

Е. И. Барановская, аспирант; А. А. Мечай, канд. техн. наук

ПОЛУЧЕНИЕ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА С УЛУЧШЕННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

This work describes the development and use of the additives which are associated into the cell concrete mix and lead to increasing of the strength properties of the finished products. The additive of sulphoaluminate modifier was used in the capacity of the additive regulating the synthesis of hydrosilicates of calcium and the fluidifier C-3, which plasticizes the mix, was used in the capacity of the surface-active substance (SAS). The additive of sulphoaluminate modifier increases the hardness of concrete samples in comparison with control samples on the average approximately in 1,8 times for cell concrete with the average density 400–500 kg/m³. The presence of the fluidifier in the cell concrete mixes provides the maximum contact between the reacting substances (calcium oxide, silicon dioxide and water), the hydrophilization of the mix. Thus, the fluidifier allows to receive high diluting effect at the tempering of the cell concrete mix.

Введение. Учитывая высокую технико-экономическую эффективность изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения по сравнению с другими строительными материалами аналогичного функционального назначения, «Основными направлениями развития материально-технической базы строительства Республики Беларусь на период 1998–2015 гг.» ячеистобетонные изделия определены главным стеновым материалом и до 2015 г. существующие мощности по его производству должны быть увеличены в 2,1 раза [1].

Одной из основных проблем при производстве ячеистого бетона является необходимость снижения его средней плотности при сохранении достаточной прочности. Решение данной проблемы позволит увеличить термическое сопротивление стен и значительно сократить расход энергии на отопление зданий, а также уменьшить энергозатраты на помол сырья и расход таких дорогостоящих компонентов, как цемент и известь.

В настоящее время ячеистый бетон в Республике Беларусь, странах СНГ и Евросоюза, в отличие от цементного бетона, производится без применения добавок. Потенциал совершенствования технологии изготовления ячеистого бетона с точки зрения сокращения расхода энергоносителей, по нашим оценкам, составляет 20–30%. Поэтому использование добавок в ячеистом бетоне можно считать стратегическим направлением научных исследований в данной отрасли.

Из литературных и патентных источников известно большое количество добавок, разработанных для ячеистых бетонов. Эти добавки можно классифицировать по химическому составу, механизму действия, техническому и технологическому эффектам и другим свойствам.

К первой группе относятся добавки – регуляторы синтеза гидросиликатов кальция в ячеистобетонной смеси, которые либо служат центрами кристаллизации низкоосновных гидросиликатов кальция, либо вводятся в качестве

дополнительного количества синтетических гидросиликатов кальция. Вторая группа добавок – добавки-электролиты, изменяющие растворимость кремнезема и Ca(OH)₂. Третья – поверхностно-активные вещества, пластифицирующие смесь. Четвертая – добавки, вступающие в химическое взаимодействие с компонентами ячеистобетонной смеси с образованием нерастворимых или труднорастворимых соединений [2–6]. Использование некоторых добавок, например порообразующих, является необходимой частью технологического процесса получения ячеистого бетона. Тем не менее, по различным причинам указанные выше добавки, за исключением порообразующих, не нашли применения в производстве.

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы являлась интенсификация процесса гидросиликатного твердения при получении автоклавного газобетона за счет использования добавок, оказывающих влияние на свойства и структуру продуктов взаимодействия при автоклавной обработке.

Основная часть. В качестве добавки, регулирующей синтез гидросиликатов кальция использовался сульфоалюминатный модификатор, в качестве ПАВ, пластифицирующего смесь, – суперпластификатор С-3. В настоящее время сульфоалюминатный модификатор производится на Петриковском керамзитовом заводе ОАО «Гомельский ДСК» в соответствии с ТУ РБ 100354659.054-2005 «Расширяющий сульфоалюминатный модификатор для бетонов и растворов» и используется для получения безусадочных растворов и бетонов. Сульфоалюминатный модификатор получают путем обжига во вращающейся печи при температуре 900–1100°C смеси фосфогипса, глины и мела. Указанные сырьевые компоненты при твердофазовом спекании обеспечивают необходимую минералогическую основу, которая по своим физико-химическим характеристикам должна обеспечить интенсификацию процессов гидросиликатного твердения.

