

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ

метрах водяного пара не менее 175 °С (8-10 атм).

2. Частичное или полное исключение извести в составах автоклавного газобетона на ЗПЦ сокращает время выдержки массива до резки.

3. Использование ЗПЦ для производства автоклавного газобетона позволяет снизить

расход извести на 50 – 100 % по сравнению с контрольным заводским составом. Из такой сырьевой шихты возможно получение автоклавного газобетона, свойства которого соответствует требованиям ГОСТ 31360–2007: по плотности, прочности, усадке при высыхании и морозостойкости F25.

УДК 666.973.6

### НЕАВТОКЛАВНЫЙ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИЙ ГАЗОБЕТОН, ТВЕРДЕЮЩИЙ НА МОРОЗЕ

Ю.В. Щукина, К.С. Кулиш

*В статье изложены результаты исследования влияния высококальциевых зол ТЭЦ от сжигания Канско-Ачинских бурых углей и химических добавок на свойства неавтоклавного газобетона, твердеющего на морозе. Предложен способ производства неавтоклавного газобетона в условиях отрицательных температур, который позволяет существенно снизить технологические затраты и улучшить свойства материала.*

*Ключевые слова: неавтоклавный газобетон, химические добавки, высококальциевые золы, пластическая, марочная прочность.*

#### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в России, из-за относительно небольших капиталовложений, по сравнению с автоклавной технологией, широкое распространение получило производство неавтоклавных стеновых газобетонных блоков на основе цемента и немолотого песка. Главным преимуществом такой технологии является возможность организации производства продукции практически в любых условиях. Однако, в качестве её недостатков можно отметить длительность полного цикла в технологии без пропаривания, повышенную плотность материала (850 - 950 вместо 650 – 700 кг/м<sup>3</sup>) для обеспечения минимально допустимой прочности в 2,5 МПа (В 1,5), повышенную усадку блоков при эксплуатации (до 3 мм/м). Существующие способы устранения данных недостатков (помол песка, тепло-влажностная обработка изделий) требуют существенных капиталовложений, что не всегда экономически доступно для малых предприятий.

Практически все отмеченные недостатки неавтоклавного газобетона и технологии его производства устраняются при использовании вместо немолотого песка высококальциевых зол ТЭЦ (ВКЗ) от сжигания Канско-Ачинских углей [1, 2].

Преимуществом ВКЗ является достаточно высокая удельная поверхность (2300 – 3100 см<sup>2</sup>/г), наличие вяжущих свойств, содержание свободной извести и проявление температурного эффекта ранней гидратации ( $\Delta T$ ). Использование зол способствует повышению прочности неавтоклавного газобетона с одновременным уменьшением плотности, обеспечением его безусадочности и требуемой долговечности.

При расходе цемента до 300 кг/м<sup>3</sup> можно добиться прочности 2,5 – 3,5 МПа при плотности газобетона в 700 кг/м<sup>3</sup>. В процессе твердения наблюдается расширение образцов газобетона за счет гашения свободной извести золы, а при использовании добавок хлорида и сульфата натрия быстрее протекают обменные реакции по ее связыванию, что уменьшает чрезмерные деформации расширения, которые стабилизируются на отметке около 1 мм/м. Весомым аргументом также является то, что зольный газобетон набирает отпускную прочность уже после 3 – 5 суток нормального твердения.

Одной из основных статей затрат при производстве газобетонных стеновых блоков по неавтоклавной технологии в зимний период является отопление относительно больших производственных и складских площадей, предназначенных для размещения про-

дукции до приобретения ею отпускной прочности.

Одновременного снижения затрат на производство и улучшения качества ячеистобетонных блоков можно добиться путем выпуска их по малоэнергоёмкой технологии, которая позволяет изготавливать газобетон в не отапливаемых помещениях с последующим их твердением на морозе. Данная технология заключается в замене инертного заполнителя на высококальциевую золу, а также введении противоморозных химических добавок в состав смеси.

### СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В экспериментах использовался портландцемент ПЦ М400Д20 Искитимского цементного завода. Составы газобетона также включали высококальциевую золу ТЭЦ–3 г. Барнаула, полученную при сжигании бурых углей Назаровского и/или Ирша-Бородинского разрезов Канско-Ачинского бассейна в парогенераторах с жидким шлакоудалением, соответствующую по характеристикам золам, описанных в [3, 4]; химические противоморозные добавки  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCOONa}$ ; алюминиевую пудру ПАП-1; песок полевошпатовый из бассейна р. Обь с модулем крупности 1,2 и содержанием илистых частиц около 5 %.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по тепловыделению композиций для газобетона представляют самостоятельный интерес, так как позволяют интенсифицировать твердение при низких температурах.

На рисунке 1 представлены кинетические кривые тепловыделения вяжущего для производства газобетона с некоторыми распространенными противоморозными добавками, определенные прямым методом в соуде Дюара.

Как видно из рисунка 1, при затворении портландцемента водой с температурой  $45^\circ\text{C}$  общая экзотермия реакций гидратации и твердения не высока, при этом отмечается достаточно интенсивное снижение температуры композиции со временем. Тепловыделение при гидратации ВКЗ имеет экстремальный характер и зависит, прежде всего, от содержания в ней свободной извести и клинкерных минералов, что в дальнейшем может способствовать сохранению необходимого тепла для набора пластической и

ранней прочности в условиях пониженных температур. В смесях портландцемента с ВКЗ температурный эффект имеет промежуточное значение, сохраняется несколько дольше и выравнивание температур с окружающей средой происходит через 3 суток.

При введении поташа в такую систему наблюдается экзотермический подъем температуры на  $7^\circ\text{C}$  и более плавное ее снижение (кривая аналогична температурной кривой зольного вяжущего). Такие противоморозные добавки, как хлорид, сульфат и формиат натрия обеспечивают промежуточный по величине температурный эффект. Аналогичные результаты были получены при затворении композиций водой с температурой  $20^\circ\text{C}$ . Таким образом, наличие ВКЗ и противоморозных добавок в газобетонных композициях более предпочтительно для твердения при пониженных температурах по критерию тепловыделения.

Для исследования влияния различных дозировок противоморозных добавок на свойства цементно-зольного газобетона, смесь плотностью  $700\text{--}750\text{ кг/м}^3$  изготавливалась в лабораторных условиях. Следует отметить, что твердению на морозе при минус  $16\text{--}18^\circ\text{C}$  образцы подвергались сразу после предварительного твердения при  $60^\circ\text{C}$  по режиму 3+6+3 час. (моделирование саморазогрева массива по результатам производственных исследований). Часть образцов не пропаривалась и твердела в нормальных условиях под пленкой при  $18\text{--}20^\circ\text{C}$ . Оптимальной дозировкой считалось то количество противоморозной добавки, при которой комплекс свойств газозолобетона имел наивысшие показатели.

Основными наблюдаемыми техническими характеристиками неавтоклавногазобетона являлись средняя плотность ( $\text{кг/м}^3$ ), характеризующая вспучиваемость газобетонной смеси, и набор прочности (МПа) в нормальных условиях и при твердении в условиях отрицательных температур.

Как было показано ранее, использование в технологии неавтоклавногазобетона высококальциевой золы вместо песка позволяет увеличить высоту вспучивания в среднем на 11%, а применение химических добавок – дополнительно ещё от 3 до 10 % за счет интенсификации процессов газовыделения в результате постепенного образования  $\text{NaOH}$  в обменных реакциях [1].

Из изложенного следует, что все противоморозные добавки при оптимальном их расходе должны положительно влиять на формирование структуры газозолобетона за

## НЕАВТОКЛАВНЫЙ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИЙ ГАЗОБЕТОН, ТВЕРДЕЮЩИЙ НА МОРОЗЕ

счет ускорения обменных реакций между соответствующими солями щелочных металлов и известью золы в присутствии алюминатов и алюмоферритов кальция. Исключение составляет поташ, который, взаимодействуя с гидроксидом кальция, вызывает излишне быстрое загустевание смеси, асинхронное процессу вспучивания, что незначительно утяжеляет газобетон. Однако это компенсируется тем, что при протекании обменной реакции поташа с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в присутствии алюминатов раствор солей обогащается едким кали, который имеет низкую эвтектическую точку [5], что позволяет неавтоклавному газобетону набирать отпускную прочность при минус 18 °С. Как видно из рисунка 2 для классического цементно-песчаного газобетона характерны низкие прочностные показатели, которые на морозе практически не изменяются во време-

