

УДК 666.973

*Лаповская С.Д. доктор технических наук, ст. науч. сотр., зав. лаб. СМСН,
Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов и изделий «НИИСМИ»,
г. Киев, 04080, ул. Константиновская, 68
тел. 044 417 80 85, e-mail: mit@kievweb.com.ua*

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КАЧЕСТВО АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

В статье рассмотрено влияние качества сырьевых материалов на свойства ячеистого бетона автоклавного твердения.

Ключевые слова: активность, бетон, дисперсность, известь, кремнеземистый компонент, параметры, сырье, ячеистый бетон.

Технология автоклавного ячеистого бетона, как система, при колебаниях свойств исходных сырьевых материалов и технологических параметров, превышающих допустимые пределы, перестаёт выполнять основную целевую функцию – обеспечивать устойчивое получение ячеистого бетона с заданными показателями качества [1;2]. Преимущественное влияние на стабильность качественных показателей ячеистого бетона, как показывает опыт, оказывают колебания свойств сырьевых материалов. Нейтрализация их негативного влияния на стабильность качества ячеистого бетона может быть достигнута двумя путями:

Первый – строгое соблюдение заданных параметров сырьевых материалов, которое требует дополнительных затрат на замену оборудования и изменение технологии обжига и помола извести и кремнеземистых компонентов, а также входной и операционный контроль. По такому пути, в основном, идут многие зарубежные и некоторые отечественные производители, хотя это ведёт к удорожанию продукции. Однако, добиться устойчивого соблюдения всех параметров сырьевых материалов не удаётся.

Второй путь, предлагаемый нами, основывается на установлении количественного стехиометрического соотношения активности извести и реакционной поверхности алюмокремнеземистого компонента, обеспечивающего в условиях автоклавной обработки синтез качественных гидроалюмосиликатов кальция. Исходя из этого соотношения, разработаны аналитические зависимости расхода сырьевых материалов, независимо от фактического значения их параметров [3; 4]. Полученные аналитические зависимости являются основой программированного определения расхода сырьевых материалов, обеспечивающего получение ячеистого бетона со стабильными качественными показателями независимо от характеристик исходного сырья.

Этот путь значительно проще и доступнее при наличии аналитической базы программирования. В сочетании с программным управлением всеми технологическими операциями производственного процесса появляется возможность создания автоматизированного производства автоклавного ячеистого бетона при менее жестких требованиях к качеству сырьевых материалов. Таким образом, речь идёт не о создании и рассмотрении принципиально новой системы, а об улучшении существующей, которое предполагает анализ и выполнение определённых операций, обеспечивающих получение ячеистого бетона стабильного качества [1; 2].

Технология автоклавных ячеистого бетона при системном подходе её рассмотрения, представляет собой целостное множество функционально связанных между собой элементов

(материалы разных видов и назначения, технологические операции по их подготовке, переделам и перемещению в заданном режиме и последовательности, обеспечивающих достижение производственных параметров сырья, бетонных смесей, процессов формования и автоклавной обработки) [5; 6].

Автоклавная технология основана на гидротермальном синтезе гидросиликатов кальция и других по составу цементирующих новообразований. Кинетика их образования по показателям эффективной энергии активации, скорости, меры превращений и продолжительности образования, определяется действием многих факторов, главными из которых являются:

- а) концентрационное соотношение щелочного, кислотного и карбонаткальциевого компонентов;
- б) степень разбавления смеси или соотношение твердого и жидкого компонентов в смеси;
- в) поверхностная активность взаимодействующих компонентов и размер поверхности;
- г) температура протекания реакций.

От действия этих факторов зависит качество и количество синтезируемых цементирующих веществ, их относительное содержание, минералогический состав и морфология; основность и степень кристаллизации, изменение энтальпии; пористость и распределение пор по размерам. Интегральное их проявление и будет определять тот или иной уровень качества материала по показателям прочности, деформативности, теплопроводности, паро- и воздухопроницаемости, морозостойкости и др.

Как всякая химическая технология, автоклавное производство, в ходе которого имеет место химическая реакция образования цементирующих веществ из твердых тел под действием температуры и влаги, опирается на систему управляющих факторов, подлежащих контролю и регулированию. К ним относятся: состав ячеистого бетона по массе, удельная поверхность щелочного и кислотного компонентов, активность и содержание щелочного компонента в смеси, её концентрация, однородность и плотность; температура и продолжительность автоклавной обработки.