При этом во время производства добавки в результате спекания глинистые минералы разлагаются, и продукты их разложения вступают во взаимодействие с другими компонентами сырьевой смеси. С помощью рентгенофазового анализа было установлено, что минералогическая основа сульфоалюминатного модификатора представлена сульфоалюминатом кальция $3(\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3)\cdot\text{CaSO}_4$, ангидритом CaSO_4 , сульфосиликатом кальция $2(2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)\cdot\text{CaSO}_4$, небольшим количеством моноалюмината кальция $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, геленита $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ и метакаолинита $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$. Метакаолинит и аморфный кремнезем при взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ образуют преимущественно низкоосновные гидросиликаты кальция, обуславливающие высокие прочностные характеристики готовых изделий. При гидратации сульфоминералов модификатора образуются игольчатые кристаллы этtringита и его аналогов, которые армируют гидросиликатную составляющую бетона на микроуровне. Указанные факты послужили предпосылкой к выбору сульфоалюминатного модификатора в качестве добавки в ячеистый бетон.

В отличие от обычных пластифицирующих добавок суперпластификаторы позволяют при затворении ячеистобетонных смесей получить высокий разжижающий эффект. В то же время водопотребность ячеистобетонных смесей может быть снижена более чем вдвое, при этом пластическая прочность ячеистого бетона увеличивается на 80–120% и достигается в 1,5–2,0 раза быстрее, чем у сырца бетона без добавок суперпластификатора [5].

В качестве основных сырьевых материалов для получения ячеистого бетона автоклавного твердения с маркой по плотности D400–D500 использовались: портландцемент марки М400–М500 (ГОСТ 1078) без активных минеральных добавок с содержанием трехкальциевого силиката – не менее 50%, трехкальциевого алюмината – не более 6% (удельная поверхность не менее $3000 \text{ см}^2/\text{г}$, начало схватывания – не позднее 2 ч, конец – не позднее 4 ч после затворения); известь негашеная кальциевая с содержанием активных CaO и MgO – не менее 70%, в том числе MgO – не более 5% (количество пережога – не более 2%, скорость гашения – от 5 до 15 мин); песок кварцевый с содержанием кварца не менее 70%, щелочей (в пересчете на Na_2O) – не более 2,7%, сернистых и сернокислых соединений (в пересчете на SO_3) – не более 0,5%, пылевидных, илистых и глинистых частиц – не более 5%; алюминиевая пудра (ПАП-1) в соответствии с СТБ 1570-2005.

На первом этапе работы в качестве добавки, которая активизировала бы физико-химические процессы, лежащие в основе структурообразования и набора прочности, использовался сульфоалюминатный модификатор.

Сульфоалюминатный модификатор вводился в состав ячеистобетонной смеси, рассчитанной на получение ячеистого бетона плотностью 400–500 $\text{кг}/\text{м}^3$, в молотом виде с удельной поверхностью 6500–6700 $\text{см}^2/\text{г}$. Его дозировка составила 1–5% от массы сухих компонентов. Формование изделий осуществлялось литьевым способом при водотвердом отношении В/Т = 0,6 в лабораторных условиях. Запаривание сырца производилось в автоклавах ОАО «Минский КСИ» при избыточном давлении 1,0 МПа. После запаривания изделия подвергались испытанию по определению прочности на сжатие, результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние содержания сульфоалюминатного модификатора на прочность ячеистого бетона

Содержание добавки, мас. %	Предел прочности при сжатии, МПа	Объемная масса, $\text{кг}/\text{м}^3$
Марка по плотности D500		
0	2,5	508
1	4,2	474
2	4,6	489
3	4,9	512
4	5,5	502
5	5,6	499
Марка по плотности D400		
0	2,2	412
1	3,8	392
2	4,0	404
3	4,6	409
4	4,9	418
5	5,0	415

Исходя из результатов эксперимента, установлено, что добавка сульфоалюминатного модификатора увеличивает прочность образцов по сравнению с контрольными (без добавки) в среднем примерно в 2,2–2,3 раза для ячеистого бетона со средней плотностью 400–500 $\text{кг}/\text{м}^3$. При увеличении содержания добавки наблюдается плавный прирост прочности во всех образцах. Дальнейшее увеличение содержания добавки (свыше 5 мас. %) в ячеистом бетоне представлялось нецелесообразным из-за возможного замедления роста пластической прочности сырца и снижения морозостойкости готовых изделий.