ни. Цементно-зольный бездобавочный и цементно-песчаный газобетон с сульфатом натрия также имеют низкие прочности, которые, однако, в сравнении с цементно-песчаным выше в среднем на 50%. Набор требуемых прочностных характеристик в цементно-зольных системах с химическими добавками происходит за счет антифризного и ускоряющего действия последних. Превышение конечной прочности газобетона с добавками над прочностью бездобавочного материала составляет от 80 до 100 %. Использование этих добавок также положительно влияет и на прочность газобетона, твердевшего при нормальных условиях. В этом случае прирост прочности составил от 11 до 43 % с обеспечением требуемой минимальной прочности по ГОСТ 25485-89.

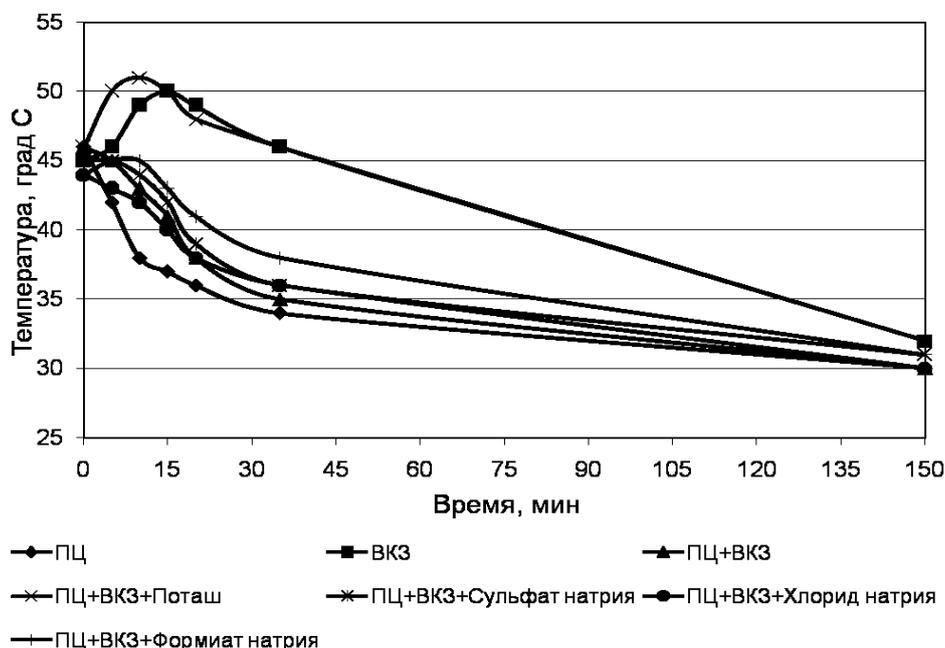


Рисунок 1 – Изменение температуры при гидратации композиций затворенных водой с  $t = 45$  °С

Фазообразование в цементно-зольных системах имеет свою специфику и зависит от вида химической добавки и условий твердения [6]. Введение добавок  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{HCOONa}$  способствует большему синтезу эттрингитоподобных фаз и накоплению большого количества  $\text{CSH}$  (I и II) и  $\text{CaCO}_3$  как в нормальных условиях, так и на морозе (- 18 °С). Добавление в такую композицию хлорида натрия и карбоната калия обеспечивает ускоренную гидратацию свободного оксида кальция, исходных клинкерных минералов цемента и высококальциевой золы, по сравнению с исходной системой и системой, твердевшей в нормальных условиях. Кроме этого, увеличивается доля  $\text{AF}_m$  – фазы по сравнению с эттрин-

гитоподобными  $\text{AF}_t$  – фазами.  $\text{AF}_m$  – фаза включает моногидрохлор(карбо)алюминат кальция и гидрокаюмит. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что связывание свободной извести золы, ускорение гидратации вяжущих, а также наличие цемента и химических добавок обеспечивает получение неавтоклавного золосодержащего газобетона в неотапливаемых помещениях с последующим твердением на морозе.