Состав ячеистого бетона оптимизируется исходя из условия связывания всей извести, выделяемой в процессе автоклавной обработки щелочным компонентом, кремнезёмистым компонентом в «конструктивные» гидросиликаты кальция – тоберморит, ксонотлит и $CSH(B)$. Это условие выполняется, как показали проведенные исследования, при определённом соотношении реагирующей поверхности SiO_2 и активной CaO . Очевидно при этом, что чем больше поверхность кремнезёмистого компонента в ячеистом бетоне, тем большее количество извести может быть связано в «конструктивные» гидросиликаты и тем больше будет прочность ячеистого бетона. Этим объясняется применение кремнезёмистого компонента в тонкомолотом виде и извести повышенной активности $\geq 70\%$. Частично остающийся после обжига извести карбонат кальция при этом не является полностью инертным балластом. Он принимает прямое участие в синтезе гидрокарбосиликатов кальция и служит подложкой для кристаллизации гидросиликатов кальция, вследствие чего оказывается важным структурным элементом формирующегося известково-кремнезёмистого конгломерата.

В силу объективных и субъективных причин производители автоклавных материалов вынуждены применять сырьевые материалы с большой изменчивостью их рабочих параметров. Это касается как природного, так и техногенного сырья, но, в наибольшей мере, основного щелочного компонента сырьевой смеси – извести. Приходится констатировать факт, что выпускаемая промышленностью известь характеризуется нестабильной активностью, температурой и скоростью гидратации, т.е. такими параметрами, которые непосредственно влияют на протекание реакции гидротермального синтеза цементирующих веществ, а в производстве – на процесс формования массивов ячеистого бетона. Это приводит к значительным издержкам по качеству и количеству выпускаемой продукции из автоклавного ячеистого бетона [7].

В табл. 1 представлены статистические данные по качеству извести, поступающей на

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

некоторые заводы по производству ячеистых автоклавных бетонов, имеющих возможность влиять на качество исходного сырья.

Таблица 1

Характеристика извести, поступающей на завод автоклавных ячеистых бетонов ООО «АЕРОК» (2011 г.)

Производитель	Кол-во анализов, шт.	Активность СаО, %	T ₆₀ мин-сек.	T _{max} °C	время гаш. мин, сек	Производитель	Кол-во анализов, шт.	Активность СаО, %	T ₆₀ мин-сек.	T _{max} °C	время гаш. мин, сек
январь						апрель					
ЛИСЗ	5	82,44	1,54	87	5,08	ЦТ	19	81,32	15,00	67	27,30
		75,99	2,05	85	5,20			85,52	5,00	69	8,15
		79,35	1,55	86	5,00			75,71	3,00	71	6,20
		82,16	1,45	88	4,15			79,07	3,30	71,7	6,15
		83,28	1,35	88	4,20			75,71	3,40	66	8,15
ЦТ	1	83,84	9,50	66	15,00			80,47	4,20	67	9,55
ЛИСЗ	19	75,71	3,80	85	7,30			80,76	4,00	68	8,10
		77,11	2,50	85	6,45			83,00	17,60	61,2	19,15
		78,79	2,50	84	5,45			84,96	4,05	69	7,15
		76,26	2,55	83	6,00			85,24	13,00	63	19,30
		81,88	2,00	86	4,00			86,64	12,05	62	20,00
		81,32	2,05	86	3,55			86,92	8,30	65	11,40
		74,59	2,45	83	4,10			84,68	10,50	62	19,22
		72,34	3,00	83	4,25			86,08	8,55	63	15,10
		78,23	2,40	83	4,15			85,24	8,15	62	12,25
		79,63	3,00	85	4,15			85,24	8,10	62	14,05
		81,60	2,50	84	4,10			88,05	8,15	65	19,05
		83,00	3,10	84	4,20			89,73	8,00	70	18,00
		77,11	4,00	83	6,05			83,00	8,45	66	20,05
		76,55	3,35	82	5,40	май					
81,32	1,45	85	3,30	ЦТ	17	81,88	8,40	63	19,10		
80,19	2,15	85	3,55			86,05	8,00	68	15,10		
80,19	2,20	84	4,00			87,77	8,15	69	18,05		
80,47	2,15	85	3,50			84,96	9,05	70	17,55		
80,47	2,15	85	3,50			85,00	9,10	70	18,20		
83,00	5,18	78	13,35			86,92	8,50	70	19,10		
февраль						85,52	8,10	68	15,17		
ЦТ	5	89,73	8,45			72,2	28,00	89,73	8,05	70	18,00
		84,40	14,25			65,1	26,00	87,48	8,10	69	17,02
		86,36	15,00			66,9	37,00	84,68	9,00	68	15,55
		86,92	14,00	68,3	35,00	86,36	8,05	69	18,15		
		84,40	6,40	67	11,20	88,05	7,55	70	18,45		
март						85,52	7,45	68	16,45		
ЦТ	7	78,51	5,45	68	12,05	83,28	8,25	68	17,25		
		82,44	4,45	84	11,00	89,73	8,15	9	19,25		
		82,16	5,10	80	10,50	88,61	8,40	69	18,50		
		81,88	6,00	72	12,15	86,08	10,02	66	15,02		
		87,48	5,15	69	11,40	июнь					
		80,47	5,10	71	10,05	86,05	8,50	67	18,15		
82,72	4,15	70	11,15	87,77	7,57	73	23,10				
ЛИСЗ	1	83,28	2,15	83	4,10	83,00	14,10	62	18,00		
ЦТ	2	81,32	6,10	68	11,30	82,44	12,15	62	20,00		
ЛИСЗ	7	85,52	5,36	74	11,00	80,76	10,15	61	20,20		
		84,96	4,15	68	8,15	85,52	9,18	66	18,30		
		83,56	4,00	70	8,15	87,77	9,00	68	17,40		
		84,12	0,15	69	8,00	87,77	10,35	69	25,00		
		83,00	4,00	68	8,10	85,52	9,40	68	22,10		
		80,19	4,15	70	8,20	78,79	8,55	61	25,40		
		80,47	4,15	68	8,03	83,28	10,40	65	25,10		
81,60	4,15	70	8,15	80,47	19,45	63	31,50				
ЛИСЗ – Любомирский известково-силикатный завод, ЦТ – завод «Цегла Трипілля»						86,08	0,50	62	28,70		
						86,64	9,10	63	18,10		
						84,96	9,15	614	25,20		
						84,68	8,50	61	20,10		

