

УДК 666.973.6(082)

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

## **О РОЛИ ГИПСОВОГО КАМНЯ В ФОРМИРОВАНИИ ФАЗОВОГО СОСТАВА НОВООБРАЗОВАНИЙ АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА**

До последнего времени на существующих предприятиях отрасли по производству ячеистого бетона автоклавного твердения добавки гипса рассматривались лишь с позиций технологического инструмента регулирования реологии смеси и роста пластической прочности. Основным регламентирующим документом, который предопределял правила и тенденции производства ячеистого бетона в бывшем СССР на несколько десятилетий вперед стала «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80» [1].

Отдельные работы, выполненные в 70-х годах, подтверждали полифункциональность действия добавки природного гипса и, в частности, его влияние на фазовый состав новообразований и свойства ячеистого бетона, но не получили дальнейшего развития.

Исследование вопроса использования добавки двуводного гипса, как полифункциональной добавки, в технологии производства ячеистых бетонов автоклавного твердения с целью повышения его коэффициента конструктивного качества представляет научный и практический интерес.

Производство автоклавных силикатных материалов, по сути есть искусственным синтезом новообразований, главным образом низкоосновных гидросиликатов кальция, при температуре до 200 °С и избыточном давлении пара 0,8-1,2 МПа. Согласно [1] в разделе 2.11 – «Химические добавки и поверхностно-активные вещества» предусмотрено применение гипса двуводного – ГОСТ 40143-74 для регулирования процесса структурообразования, нарастания пластической прочности ячеистобетонной смеси.

Очевидно, и по этой причине до последнего времени исследователями и производителями гипс на постсоветском пространстве рассматривался именно с позиций рекомендаций СН 277-80, как добавки, регулирующей структурообразование. В табл. 1 приведены данные НИИЖБ об использовании добавки гипса в бывшем СССР при производстве ячеистого бетона автоклавного твердения на 10-ти заводах польской поставки проектной мощностью 189 тыс. м<sup>3</sup> в год, составляющих основную производственную мощность отрасли страны.

Как видно из табл. 1 СН 277-80 сыграл «злую шутку» - на 10 наиболее крупных заводах гипсовый камень фактически не использовался. Исключение составил завод в Ступино, где вместо песка из расчета 1 м<sup>3</sup> газобетона использовалось 388 кг золы, 116 кг извести и 14 кг гипса. Добавки гипса в безцементных смесях была обязательным компонентом, который замедлял время гидратации извести.

В новых экономических условиях, когда на рынок РФ, Казахстана, Белоруссии и Украины пришли ведущие европейские производители технологического оборудования для производства ячеистого бетона, представляется возможным провести оценку существующих подходов оптимизации состава сырьевой смеси ячеистого бетона в части использования гипсовых добавок.

На сегодня на предприятиях ООО «Аэрок» технологическая схема производства ячеистого бетона предусматривает подачу гипсового камня из расчета 3-4% в перерасчете на SO<sub>3</sub> в мельницы мокрого помола песка. Полученный шлам (прямой) имеет плотность 1,65 – 1,74 кг/л, остаток на сите с ячейками Ø 0,09 мм – 7-10 %, содержание SO<sub>3</sub> в шламе 3 – 5,3 %. Песчаный шлам с помощью пневмоустановки транспортируется в накопительные шламбасейны, которые находятся в помольном отделении, а из накопительных шламбасейнов его подают в расходные шламбасейны. Вместе с прямым шламом в смеситель вводится и обратный шлам, образующийся в результате срезки горбушки.

Наличие в составе сырьевой смеси ячеистого бетона 15-20% возвратного шлама в пересчете на сухое вещество, обеспечивает повышенную седиментационную устойчивость смеси на стадии

формования макроструктуры газобетона и одновременно возвратный шлам выступает в качестве кристаллической затравки (табл. 2).