На рис. 1 приведены рентгенограммы контрольного образца и образца ячеистого бетона, содержащего 3 мас. % добавки.

С помощью рентгенофазового и дифференциально-термического анализа было установлено, что сульфоалюминатный модификатор вследствие своей минералогической основы оказывает интенсифицирующее воздействие на процессы гидросиликатного твердения, что способствует увеличению прочности ячеистого бетона.

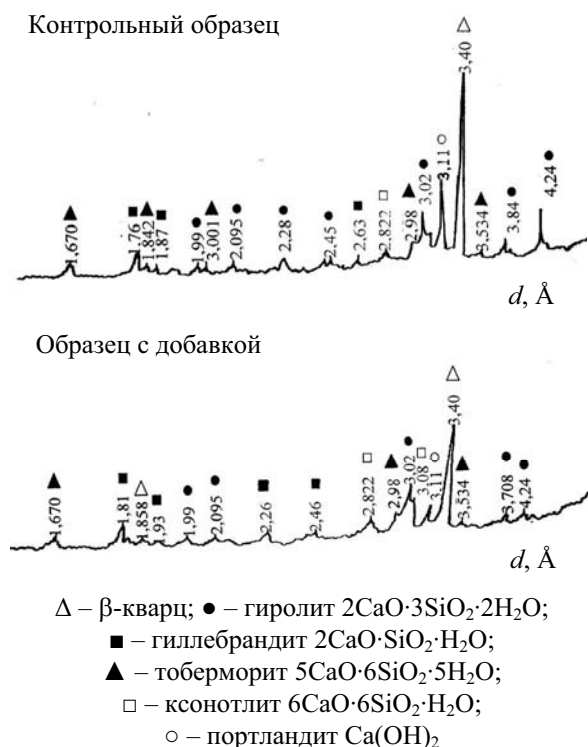


Рис. 1. Рентгенограммы ячеистого бетона

Цементирующее вещество в образцах ячеистого бетона с сульфоалюминатным модификатором содержит в основном низкоосновные гидросиликаты кальция (ксонотлит, гиролит, гидросиликаты кальция тоберморитового ряда), которые отличаются высокой прочностью и морозостойкостью, вследствие чего оказывают положительное влияние на прочностные характеристики готовых изделий.

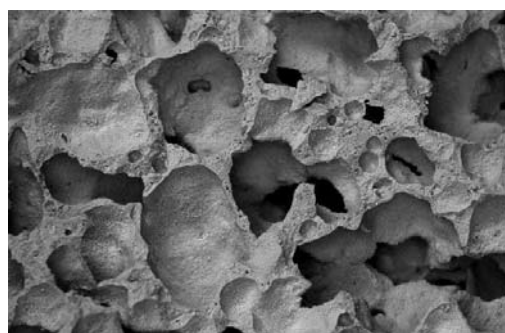
Как видно из рентгенограммы, дифракционные отражения $\beta\text{-SiO}_2$ и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для модифицированного образца имеют меньшую интенсивность по сравнению с контрольным образцом, что объясняется их более полным взаимодействием. Следует отметить также, что общий уровень закристаллизованности образца, содержащего добавку сульфоалюминатного модификатора, выше по сравнению с бездобавочным.

В ходе проведения исследований по определению морозостойкости по ГОСТ 25485-89 [7] было определено, что марка по морозостойкости ячеистого бетона со средней плотностью 500 кг/м^3 , содержащего модифицирующую добавку, соответствует F25, поскольку относительное снижение прочности бетона после прохождения 25 циклов испытаний составило менее 15% (12%), а средняя потеря массы не превысила 5% и составила 4,5%. Марка по морозостойкости бездобавочного образца также соответствует F25.

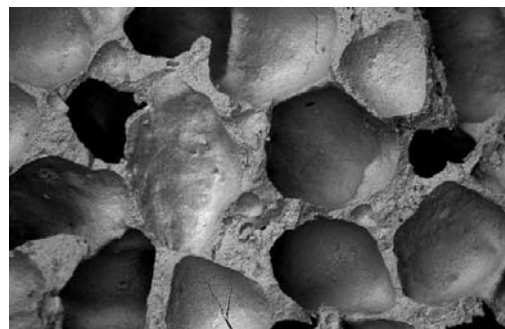
В результате проведенных испытаний установлено, что морозостойкость модифицированного ячеистого бетона не уступает бездобавочным аналогам.

