

УДК 666.973.3:666.973.6

*Рудченко Д.Г., генеральный директор  
ООО «Аэрок», Украина, г. Обухов*

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

**Введение.** Решение жилищной проблемы требует увеличение производства эффективных строительных материалов. В производстве строительных материалов предусматривается преимущественное развитие технологий, обеспечивающих снижение стоимости, материалоемкости и трудоемкости строительства, а также повышение теплозащитных свойств получаемых изделий.

С этих позиций развитие получают эффективные строительные материалы, такие как газобетоны автоклавного твердения. При этом преследуются две цели: получить стеновой строительный материал с высоким коэффициентом конструктивного качества и при его изготовлении использовать энергосберегающие технологии производства.

Производство ячеистых бетонов в бывшем СССР активно стало развиваться в 30-е годы прошлого столетия. Преимущество тогда отдавалось пенобетону. В 1958 году в бывшем СССР производилось лишь 100 тыс. м<sup>3</sup> ячеистых бетонов. Становление отрасли и масштабное производство ячеистых бетонов автоклавного твердения в бывшем СССР связано с приобретением 10 заводов производственной мощностью 198 тыс. м<sup>3</sup> ячеистого бетона в год польской поставки в начале 60-х годов прошлого столетия. В 1987 году была принята научно-производственно-техническая программа «Система эффективного строительства жилых и общественных зданий из ячеистых бетонов», согласно которой предполагалось строительство около 250 новых заводов автоклавного ячеистого бетона с доведением его общего выпуска к 1995 году до 40–45 млн. м<sup>3</sup> в год. Планы предусматривали не только наращивание объемов выпуска автоклавных бетонов, но и снижение средней плотности выпускаемой продукции.

В 1991 году в СНГ было произведено около 5,7 млн. м<sup>3</sup> ячеистобетонных изделий, из них 1,37 млн. м<sup>3</sup> армированных стеновых панелей, плит покрытий и перекрытий. Наибольшую долю в общем выпуске составили мелкие ячеистобетонные блоки - 3,2 млн. м<sup>3</sup>. Предприятия прибалтийских республик производили около 0,8 млн. м<sup>3</sup> [1]. В этот же период предприятия Украины ежегодно выпускали более 1,2 млн. м<sup>3</sup> изделий из ячеистого бетона широкой номенклатуры, Белоруссия производила 1,7 млн. м<sup>3</sup> ячеистого бетона.

После преодоления системного кризиса и перехода к рыночной экономике производственные мощности по производству автоклавного газобетона стали возрождаться во всех республиках бывшего СССР. В ряде европейских стран удельный вес ячеистого бетона в общем объеме производства стеновых материалов составляет 50% и более. На постсоветском пространстве лидером по производству ячеистых бетонов является Республика Беларусь. К 2015 году в РБ предусмотрено увеличить его удельный вес в общем объеме производства стеновых материалов, до 85% [2]. Суммарная установленная мощность всех предприятий отрасли РФ в 2011 году составила около 8 млн. м<sup>3</sup> в год ячеистого бетона, а в 2013 году объем производства, может достигнуть уровня 14 млн. м<sup>3</sup> [3]. Одним из крупнейших производителей ячеистого бетона в Европе является Польша, которая производит 4,3-5 млн. м<sup>3</sup> ежегодно, но имея 31 завод по производству ячеистого бетона, может увеличить объем производства до 7,0 млн. м<sup>3</sup>.

Объем производства ячеистых бетонов в Украине вырос со 100 тыс. м<sup>3</sup> в 2000 году до 800 тыс. м<sup>3</sup> в 2008 году за счет строительства новых заводов и реконструкции существующих мощностей, которые сохранились со времен существования СССР. Во время кризиса 2009-2010

годов объемы строительства жилья сократились, однако, учитывая ускоренный ввод в действие новых современных предприятий, после выхода из кризиса объем производства ячеистого бетона в Украине в 2013 году может приблизиться к 2,3 млн.м<sup>3</sup> в год.

### Современные тенденции развития производства ячеистого бетона

В условиях постоянного роста цен на энергоносители следует ожидать дальнейшего роста объемов производства ячеистого бетона, снижение удельного веса глиняного и силикатного кирпича в структуре стеновых материалов.

После мирового энергетического кризиса 70-х годов прошлого столетия развитые страны существенно увеличили требование к термическому сопротивлению стеновых ограждающих конструкций, в Украине это было сделано спустя 20 лет, после распада СССР. За несколько приемов его подняли с 0,65 до 2,8 м<sup>2</sup>·К/Вт в 2008 году. На сегодняшний день термическое сопротивление ограждающих конструкций для самой холодной первой зоны в Украине составляет R = 2,8 м<sup>2</sup>·К/Вт. С большим опозданием Украина приблизилась к средневропейскому показателю термического сопротивления ограждающих конструкций, а это означает, что примерно 96% существующего жилищного фонда (1080 млн. кв. м.) не соответствует современным требованиям и должно быть утеплено.