**Таблица 1 - Расход вяжущего на производство 1м<sup>3</sup> теплоизоляционно-конструктивных ячеистых бетонов и силикатов плотностью 600-700 кг/м<sup>3</sup> [2]**

№ пп	Месторасположение предприятия	Содержание сырья, кг/м <sup>3</sup>			
		гипс	известь	цемент	зола
1	Ленинград (Автово)	-	7	276	-
2	Московская обл. (Ступино)	14	116	-	388
3	Ижевск	-	118	127	-
4	Набережные Челны	-	22	288	-
5	Пенза	-	35	320	-
6	Новосибирск	3	148	137	-
7	Барнаул	-	60	280	-
8	Павлодар	-	36	307	-
9	Темиртау	-	54	318	-
10	Ворошиловоград	-	178	81	-

Добавка гипса и возвратного шлама позволяют интенсифицировать технологический процесс набора пластической прочности газобетона до автоклавной обработки - сократить на 50-70 минут время до разрезки массива и калибровки изделий. Продолжительность выдержки изделий до разрезки массива по литевой технологии с добавкой гипса и возвратного шлама приближается к продолжительности выдержки изделий, произведенных по вибротехнологии.

Проведенные нами исследования оценки динамики расслоения исходного усредненного песчаного шлама (прямого) и шлама (прямой+возвратный) при одинаковой их плотности свидетельствует о том, что наличие возвратного шлама в исходном сырьевом шламе обеспечивает в 3-7 раз снижение его расслоения по сравнению с гомогенизированным шламом после помола песка [3].

Повышение седиментационной устойчивости сырьевых шламов, и, соответственно, смеси особенно актуально при производстве ячеистых бетонов низкой плотности (300 кг/м<sup>3</sup> и ниже) с высоким В/Т-отношением. Общепринято считать, что удельный вес составляющей правильности макропор в общей составляющей прочности газобетона составляет 25-50%. Кроме того, наличие в возвратном шламе минерального вяжущего приводит к дополнительному приросту прочности материала самого «скелета» макропор ячеистого бетона. Весьма очевидно, что возвратный шлак и добавка гипса положительно отражаются на формировании качественной макроструктуры до автоклавной обработки и микроструктуры газобетона в процессе гидротермального твердения смеси.

Именно наличие возвратного шлама и добавки природного гипса при прочих равных условиях обеспечивают прирост прочности автоклавного газобетона плотностью 300 кг/м<sup>3</sup> практически на одну марку. При плотности газобетона 300 кг/м<sup>3</sup> его прочность при сжатии увеличивается с 0,8-1,1 МПа до 1,8-2,2 МПа [3]. Использование гипса обеспечило масштабное производство газобетона класса В1,5 и плотностью D300 с более высоким коэффициентом конструктивного качества, чем аналогичная продукция других предприятий отрасли Украины. Это дает возможность рассматривать газобетон плотностью D300 как конструктивно-теплоизоляционный.

Содержание возвратного шлама в смеси является предпочтительным при достижении соотношения  $CaO/SO_2 (C/S) = 1$ , поскольку именно при таком соотношении возможен синтез низкоосновных гидросиликатов кальция, которые имеют максимальную прочность при сжатии.

**Таблица 2 - Сравнительные показатели производства газобетона по литьевой технологии с добавкой гипса и вибрационной технологии без добавки гипса на предприятиях ООО «Аэрок»**

Показатель	Литьевая с гипсом	Ударная без гипса
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	500	500
Время набора пластической прочности, мин	180-200	180-200
Разброс по плотности, кг/м <sup>3</sup>		
- верх блока	475	509
- середина блока	480	519
- низ блока	485	535
Прочность при сжатии, МПа		
- верх блока	3,05	2,7
- середина блока	3,06	2,87
- низ блока	3,07	3,26
Водотвердое соотношение	0,65	0,49
Влажность после автоклава, %	32-35	25-28
Морозостойкость, не менее	F 100	F 25
Усадка при высыхании, мм/м	не более 0,2	не более 0,3
Вяжущие (цемент + известь)	160	190
Газообразователь	0,5	0,75
Гипс	23	-