Свойства ячеистого бетона во многом зависят от качества макроструктуры (поровой), причем с уменьшением плотности эта зависимость возрастает. Формирование макроструктуры происходит в результате газообразования в ячеистобетонной смеси, ее вспучивания и твердения.

Как видно из результатов электронной микроскопии (рис. 2), сульфоалюминатный модификатор влияет на формирование макроструктуры, способствует более равномерному распределению пор в ячеистом бетоне. Влияние добавки на процесс формирования поровой структуры в полученных образцах до конца не изучено и представляет интерес для дальнейших исследований.



а



б

Рис. 2. Результаты электронной микроскопии:
а – контрольный образец; б – образец с добавкой

На втором этапе работы было исследовано влияние пластифицирующей добавки (суперпластификатора С-3, который выпускается по ТУ 6-36-0204 229625) на свойства ячеистобетонной смеси (табл. 2), а также готовых изделий. Предпосылкой к этому послужила возможность снижения влажности сырца и сокращения за счет этого расхода теплоты на подогрев изделий в автоклаве. Кроме того, снижение влажности готовых изделий имеет большое значение для улучшения эксплуатационных характеристик, в частности теплофизических свойств. Суперпластификаторы представляют собой сульфированные соединения сополимеров стирола и продукты конденсации нафталинсульфокислот.

Зависимость водотвердого отношения (В/Т) от содержания пластифицирующей добавки С-3

Исходные данные с показателями	Содержание пластифицирующей добавки от массы цемента, %							
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
D400								
Диаметр расплыва, мм	230	225	230	230	230	225	230	230
В/Т	0,6	0,52	0,48	0,44	0,43	0,42	0,42	0,42
D500								
Диаметр расплыва, мм	230	225	230	230	230	225	230	230
В/Т	0,6	0,52	0,48	0,44	0,43	0,42	0,42	0,42

В ходе проведенных испытаний было определено оптимальное содержание добавки суперпластификатора. Исследованию подвергались сырьевые смеси для получения ячеистого бетона плотностью 400–500 кг/м³. На рис. 3 приведена зависимость предела прочности при сжатии от содержания пластифицирующей добавки. Как видно из таблицы и рисунка, добавку целесообразно вводить до 1,5% для бетона с плотностью 400 кг/м³, до 0,5% – для бетона с плотностью 500 кг/м³, т. к. дальнейшее увеличение содержания не оказывает значительного влияния на свойства ячеистобетонной смеси. Добавка суперпластификатора свыше 1,5% малоэффективна с точки зрения дальнейшего снижения водопотребности и повышения прочности ячеистого бетона.

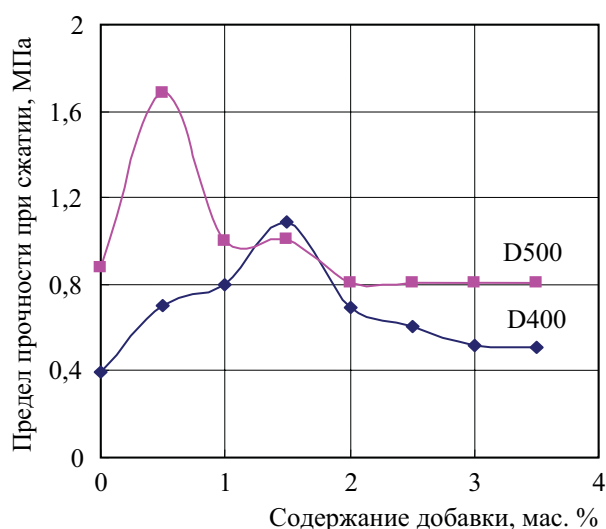


Рис. 3. Зависимость предела прочности при сжатии от содержания пластифицирующей добавки

С помощью рентгенофазового анализа во всех образцах, включая контрольный, установлено наличие следующих гидросиликатов кальция: тоберморита $5\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($d = 0,23; 0,2001; 0,1842; 0,1673$ нм); гилле-брандита $2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d = 0,302; 0,275; 0,223; 0,195$ нм); гиролита $2\text{CaO}\cdot 3\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d = 0,245; 0,2094; 0,265$ нм); ксонотлита $6\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d = 0,3243; 0,1954; 0,1838$ нм).