С учетом анализа мирового производства автоклавного газобетона следует заметить, что научная мысль в ближайшее десятилетие будет направлена на снижение плотности, увеличение прочности и, как следствие, повышение коэффициента конструктивного качества материала.

Представители немецкой компании Xella заявили о том, что начато производство ячеистого бетона «MULTIPOR» плотностью 105-120 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,045$  Вт/м·К. Материал используется в конструкциях двухслойных стен зданий. При этом несущая часть стены выполнена из ячеистого бетона плотностью 500-600 кг/м<sup>3</sup>, наружная – из «MULTIPOR».

На сегодняшнем рынке производителей автоклавного газобетона используется литьевая и ударная технология. Однако, виброударная технология не позволяет в качестве вяжущего компонента использовать гипсовые добавки.

Опыт новых российских заводов и предприятий Украины ратует за применение литьевой технологии с совместным использованием увеличенного количества возвратного шлама и гипсового камня. Научные исследования [4-5] и практический опыт работы предприятий «Аэрок» в РФ и Украине подтверждают возможность повышения коэффициента конструктивного качества практически в два раза. Не случайно, ведущие европейские производители газобетона отдают предпочтение литьевой технологии и использованию гипсовых добавок (табл.1).

**Таблица 1** - Расход сырьевых компонентов газобетона европейских производителей.

Компоненты, кг/м <sup>3</sup>	HESS AAC SYSTEMS			«Masa-Henke»	WEHRHANN GmbH
	Плотность ячеистого бетона, кг/м <sup>3</sup>				
	400	500	600	500	600
Известь	50	62	98	70	65-75
Цемент	99	99	98	70	80-90
Ангидрит (гипс)	14	18	21	15	15
Песок	210	292	352	350	300-320

Добавка гипсового камня вводится при помоле кремнеземистого компонента из расчета 4,3-5,3% в перерасчете на SO<sub>3</sub>. Добавка позволяет интенсифицировать технологический процесс доавтоклавной стадии производства газобетона - сократить на 50-70 минут время до разрезки массива.

Способность двуводного гипса замедлять гашение извести возрастает с увеличением его содержания в извести, добавка гипса способна уменьшить размер кристаллов гидрата окиси кальция в 10-100 раз [6]. Дисперсность извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  оказывает на прочность бетона более значительное влияние, чем дисперсность кремнезема [7]. Кроме того, дополнительная добавка гипса в газобетонной смеси оказывает влияние на процессы гидратации цементной составляющей вяжущего смеси. [8-10].

При исследовании фазового состава новообразований рентгеновским и дифференциально-термическим методами у всех образцов из смеси с  $C/S=0,5$  и 1, не содержащих гипса, обнаружена свободная известь. В образцах из тех же смесей, находящихся в гидротермальных условиях в течение 4 ч. и более, наряду со свободной  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  содержатся также гидросиликаты кальция серии  $\text{CSH}(\text{I})$  – на рентгенограммах образцов фиксируются дифракционные максимумы с  $d/n = 3,01 - 3,02 \text{ \AA}$ , а на кривых ДТА – экзотермические эффекты при  $842 \text{ }^\circ\text{C}$ .

При увеличении содержания гипса от 1 до 5% интенсивность дифракционного максимума  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ( $d/n = 2,62 \text{ \AA}$ ) уменьшается после изотермической выдержки в течение 4 часов, связующее вещество представлено гидросиликатом серии  $\text{CSH}(\text{I})$ . Увеличение продолжительности изотермической выдержки до 6-8 часов вызывает переход  $\text{CSH}(\text{I})$  в тоберморит (на рентгенограммах появляются дифракционные максимумы с  $d/n = 3,07; 3,01$  и  $2,80 \text{ \AA}$ ), а на кривых ДТА - экзотермические эффекты при  $860 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таким образом, добавка гипса положительно сказывается на взаимодействии окиси кальция с кремнеземом, уже после выдержки 4ч. образуется гидросиликат серии  $\text{CSH}(\text{I})$ , который в дальнейшем при гидротермальной обработке (6-8ч.) превращается в тоберморит. При этом, при увеличении времени изотермической выдержки образцов с  $C/S = 1$  на рентгенограммах исчезает самая характерная линия  $\text{SO}_2$  с  $d/n = 3,34 \text{ \AA}$ , что свидетельствует о полном связывании кремнезема с оксидом кальция в новообразования. Вне зависимости от основности исходной смеси введение в нее двуводного гипса существенно интенсифицирует процесс связывания окиси кальция с кремнеземом. Увеличение продолжительности изотермической выдержки до 4 и более часов в зависимости от основности исходной смеси приводит к превращению ранее образованного гидросиликата  $\text{CSH}(\text{I})$  в тоберморит.