Очевидно, что в том числе и по причине отсутствия природного гипса и достаточного количества возвратного шлама в составе ячеистого бетона, в бывшем СССР в 80-е годы производилось примерно 6,3 млн. м<sup>3</sup> ячеистых бетонов в год с довольно низким коэффициентом конструктивного качества: теплоизоляционный газобетон со средней плотностью 400 кг/м<sup>3</sup> имел прочность при сжатии 11 кгс/см<sup>2</sup>; стеновые камни и блоки соответственно плотностью 668 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 51 кгс/см<sup>2</sup> и армированные изделия – средняя плотность 710 кг/м<sup>3</sup> и прочность при сжатии 56 кгс/см<sup>2</sup> [4].

На предприятиях ООО «Аэрок» отходы, которые образуются после резки массивов (горбушка, боковой рез, верхние и нижние подрезные слои) с помощью ленточного конвейера с резательного комплекса поступают в смеситель обратного шлама, а затем, после усреднения, обратный шлам перекачивается в шламбейн обратного шлама; его плотность составляет 1,35-1,45 кг/л. После перемешивания и усреднения, обратный шлам по аналогии с прямым шламом дозируется и подается в расходную мешалку [5].

Содержащуюся в СН 277-80 «ошибку» в Белоруссии исправили в 2009 году, когда был введен в действие Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-5.03-137-2009 (02250) – «Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления», который отменил на территории республики действие СН 277-80. В белорусском стандарте в составах газобетона на цементно-известковом и известково-цементном, известковом и известково-песчаном вяжущих предусмотрено наличие до 5% гипсового камня. Однако только одно предприятие (ОАО «Забудова», Минская обл.) применяет технологию производства газобетона с использованием гипсового камня. Все остальные заводы работают по виброударной технологии производства, которая в силу различных причин не дает возможности применения 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 присутствует и гипсовое вяжущее. 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.

Способность двуводного гипса замедлять гашение извести возрастает с увеличением его содержания до 3-5% от массы СаО в смеси. В процессе гашения извести добавка гипса способна уменьшить размер кристаллов гидрата окиси кальция в 10-100 раз [6]. Дисперсность  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  оказывает на прочность образцов более значительное влияние, чем дисперсность кремнезема, что является весьма важным фактором при синтезе новообразований в процессе автоклавной обработки [7].

Данные о влиянии гипса на фазовый состав новообразований и прочностные свойства силикатных материалов автоклавного твердения весьма ограничены, и главным образом, были выполнены в 60-70-е годы прошлого столетия, когда в бывшем СССР интенсивно развивалось производство автоклавных ячеистых бетонов [8-12].

В работе [9] показано, что при отсутствии добавки гипса в известково-песчаной смеси свободная СаО содержится даже при удлинении изотермической выдержки в автоклаве до 24 ч. Введение добавки гипса в количестве от 1 до 5% резко ускоряет связывание СаО в новообразования. В образцах из смеси с  $C/S=1$  свободная СаО полностью связалась после изотермической выдержки в течение 16 ч; из смесей с  $C/S=0,5$  - после выдержки в автоклаве в течение 8 ч.

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 СаО 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 855 – 885 °С. В образцах с  $C/S = 0,5$  и содержащих гипс, свободная СаО обнаружена лишь на рентгенограммах образцов, находящихся в автоклаве в течение времени, необходимого для достижения температуры 175°С (т.е. при нулевой продолжительности изотермической выдержки).

При увеличении содержания гипса с 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, а связующее вещество представлено гидросиликатом серии  $\text{CSH}(\text{I})$ . Увеличение продолжительности изотермической выдержки до 16 и 24 часов вызывает переход  $\text{CSH}(\text{I})$  в тоберморит (на рентгенограммах появляются дифракционные максимумы с  $d/n = 3,07; 3,01$  и  $2,80 \text{ \AA}$ ).