Таким образом, данные рентгенофазового анализа указывают на наличие, как в контрольном образце, так и в образце с добавкой, преимущественно низкоосновных гидросиликатов кальция, являющихся основными носителями прочности автоклавных материалов.

Присутствие суперпластификатора в ячеистобетонной смеси обеспечивает максимальный контакт между реагирующими частицами гидроксида кальция, кремнезема и воды, гидрофилизируя смесь. Высокие прочностные характеристики пластифицированного ячеистого бетона определяются степенью закристаллизованности гидросиликатов кальция, образующихся в результате химического взаимодействия компонентов в ячеистобетонной смеси. Присутствие суперпластификатора, обеспечивающего более высокую поверхность взаимодействия между веществами, приводит к ускорению химической реакции. При этом суперпластификатор позволяет при затворении смеси получить высокий разжижающий эффект, снизить влажность сырья, что в конечном итоге приведет к повышению прочностных характеристик готовых ячеистобетонных изделий и снижению расхода тепла на подогрев изделий в автоклаве. Суперпластификатор не вступает в химическое взаимодействие с составляющими ячеистобетонной смеси и в твердой фазе ячеистого бетона существует самостоятельно.

Заключение. В результате введения в состав ячеистобетонной смеси добавок сульфаталюминатного модификатора и суперпластификатора получены образцы высокопрочного ячеистого бетона.

Проведенные исследования позволили установить положительное влияние использованных добавок на процесс формирования кристаллической фазы, представленной в основном низкоосновными гидросиликатами кальция. Указанные соединения, обладая достаточно высокими показателями прочности, значительно увеличивают прочность готовых ячеистобетонных изделий. Прочность на сжатие для образцов ячеистого бетона с марками по плотности D500–D400, содержащих 1–5 мас. % сульфаталюминатного модификатора, увеличилась по сравнению с контрольными в 1,7–2,3 раза.

На основании результатов исследования подобрано оптимальное количество пластифицирующей добавки, вводимой в сырьевую смесь: для ячеистого бетона с маркой по плотности D400 введение 1,5% добавки от массы цемента позволяет снизить В/Т в 1,4 раза, прочность на сжатие увеличить в 2,8 раза; для бетона с маркой D500 введение 0,5% добавки от массы цемента снижает В/Т в 1,2 раза, при этом прочность на сжатие увеличивается в 1,9 раза.

На основании полученных результатов разработаны составы ячеистого бетона, обладающие повышенной прочностью и достаточной морозостойкостью, которые могут быть использованы для изоляции наружных стен и перекрытий, изготовления несущих и ограждающих конструкций, а также для реконструкции старых зданий.

Добавка сульфоалюминатного модификатора может вводиться в ячеистобетонную смесь в процессе ее приготовления, что позволяет улучшить основные эксплуатационные характеристики ячеистого бетона.

Литература

1. Опыт производства ячеистобетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь / Т. Г. Голубева [и др.] // Строительный рынок. – 2008. – № 5. – С. 2–11.

2. Сердюк, В. Р. Интенсификация структурообразования и твердения ячеистых бетонов /

В. Р. Сердюк, С. Г. Вахитов // Пром-сть строит. материалов. Сер. 8, Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. – 1983. – Вып. 11. – С. 13–15.

3. Эскуссон, К. К. Прочностные и деформативные свойства газосиликата с минеральными добавками / К. К. Эскуссон, Л. И. Острат, И. Ю. Эскуссон // Пром-сть строит. материалов. Сер. 8, Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. – 1985. – Вып. 4. – С. 2–3.

4. Добавка в ячеистобетонную смесь: а. с. 1261924 СССР, МКИ4 С 04 В 22/06 / Б. К. Демидович [и др.] // Открытия. Изобрет. – 1986. – № 37. – С. 74.

5. Меркин, А. П. Повышение качества ячеистого бетона направленным регулированием коагуляционной структуры силикатной смеси / А. П. Меркин, Р. А. Залецкая // Пром-сть строит. материалов. Сер. 8, Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. – 1987. – Вып. 3. – С. 4.

6. Безрукова, Т. Ф. Трещиностойкий ячеистый бетон / Т. Ф. Безрукова // Пром-сть строит. материалов. Сер. 8, Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. – 1988. – Вып. 4. – С. 7.

7. Бетоны ячеистые. Технические условия: ГОСТ 25485-89. – Введ. 01.01.90. – М.: Гос. строит. комитет СССР, 1990. – 16 с.