При этом интенсивное накопление  $\text{AF}_t$  и  $\text{AF}_m$  – фаз обеспечивает быстрый рост пластической и ранней прочности газобетона, а совместно с фазами  $\text{CSH}$  способствует формированию камня с более высокими техническими свойствами.

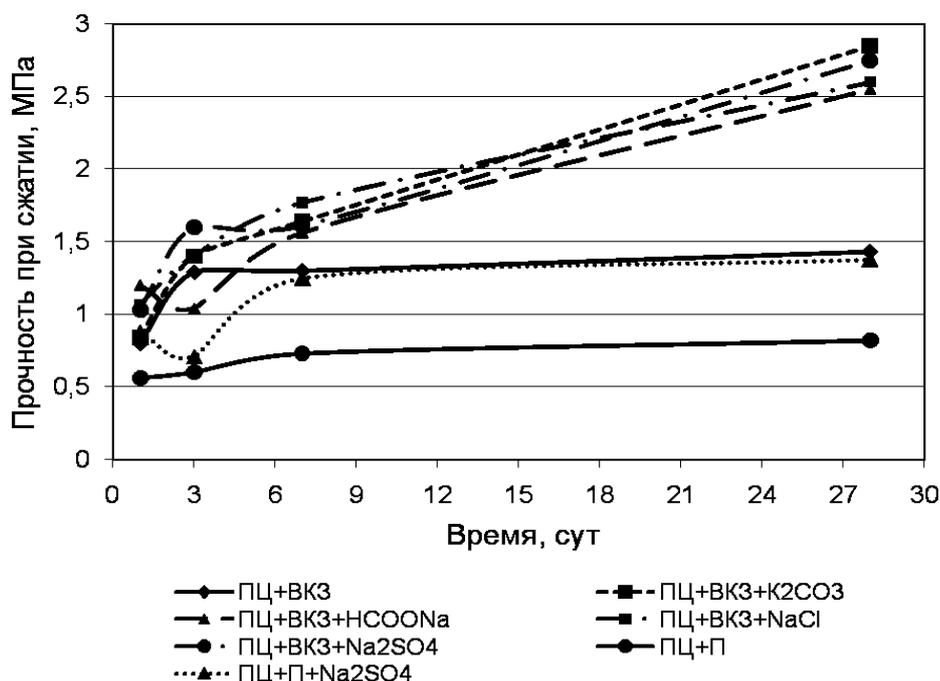


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности неавтоклавного зольного газобетона, твердевшего при минус 18 °С в течение 28 суток

Такой материал наряду с достаточной прочностью имеет морозостойкость не менее 25 циклов.

Данная технология прошла промышленную апробацию и внедрена в производство неавтоклавного газобетона на трех малых предприятиях Барнаула.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко Г.И. Влияние высококальциевых зол и химических добавок на свойства неавтоклавного газобетона / Г.И. Овчаренко, Ю.В. Щукина // Технология бетона. - 2007. - № 1. - С. 66-67.
2. Пат. 2259975 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 04 В 38/00. Сырьевая смесь для получения неавтоклавного ячеистого бетона (варианты) / Г.И. Овчаренко, Ю.В. Щукина, В.Б. Францен; заявитель и патентообладатель Алт. гос. техн. ун-т. – Оpubл. 09.01.2004; Бюл. № 10.

3. Овчаренко Г.И. Золой углей КАТЭКа в строительных материалах / Г.И. Овчаренко. – Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1991. – 216 с.
4. Овчаренко Г.И. Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотникова, В.Б. Францен. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1991. – 216 с.
5. Ратинов В.Б. Противоморозные добавки / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг // Добавки в бетон: справ. пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – Разд. 8. – С. 382–433.
6. Овчаренко Г. И. Особенности фазообразования в цементно-зольных системах с химическими добавками / Г.И. Овчаренко, Ю. В. Щукина, А. В. Селютин // Материалы Международной научно-практической конференции «Высокотемпературные материалы и технологии в XXI веке» [Электронный ресурс]. – Москва, 2008.