Таким образом, добавка гипса положительно сказывается на взаимодействии окиси кальция с кремнеземом, уже после выдержки 4 ч образуется гидросиликат серии  $\text{CSH}(\text{I})$ , который в дальнейшем при длительной гидротермальной обработке (16-24 ч) превращается в ксонотлит. При этом, при продолжительности 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 СаО в новообразования. Вне зависимости от основности исходной смеси введение в нее двуводного гипса существенно интенсифицирует процесс связывания извести с кремнеземом.

Как известно, дисперсность исходных компонентов влияет не только на скорость образования гидросиликатов, но и на фазовый состав гидросиликатов кальция, образующихся при гидротермальной обработке. Согласно наиболее распространенным представлениям, процесс автоклавного твердения известково-кремнеземистых материалов протекает в две стадии. На первой стадии происходит образование двухосновных гидросиликатов кальция – гидрата  $\alpha\text{-C}_2\text{S}$  или  $\text{C-S-H}(\text{II})$ . Это происходит до тех пор, пока вся известь не будет связана в двухосновные гидросиликаты кальция. На второй стадии двухосновные гидросиликаты кальция растворяются, а из раствора выкристаллизовываются низкоосновные гидросиликаты кальция. При определенной дисперсности и соотношении сырьевых компонентов образование низкоосновных гидросиликатов может происходить и в одну стадию.

В автоклавных силикатных материалах наибольший практический интерес представляет синтез минералов тоберморитовой группы, как наиболее прочных новообразований. В тоберморитовую группу, кроме нескольких форм тоберморита, которые имеют слоистый характер и отличаются друг от друга количеством межслоевой воды и межслоевыми расстояниями (11,5; 9,3; 12,6;  $10 \text{ \AA}$ ), входят минералы типа  $\text{CSH}(\text{I}, \text{II})$ , различные по составу и степени кристаллизации.

У всех минералов тоберморитовой группы на рентгенограммах дифракционные линии имеют  $d/n = 3,05; 2,81; 1,82 \text{ \AA}$ . Соотношение C/S в тоберморите может колебаться от 0,8 до 1 без заметного изменения его свойств.

Наличие в ячеистобетонной смеси цемента при добавке гипса в виде двуводного соединения приводит к замедлению процессов схватывания и твердения портландцемента, а образующийся метастабильный гидросульфатоалюминат кальция, повышает структурную прочность сырцового газобетонного изделия [13, 14].

Оптимальное количество гипса по отношению к минералу  $C_3A$  в портландцементе позволяет получить цементное тесто и цементный камень с совершенно иными свойствами, повышая его долговечность. Формирование высокосульфатной формы гидросульфатоалюмината, обладающей «армирующим» эффектом, дает значительно более прочный и долговечный каменный материал. При гидратации  $C_3A$  в присутствии гипса при любых температурных условиях, вокруг негидратированного  $C_3A$  образуется этtringит, который имеет более высокую плотность и непроницаемость, чем гексогональный гидроалюминат. С помощью добавки гипса  $C_3A$  переводится в гидросульфатоалюминаты, как более предпочтительную форму новообразований, чем гидроалюминаты.

Исследователи сходятся в одном - повышение прочности цементных материалов объясняют «армирующим» влиянием кристаллов высокосульфатного гидросульфатоалюмината кальция. Кроме того, присутствие гипса в твердеющем цементе интенсифицирует процесс гидратации силикатов кальция. При оптимальной добавке гипса происходит уплотнение цементного камня вследствие увеличения объема новообразований.

