

БЕЗАВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВЕ НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ

А.А.Абдыкалыков, Ж.А.Абдыраимов, С.Ж.Мелибаев

[E.mail. ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

Макала жергиликтүү кремнезем материалдарынын жана композициялык чапташтыргыч затынын негизинде алынган автоклавсыз көңдөйлүү газ бетонунун структуралык калыптануусунун технологиялык параметрлерин изилдөөгө арналат.

Статья посвящена исследованию технологических параметров и формированию пористой структуры безавтоклавных газобетонных изделий на основе композиционных вяжущих и местных кремнеземистых материалов.

The article is devoted to the study of process parameters and the formation of the porous structure nonavtoklave aerated concrete products based on composite binding and local siliceous materials.

Среди эффективных стеновых материалов, в производстве которых успешно можно использовать некондиционное сырье, а также отходы промышленности, ведущее место занимают ячеистые бетоны. По технико-экономическим показателям и ряду строительно-эксплуатационных свойств (низкая средняя плотность, теплозащитные свойства, достаточная прочность, высокая морозостойкость) газобетон превосходит практически все стеновые материалы, используемые в настоящее время в строительстве /1, 2, 3, 4/.

Кыргызстан располагает значительными запасами песчаных пород, мелкозернистых песков и техногенных материалов, которые могут найти применение в производстве газобетонных изделий неавтоклавного твердения.

Республика располагает достаточным опытом выпуска автоклавных ячеистобетонных изделий, что является основой для разработки энергосберегающей безавтоклавной технологии газобетонных изделий. Одновременно решается экологическая проблема очистки окружающей среды, утилизации отходов и расширения сырьевой базы, что весьма значимо для социально-экономического развития республики.

В связи с вышеизложенным весьма актуальным является создание безавтоклавных газобетонных изделий на основе природного и техногенного некондиционного сырья. Это позволит значительно повысить характеристики и снизить ТЭП их производства.

Поэтому целью настоящей работы является исследование технологических параметров и формирование пористой структуры безавтоклавных газобетонных изделий на основе композиционных вяжущих и местных кремнеземистых материалов.

Для композиционных вяжущих материалов были использованы: портландцемент М 400 Д 20 ГОСТ 10178-85; известь комовая негашеная II сорта: содержание активных СаО и MgO – 82 %, количество непогасившихся частиц – 1,2 %; гипс строительный, ГОСТ 125-79 марки Г-5.

В качестве заполнителя использованы хвосты флотационного обогащения сурьмяных руд (ХОСР), песок из песчаника Ошского месторождения.

ХОСР образован при производстве сурьмы из горных пород после их термической обработки при 1200 °С. Химический состав представлен содержанием, %: SiO₂ – 70,93; СаО – 12,67; Fe₂O₃ – 0,73; Al₂O₃ – 6,92; MgO – 0,03; SO₃ – 0,82; R₂O – 0,67; п.п.п – 7;

минералогический состав – содержанием β -кварца, кальцита (CaCO_3) и незначительным количеством глинистых составляющих ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,92\%$).

ХОСР характеризуется легкой размалываемостью, коэффициент размалываемости составляет 1,2 (отношение времени, необходимого для размола кварца, ко времени, необходимому для размола данного материала до той же степени дисперсности).

Химический состав песка, %: $\text{SiO}_2 - 73,74$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 12,52$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,93$; $\text{CaO} - 0,86$; $\text{MgO} - 2,85$; $\text{SO}_3 - 0,40$; $\text{R}_2\text{O} - 4,27$; п.п.п. – 4,41. Минералогический состав, %: $\text{SiO}_2 - 59,01$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - 31,67$; $\text{CaSO}_4 - 0,68$; $\text{CaCO}_3 - 1,03$; $\text{MgCO}_3 - 5,98$; п.п.п. – 4,41. При сухом помоле песчаника в течение 20-25 мин получается песок с гранулометрическим составом, мм, %: менее 0,16 – 61,7; 0,16 – 22,4; 0,315 – 5,7; 0,63 – 4,5; 1,25 – 3,2; 2,5 – 2,5; 5,0 – 0; $M_k = 0,7$. Удельная поверхность по ПСХ-2 $S = 2200-2250 \text{ см}^2/\text{г}$, относится к очень мелким пескам.

Таким образом, отличительной особенностью песка из песчаника являются тонкозернистость и высокое содержание глинистых составляющих (31,67 %), т.е. он некондиционный.