Введение гипса в ячеистобетонные массы в виде двуводного соединения приводит к замедлению начала схватывания портландцемента, и к образованию гидросульфатоалюмината кальция.

Оптимальное количество гипса по отношению к минералу  $\text{C}_3\text{A}$  в портландцементе позволяет получить цементное тесто и цементный камень с совершенно иными свойствами, повышая его долговечность.

Оптимальная добавка гипса при пропаривании близка к значению, необходимому для связывания всего количества  $\text{C}_3\text{A}$  в моносulfатный гидроалюминат кальция, на 1% содержания  $\text{C}_3\text{A}$  в клинкере может быть добавлено до 1,6 % полуводного гипса.

В Украине в ДСТУ Б В.2.7-45.2010 «Строительные материалы. Ячеистые бетоны. Общие технические условия», в разделе «Вяжущие материалы» вместе с цементом, известью и доменным гранулированным шлаком предусмотрено наличие гипсового вяжущего. Хотя в предыдущей редакции ДСТУ Б В.2.7-45-96 было продублировано содержание СН 277-80 и в п. 4.2.7 гипс фигурировал лишь в качестве добавки – регулятора структурообразования, ускорителя твердения.

### Выводы

Учитывая возрастающее внимание к вопросам экологии строительных материалов, пожарной стойкости и долговечности, традиционные для Украины теплоизоляционные материалы (пенопласт и минвата) в развитых странах уступают место ячеистым бетонам.

С увеличением содержания алюминатной фазы цемента - на 1% содержания  $\text{C}_3\text{A}$  в клинкере может быть добавлено до 1,6% полуводного гипса, который может связывать весь  $\text{C}_3\text{A}$  в моносulfатоалюминат, как более предпочтительное новообразование.

Вполне очевидно, что литьевая технология производства автоклавного газобетона с использованием гипсовых добавок в ближайшие годы получит самое широкое распространение.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Червяков Ю.М. Ніздрюватий бетон - ефективний стіновий матеріал/ Ю.М. Червяков// Строительные материалы и изделия. 2008. №6(52). –С.35-36.
2. Омелянчук В.П. Строительство новых заводов ячеистобетонных изделий - требование современной отрасли Украины / В.Н. Омелянчук // Строительные материалы и изделия. 2007. - № 2. - С. 23-25.
3. Левченко В.Н. Производство автоклавного газобетона в России. История, современность, перспективы./ Левченко В.Н. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка Наук-тех. збір – Випуск 40. -2011. - С.116-121.
4. Рудченко Д.Г. Технологии энергосбережения и экономии сырьевых материалов в производстве изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения на заводе АЕРОК. Науково-технічний збірник. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2009. №3. - С.97-102.
5. Рудченко Д.Г. Снижение плотности газобетона автоклавного твердения как резерв экономии энергетических ресурсов/ Д.Г. Рудченко// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірн. наук. праць. Вип.№22. НУВГП. м. Рівне. 2011.-С. 137-145.
6. Рашкович Л.Н. Влияние условий гидратации извести на гидротермальное твердение известково-песчаных изделий/ Л.Н. Рашкович// Сборн. труд. «РосНИИМС».1961. №20. –С. 29-35.
7. Кржеминский С.А. Влияние гипса на скорость связывания окиси кальция при автоклавной обработке силикатных материалов и на их прочность /С.А. Кржеминский, Л.А. Кройчук, З.П. Котикова и др.//Сборник трудов ВНИИСТРОМ №24 (52) М. 1972-С.15-22.
8. Мещеряков Ю.Г. Влияние условий твердения на прочность цементного камня в зависимости от минералогического состава портландцемента и добавки гипса/ Ю.Г. Мищеряков, О.М. Климина// Строительные материалы из попутных продуктов промышленности. Межвуз. тематич. сбор. труд. ЛИСИ.1978.-С.80-85.
9. Кржеминский С.А. Автоклавная обработка силикатных изделий/ С.А. Кржеминский, Н.К. Судина, Л.А. Кройчук, В.П. Варламов// Стройиздат. М. 1974. 160с.
10. Лотов В.А. Регулирование реологических свойств газобетонной смеси различными добавками / В.А. Лотов, Н.А. Митина // Строительные материалы. -2002.-№10.-С. 12-15.