Согласно [15-17] оптимальная добавка гипса в цементных системах при пропаривании близка к значению, необходимому для связывания всего количества  $C_3A$  в моносulfатный гидроалюминат кальция; на 1%  $C_3A$  в клинкере может быть добавлено до 1,6 % полуводного гипса. В работе [18] приведена формула Ирку для определения необходимого содержания гипса в цементе:

$$SO_3 = 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot S_{уд} \cdot \% C_3A,$$

где:  $S_{уд}$  - удельная поверхность цемента,  $см^2/г$ ;

$\% C_3A$  - содержание в цементе  $C_3A$ , %,

Считая формулу Ирку частным выражением для случая нормального твердения при температуре  $20^\circ C$ , авторы [19] предложили уточненную расчетную формулу:

$$SO_3 = 6,8 \cdot C_3A \cdot S + 0,026 (t - 20),$$

где:  $C_3A$  - содержание в цементе  $C_3A$ , %;  $S$  - удельная поверхность цемента,  $м^2/г$ ;

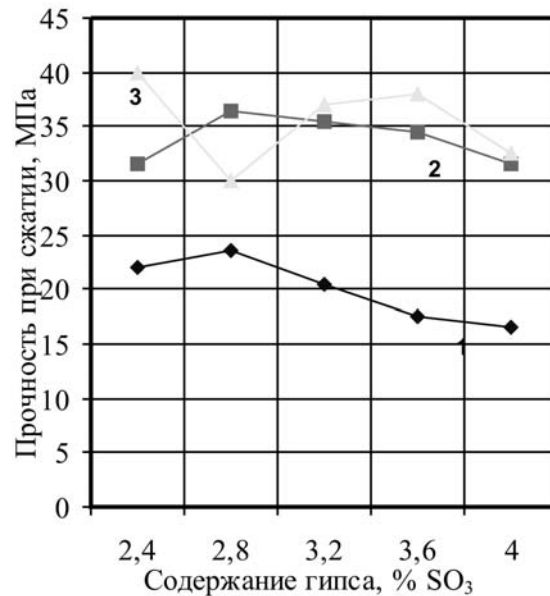
$t$  - температура тепловой обработки образцов,  $^\circ C$ .

Многочисленные работы советских исследователей носят несколько противоречивый характер о влиянии гипсовых добавок на прочность цементных бетонов естественного твердения и при пропарке. Исследования [20] показали, что кривые зависимости прочности этих материалов от содержания гипса в цементе имеют «волнообразный» вид. Оптимальные дозировки гипса меняются в зависимости от вида цементного материала, изменения состава цемента, режима твердения, содержания в цементе  $C_3A$ , тонкости помола, сроков хранения цемента. В этой связи предложено устанавливать оптимальную дозировку гипса экспериментальным путем для каждого цемента в конкретных условиях. Через недостаточное количество гипса в цементах не в полной мере используется потенциал гидравлического вяжущего (цемента), что может быть компенсировано дополнительной добавкой гипса в каждом конкретном случае производства цементных бетонов (рис. 1).

Если принять содержание  $C_3A$  в цементе 8 %, то на 8 % трехкальциевого алюмината потребуется полуводного гипса всего  $8 \cdot 1,61 = 12,8 \%$ . В составе рядового цемента уже содержится примерно 3 % гипса в расчете на  $SO_3$ . При большей дисперсности цемента или повышенной температуре гипса может быть больше, то есть приблизительно такое его количество, которое способно перевести весь  $C_3A$  в моносulfатоалюминат.