В работе также использован полевошпатовый песок, представленный, %: $\text{SiO}_2 - 68,72$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 14,21$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 3,24$; $\text{CaO} - 3,25$; $\text{MgO} - 2,68$; $\text{SO}_3 - 2,61$; $\text{TiO}_2 - 6,63$.

Для безавтоклавного газобетона апробировались составы, содержащие ХОСР и некондиционный песок, и смеси их с немолотым полевошпатовым песком. Соотношение заполнителя и вяжущего составляло в пределах 0,5-1,0. Газообразование обеспечивалось алюминиевой пудрой марки ПАП-2, ГОСТ 5494-81.

В составы из смеси глинистых песков для интенсификации газообразования и активации глинистой составляющей добавляли до 1 % NaOH . Были исследованы средняя плотность ($\rho_{\text{ср}}$) и прочность ($R_{\text{сж}}$) безавтоклавного газобетона в зависимости от соотношения тонкодисперсных активных отходов и полевошпатового песка (рис. 1, а и б).

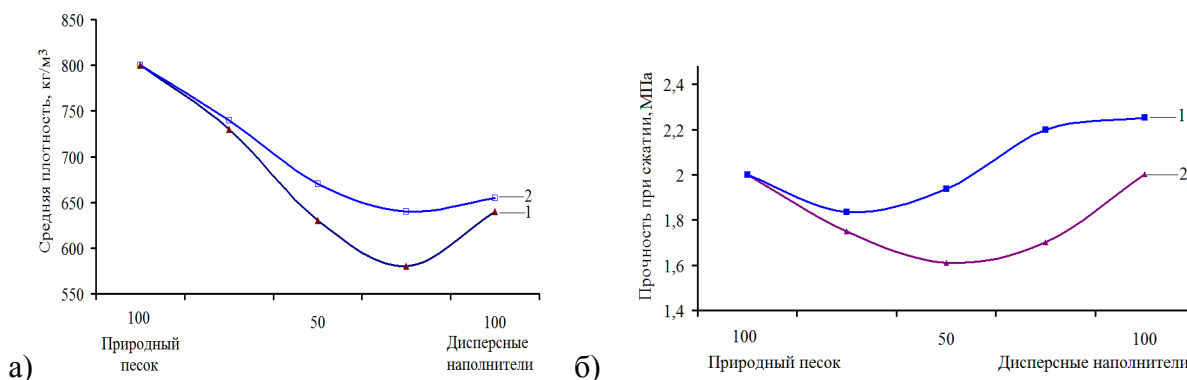


Рис. 1. Зависимость средней плотности (а) и прочности при сжатии (б) газобетона от состава наполнителей: полевошпатового песка и ХОСР; полевошпатового песка и некондиционного песка: 1 –ХОСР; 2 – некондиционный песок

Минимальное значение $\rho_{\text{ср}}$ (575-580 $\text{ кг}/\text{м}^3$) соответствует составу, в котором содержится, % по массе: ХОСР – 60-70 и полевошпатового песка – 30-40. Это обеспечивается интенсивным газообразованием в смеси и синтезом гидросиликатов кальция при взаимодействии активной добавки со свободной известью. А полевошпатовый песок обеспечивает образование первичного каркаса, укрепляющего межпоровые перегородки газобетона. Они укрепляются также за счет синтеза игольчатых кристаллов гидросульфалюминатов, которые образуются при взаимодействии гипса с

С₃А портландцемента. С повышением дисперсной составляющей повышается количество кристаллизационной фазы и идет некоторое повышение плотности и прочности. Прочность обусловлена активным образованием гидросиликатов. Однако, когда в составе смеси отсутствует полевошпатовый песок, идет снижение прочности межпоровых перегородок, что и снижает общую прочность образцов. Минимальная плотность достигается в составах с глинистым тонкодисперсным песком при содержании его 60-100 %, что подтверждает возможность полной замены полевошпатового песка. При полной замене полевошпатового песка глинистым тонкозернистым песком плотность составляет 650 кг/м^3 , при этом достигается максимальная прочность (2,1 МПа). Это объясняется образованием дополнительного количества CSH за счет активации глинистой составляющей и превалированием более мелких пор с достаточной прочностью межпоровых перегородок.

Изменяя соотношение полевошпатового немолотого песка с дисперсной кремнеземистой добавкой, можно направленно регулировать плотность и прочность газобетона на основе композиционных вяжущих.

