделий из ячеистого силикатного бетона методом вибровспучивания / С.Н. Левин, А.П. Меркин // Докл. семинара по обмену передовым опытом в производстве и применении изделий из силикатобетона. – М., 1960.
4. Сажнев, Н. Производство, свойства и применение ячеистого бетона автоклавного твердения / Н. Сажнев, Н. Шелег // Строительные материалы. – 2004. – № 3. – С. 2 – 6.
5. Сажнев, Н.П. Техничко-экономические показатели ячеистого бетона, изготовленного по литьевой технологии / Н.П. Сажнев, Н.Н. Сажнев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ais.by>. – Дата доступа 10.10.08.
6. Гусев, Б.В. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей / Б.В. Гусев. – М.: Стройиздат, 1982. – 150 с.

Поступила 01.12.2008