Окончание таблицы 1

Производитель	Кол-во анализов, шт.	Активность СаО, %	T ₆₀ , мин-сек.	T _{max} , °C	время гаш. мин, сек	Производитель	Кол-во анализов, шт.	Активность СаО, %	T ₆₀ , мин-сек.	T _{max} , °C	время гаш. мин, сек	
ЦТ	24	июль					ЦТ	18	84,32	10,00	63	17,45
		84,68	9,30	62	25,00							
		84,40	8,55	68	18,25							
		86,08	9,00	67	18,15							
		83,24	9,15	66	19,25							
		82,16	9,08	65	20,15							
		85,52	5,50	73	21,15							
		84,12	8,55	68	19,40							
		88,89	9,20	74	21,55							
		86,92	9,10	68	22,30							
		82,16	8,50	67	20,10							
		85,80	10,05	68	20,08							
		85,52	9,15	63	18,05							
		81,88	12,20	67	27,00							
		82,72	11,08	67	23,40							
		86,92	9,25	68	20,00							
		84,96	10,40	66	19,45							
		83,28	7,10	70	28,10							
		87,76	9,10	65	20,10							
		86,08	16,10	63	24,35							
		86,92	12,30	66	25,15							
		85,52	12,15	65	24,35							
		83,56	1,15	68	20,05							
		86,08	10,00	67	22,05							
85,80	12,15	66	24,55									
ЦТ	16	август					ЦТ	21	октябрь			
		86,92	9,10	67	19,25	86,36			7,25	68	20,20	
		86,08	10,00	67	22,05	86,62			8,40	64	22,30	
		87,77	12,10	64	31,00	86,19			10,00	61	20,00	
		85,18	12,15	66	24,55	85,52			7,10	68	18,35	
		82,16	11,46	64	25,20	88,66			8,40	69	19,35	
		87,48	9,48	68	20,15	87,77			7,00	70	19,15	
		85,24	10,10	65	20,20	86,17			8,00	68	18,25	
		83,00	9,50	63	19,50	86,64			7,50	69	19,00	
		84,12	10,00	63	20,15	88,05			8,10	67	22,03	
		84,96	9,35	64	25,20	93,37			8,00	69	18,05	
		83,00	10,00	62	20,00	86,70			6,55	71	17,50	
81,88	9,20	68	24,20	87,48	8,10	66	18,45					
84,12	8,15	69	21,15	89,33	9,15	69	19,65					
84,96	9,00	66	20,10	82,44	7,30	68	20,25					
83,00	10,00	65	19,35	85,52	9,10	66	19,15					
84,96	6,00	72	24,00	84,40	10,00	61	24,00					
ЦТ	20	сентябрь					ЦТ	21	ноябрь			
		84,96	15,00	63	22,00	84,12			10,50	63	24,15	
		84,96	10,05	64	20,00	81,32			8,40	67	22,25	
		82,16	12,00	63	21,15	83,28			9,05	67	21,05	
		83,28	11,16	61	25,20	84,96			8,40	65	23,40	
		86,92	10,00	62	22,20	84,24			9,17	62	21,15	
		85,24	9,10	62	25,00	86,36			9,05	66	23,10	
		85,24	10,00	61	28,00	87,77			8,40	66	22,05	
		84,60	9,10	61	25,00	85,52			10,05	64	26,10	
		84,12	10,00	61	22,30	86,08			9,40	64	25,15	
		84,60	12,05	62	20,15	85,24			10,25	65	20,10	
						85,24			9,00	66	19,35	
				86,08	10,15	64	18,50					
				84,12	9,25	65	19,00					
				87,77	8,15	65	20,00					
				86,08	9,11	64	22,17					
				88,03	8,05	67	20,15					
				89,73	7,25	70	19,45					
				85,24	10,00	63	22,05					
				87,20	8,50	66	21,00					
				87,48	12,05	65	22,30					
				85,52	11,00	63	25,15					