На образование пористой структуры безавтоклавного газобетона влияет текучесть шлама, с увеличением которой снижается вязкость смеси. Это приводит к уменьшению ее газодерживающей способности и увеличению сроков схватывания. С уменьшением текучести, наоборот, вязкость смеси может возрасти настолько, что усилие, развиваемое газом (водородом) будет ниже значений вязкопластичных свойств смеси, в результате чего в массе не происходит вспучивания, что может привести к увеличению средней плотности материала. Для этого необходимо установить зависимость текучести растворной смеси от водотвердого отношения (В/Т) и ее влияние на свойства газобетона.

Распływ газобетонных смесей в зависимости от В/Т определялся прибором Суттарда. В смесях с ХОСР распływ изменялся в пределах 12,5-37 мм при В/Т 0,42-0,5. Несмотря на то, что ХОСР представлен мелкодисперсным кремнеземом, В/Т смеси с оптимальным расплывом (18-24 мм) относительно невысокое (0,45-0,48), что объясняется удовлетворительной связностью составляющих.

При использовании некондиционного песка повышенное В/Т смеси 0,58-0,6 при расплыве 18-24 мм можно объяснить высоким содержанием глины в песке, которая является хорошим связующим в шламе.

Оптимальное В/Т шламов устанавливалось в зависимости от технических свойств газобетона.

Плотность газобетона с использованием ХОСР при В/Т менее 0,46 резко увеличивается, что связано с высокой вязкостью смеси, препятствующей ее вспучиванию. При В/Т более 0,48 образуются крупные сообщающиеся поры, и, соответственно, большое количество газа выделяется через поверхность материала, средняя плотность материала образцов возрастает, а прочность снижается. Оптимальным для вспучивания является В/Т от 0,46 до 0,48: смесь хорошо вспучивается, практически отсутствует осадка массы, образуются, в основном, замкнутые мелкие поры.

При использовании тонкозернистых глинистых песков смеси при расплыве 18-24 мм имеют В/Т, равное 0,56-0,6, характеризующееся удовлетворительной вспучиваемостью. Средняя плотность образцов при указанных технологических факторах изменялась в пределах $675-720 \text{ кг/м}^3$, а прочность – 1,9-2,1 МПа.

На формирование пористой структуры безавтоклавного газобетона оказывает существенное влияние температура смеси в период вспучивания. Ее определяли в момент выгрузки смеси в формы и сравнивали технические характеристики полученных образцов газобетона.

Установлена оптимальная температура 35-37 °С для вспучивания газобетонной массы на основе ХОСР. При увеличении температуры свыше 37 °С смесь быстро схватывается, что препятствует вспучиванию, а выделяющийся газ нарушает структуру образцов, снижая их прочность. Снижение температуры смеси ниже 37 °С ведет к замедлению реакции газовыделения, схватыванию и осадке вспучивающейся массы.

При использовании смеси на основе глинистого песка установлена оптимальная температура в пределах 38-44 °С, т.е. так же, как на основе кондиционного песка.

Температура смеси в период вспучивания и последующей выдержке изменяется, так как в центральной зоне изделия температура сначала несколько повышается за счет тепла экзотермии композиционного вяжущего. Ввиду невысокого содержания извести (18-20 %) оно незначительно. Последующее снижение температуры смеси происходит за счет отдачи тепла и в результате уменьшения экзотермии.

Для более полного исследования процессов, происходящих в газобетонных смесях в период созревания, изучалась высота вспучивания вязкопластичной массы после заливки смеси в форму и дальнейшее появление усадочных явлений в образцах. Газобетонная смесь заливалась на 50 % от высоты формы, измерение проводилось от 0 до 30 мин с шагом 5 мин и от 30 до 180 с шагом 30 мин.

При использовании ХОСР газобетонная смесь лучше вспучивается, практически отсутствует осадка поризованной массы, что обусловлено медленным нарастанием структурной прочности в первые 20-30 мин, так как новообразования находятся в гелеобразной фазе с последующей кристаллизацией. При использовании тонкозернистого глинистого песка масса хорошо вспучивается, но ее осадка достигает 18 %, так как смесь характеризуется повышенной В/Т, равной 0,6, что снижает прочность материала как в начальные, так и в более поздние сроки. Это приводит к значительной осадке поризованной массы и медленному нарастанию структурной прочности.