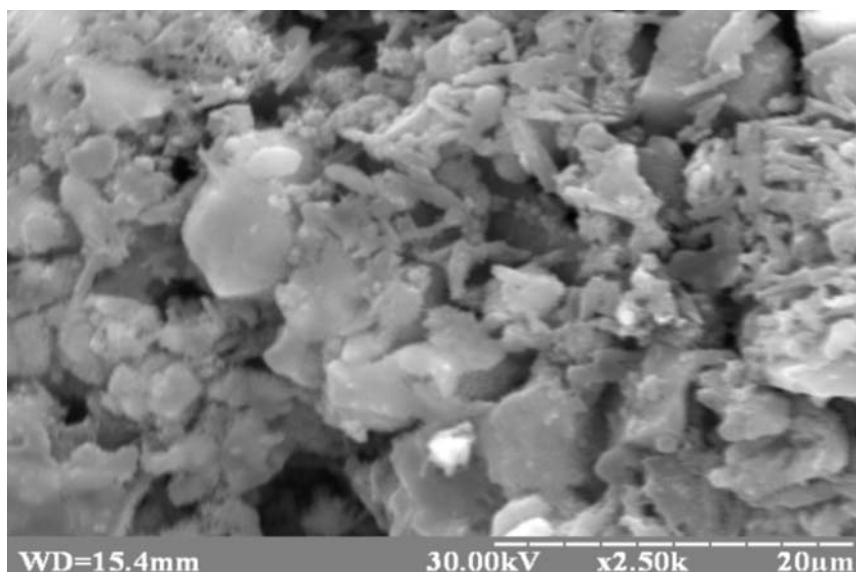
Пробы этtringита, как продукта гидратации  $C_3A$  и  $C_4AF$  согласно [21] характеризуются высоким содержанием капиллярных пор, а при температуре  $90^\circ C$  следует ожидать преобразования этtringита в моносulfат.

Можно предположить, что для ячеистых бетонов автоклавного твердения ( $V/T=0,5\dots0,6$ ) в присутствии кристаллической затравки в виде предварительно гидратированных клинкерных минералов (горбушки), процессы создания новообразований в условиях гидротермальной обработки будут происходить в менее «стесненных» условиях, что «снивелирует» негативное влияние структурного перехода гидросульфоалюминатов с одной формы в другую и ликвидирует волнообразный характер влияния добавки гипса на прочность изделий.



**Рисунок 1 - Влияние добавки гипса на прочность бетонных образцов,**  
где 1- образцы через сутки после пропарки; 2- образцы в возрасте 28 суток после пропарки;  
3- образцы после 28 суток твердения в нормальных условиях

При формировании пространственного каркаса в процессе автоклавной обработки крупные кристаллы этtringита перекристаллизуются в более мелкие моносульфаты, гипс, и обрастают кристаллами гидросиликатов кальция, создавая прочную дендровидную микроструктуру межпоровых перегородок. Характерные микрофотографии образца после автоклавной обработки представлены на рис. 2.



**Рисунок 2 - Микроструктура силикатного камня с дополнительной добавкой гипсового камня**

Результаты испытаний ДТА и ТГ демонстрируют наличие в образце  $3\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$  - этtringита (высокосульфатная форма гидросульфоалюмината кальция). В последнее время появилось значительное количество работ, свидетельствующих о вхождении сульфат-ионов, наряду с ионами алюминия и железа, в гидросиликатные фазы с образованием гидратированных продуктов изоморфного типа.

Таким образом, в бывшем СССР в рецептурах производителей автоклавного газобетона гипсовый камень практически не использовался. Он рекомендовался к использованию лишь в качестве добавки для замедления скорости гашения извести и реологической добавки на стадии формования массива

Увеличение удельного веса возвратного шлама в газобетонной смеси до 15-20 % необходимо рассматривать как полифункциональную добавку, которая обеспечивает повышение седиментационной устойчивости смеси на стадии ее формования, которая является кристаллической затравкой и компонентом вяжущего.

Ускорение процесса взаимодействия  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  в условиях автоклавной обработки приводит к увеличению количества низкоосновных новообразований, таких как  $\text{CSH(B)}$  (2,814, 2,759А), тоберморит (3,089, 2,935 А), гиролит (3,22, 3,159, 2,698 А). Цементирующее вещество в целом представлено стабильными и метастабильными гидросиликатами кальция.

При гидратации  $\text{C}_3\text{A}$  в присутствии гипса при любых температурных условиях формируется высокосульфатная форма гидросульфоалюмината (этtringит), которая является более плотной, прочной, чем гексогональный гидроалюминат. В соответствии с потенциально возможной химической реакцией 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 моносульфоалюминат, как более предпочтительное новообразование.