Создание щелочной среды в формовочной смеси, необходимой для полного прохождения реакции газовыделения, обеспечивается содержанием извести в составе композиционного вяжущего. Кроме того в процессе гидратации вяжущего при гидролизе C_3S портландцемента, выделяется известь, которая является активной, она взаимодействует с алюминиевой пудрой с выделением водорода. Выделяемое в процессе гидратации вяжущего тепло способствует набору структурной прочности. Исследовалась зависимость высоты вспучивания от щелочности среды, которая зависит от количества вяжущего.

При содержании композиционного вяжущего в смеси 0,75-1,0 во всех составах повышается высота вспучивания, наибольшая вспучиваемость характерна для смеси с использованием ХОСР.

Высота вспучивания смесей на мелкозернистых глинистых песках несколько выше, чем на полевошпатовых. Дальнейшее увеличение содержания композиционного вяжущего более 1,0 экономически не целесообразно в связи с небольшим увеличением коэффициента вспучивания.

Подбор оптимальных технологических параметров осуществлялся для газобетона с использованием ХОСР.

При снижении количества вяжущего в смеси наблюдается резкое падение прочности газобетонных образцов. Увеличение содержания вяжущего в смеси ведет к повышению прочности, что сопровождается повышением средней плотности. Это обусловлено набором поризованной массой структурной прочности, что потенциально сокращает время процесса вспучивания смеси. Для получения газобетона с ХОСР требуемой плотности прочности оптимальное значение отношения вяжущего к заполнителю составляет 0,75 (В/З).

Оптимальное содержание в смеси алюминиевой пудры определялось в зависимости от технических свойств газобетона.

Формирование пористой структуры ячеистого бетона происходит при одновременном протекании процессов газовыделения и нарастания пластической прочности смеси. Лучшими условиями формирования макроструктуры ячеистого бетона следует считать такие, при которых сроки окончания активного вспучивания смеси совпадают с моментом оптимальных значений пластическо-вязких характеристик или же должно заканчиваться несколько раньше, чем начнется ее схватывание.

С увеличением в смеси алюминиевой пудры плотность газобетона снижается незначительно, в связи с этим повышенный расход газообразователя не является обоснованным и оптимальное его содержание составляет 400-500 г на 1 м³ материала.

По результатам исследований определены оптимальный состав и технологические параметры производства безавтоклавного газобетона на основе композиционных вяжущих с использованием ХОСР и мелкозернистых глинистых песков: температура формовочного шлама 37-44 °С; водотвердое отношение 0,44-0,6; соотношение заполнителя к вяжущему от 0,75 до 1,0. При этом получены изделия с характеристиками: $\rho_{\text{ср}} = 550-700 \text{ кг/м}^3$; $R_{\text{сж}} = 2,2-3,0 \text{ МПа}$; $\lambda = 0,14-0,18 \text{ Вт/м}^0\text{С}$; $\Pi = 61,2-69,3 \%$; $M_{\text{рз}} = 20-25$.

Безавтоклавные газобетоны, полученные на основе композиционных вяжущих с использованием местных кремнеземистых материалов ХОСР и некондиционных мелкозернистых глинистых песков, характеризуются средней плотностью 550-700 кг/м³, прочностью при сжатии 2,2-3,0 МПа, теплопроводностью $\lambda = 0,14-0,18 \text{ Вт/м}^0\text{С}$ и могут быть использованы для изготовления конструкционно-теплоизоляционных строительных изделий.

Список литературы

1. Кузнецов, В.Д. Мелкозернистые и ячеистые бетоны на отходах дробления скальных пород [текст] / В.Д. Кузнецов, И.А. Кузнецова // Строительные материалы. – 1994. – № 4. – С. 15-16.
2. Паплавскис, Я.М. Предпосылки дальнейшего развития производства и применения ячеистого бетона в современных условиях [текст] / Я.М. Паплавскис, П.В. Эвинг, А.И. Селезский // Строительные материалы. – № 1. – 2005. – С. 18-20.
3. Муромский, К.П. Ячеистый бетон в наружных стенах зданий [текст] // Бетон и железобетон. – 1996. – № 5. – С. 30-31.
4. Силаенков, В.С. По поводу статьи Н.И. Федынина «Долговечность стеновых панелей из безавтоклавного газозолобетона» [текст] // Бетон и железобетон. – 1993. – № 11. – С. 20-21.