Использование в качестве компонента вяжущего добавки природного гипса (ангидрита) при производстве ячеистого бетона по литьевой технологии обеспечивает существенный прирост прочности ячеистых бетонов автоклавного твердения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277–80. – Государственный комитет СССР по делам строительства Госстроя СССР. М. 1980. 44с.
2. Горяйнов К.Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий/ К.Э. Горяйнов, С.К. Горяйнова// М. Стройиздат 1982. –С.260.
3. 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.
4. Кузнецов Ю.Б. Производство изделий из автоклавных ячеистых бетонов/ Ю.Б. Кузнецов// Бетон и железобетон. 1978. №11. –С.4.
5. Рудченко Д.Г. Некоторые пути повышения качества, энергосбережения и экономии сырьевых материалов на заводах «Аегос». Сборник докладов VI межд. науч. практ. конф. Ячеистые бетоны в современном строительстве. Санкт-Петербург. 2009. - С.36-42.
6. Рудченко Д.Г. Влияние автоклавной обработки на энергоемкость производства ячеистого бетона. / Д.Г. Рудченко// Строительные материалы и изделия. 2011. № -С.
7. Саталкин А.В. Высокопрочные автоклавные материалы на основе известково-кремнеземистых вяжущих / А.В. Саталкин, П.Г. Комохов // Стройиздат. Ленинград-Москва. 1966. –С.26.
8. Рашкович Л.Н. Влияние условий гидратации извести на гидротермальное твердение известково-песчаных изделий / Л.Н. Рашкович // Сборн. труд. «РосНИИМС».1961. №20. –С. 29-35.
9. Бутт Ю.М. Влияние двуводного гипса на свойства известково-глинистых материалов гидротермального твердения./ Ю.М. Бутт, Б.П. Паримбетов //Сборник трудов РОСНИИМС, вып. 10. М. Промстройиздат, 1954.
10. 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.

11. 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.
12. Кржеминский С.А. Автоклавная обработка силикатных изделий/ С.А.Кржеминский, Н.К. Судина, Л.А. Кройчук, В.П. Варламов// Стройиздат. М. 1974. 160с.
13. Лотов В.А. Регулирование реологических свойств газобетонной смеси различными добавками / В.А. Лотов, Н.А. Митина // Строительные материалы. -2002.-№10.-С. 12-15.
14. Федосов С.В. Оценка кинетики структурообразования при тепловлажностной обработке бетона / СВ. Федосов, М.В. Торопова, СМ. Базанов // Цемент и его применение. - 2003. - № 6. - С. 6-8.
15. Скромтаев Б.Г. Вопросы технологии быстротвердеющего и высокопрочного бетона при изготовлении железобетонных конструкций / Б.Г. Скромтаев// - Бетон и железобетон. 1955. №1. – С. 24-28.
16. Пойкерт С. Влияние гипса на свойства цементного раствора и цементного теста, подвергнутых кратковременной термической обработке. –М. Стройиздат. 1976. т.2, кн. 2. - С. 135-139.
17. Конопленко А.И. Технология бетона. Расчеты и задачи. Издательское объединение «Вища школа» 1975. – С.120-121.
18. Рейнсдорф З. Пропаривание бетона при атмосферном давлении (Генеральный доклад) в кн.: Труды международной конференции по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций. -М.: Стройиздат, 1968. –С.130-139.
19. Пьячев В.А. Влияние гипса на твердение портландцемента в зависимости от его состава и условий твердения/ В.А. Пьячев, В.К. Механошин и др. –Известия вузов. Строительство и архитектура. 1971. №12. –С.65-69.
20. Фатеева Н.И. О характере кривых зависимости прочности цементного камня от содержания в цементе двуводного сернокислого кальция/ Н.И. Фатеева, А.З. Тагильцев, В.И. Бешевко// Известия вузов. Строительство и архитектура, 1963. №6. –С. 87-94.
21. Штарк Йохан, Вихт Бернд. Цемент и известь/Пер. с нем. А. Тулаганова.// Под ред. П. Кривенко.-Киев, 2008.-480с.