ЛИСЗ – Любомирский известково-силикатный завод, ЦТ – завод «Цегла Трипілля»

На других предприятиях, к сожалению, картина значительно хуже – активность используемой извести колеблется от 70%. Но такие предприятия работают и должны выпускать качественную продукцию.

В таблице 2 приведена сравнительная характеристика физико-технических показателей газобетона автоклавного твердения плотностью 400 кг/м³, полученного с применением традиционного и разработанного вяжущего оптимального состава.

В ближайшей перспективе с учетом технологической оснащенности заводов-производителей трудно реально рассчитывать на выпуск качественной извести со стабильными показателями ее свойств имея в виду предстоящие большие капитальные затраты и объем работ по реконструкции действующих заводов. Учитывать приходится также истощение запасов качественного природного сырья, что дополнительно усложняет и удорожает получение высококачественной извести. По-видимому, такое положение сохранится достаточно долго и заставляет производителей с ним считаться.

Таблиця 2

Физико-технические показатели газобетона автоклавного твердения плотностью 400 кг/м³

Наименование показателя	Значение для бетона, полученного на основе		
	традиционного вяжущего	разработанного вяжущего при удельной поверхности песка, см ² /г	
		S _{ш.л.} = 1800 S _{н.п.в.} = 1250	S _{ш.л.} = 1850 S _{н.п.в.} = 1500
Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	375...420	375...390	360...385
Предел прочности при сжатии, МПа	1,45...2,94	2,54...3,6	2,57...4,3
Морозостойкость, циклов	15...25	25...35	35

Способы получения качественной извести, как показывают фундаментальные исследования отечественных и зарубежных учёных, известны, хотя часто они требуют значительных финансовых затрат [8; 9; 10]. Возможность же локализации и снижения вредного влияния изменчивости свойств извести и других компонентов, а также технологических параметров производственного процесса с целью обеспечения выпуска высококачественной продукции в нынешних условиях в значительной степени целиком зависит от опыта и квалификации инженерно-технического персонала и рабочих.

Изменчивость свойств сырьевых материалов, ухудшающая качество выпускаемой продукции из автоклавного ячеистого бетона, может частично компенсироваться применением композиционных вяжущих и добавок. Положительные результаты наблюдаются, например, при введении в состав известково-кремнеземистой смеси добавок шлакопортландцемента, портландцемента, шлака, гипса, хлористого натрия и др. Бетоны, изготовленные на основе таких вяжущих, обладают повышенной прочностью, трещиностойкостью, меньшей усадкой и рядом других важных эксплуатационных свойств.

При введении щелочных добавок следует учитывать выделение дополнительного количества активной СаО, требующей для её связывания и поддержания оптимального соотношения СаО/SiO₂, увеличения реакционной поверхности кремнеземистого компонента, что достигается повышением его дисперсности или массы расчётным путём по разработанным авторами аналитическим зависимостям [3; 4].

Подробно ознакомиться с ними и примерами их использования для расчёта оптимальных составов автоклавного ячеистого бетона при разных колебаниях свойств сырьевых материалов, можно в ссылочных работах [3; 4], а также совместно выполненной НИИСМИ и МГСУ экспериментальной работе [7], подтверждающими реальную возможность получения качественного автоклавного ячеистого бетона на сырье с переменными характеристиками, используя программированное управление его составом и технологией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа, Томск; Изд-во НТЛ, 2001.
2. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем), Томск, Изд-во Томского университета, 2004. – с.186.
3. Сахаров Г.П., Виноградов Б.Н., Батаев С.С. Совершенствование технологии и улучшение свойств ячеистого бетона на смешанном вяжущем // Бетон и железобетон, 1982, № 11. – с.8 – 9.
4. Сахаров Г.П. Физико-химические и технологические основы повышения надёжности изделий из ячеистого бетона. Дисс. докт. техн. наук. – М., 1987. – т.1;2. – 477 с.
5. Сахаров Г.П. Повышение надёжности технологии автоклавных ячеистых бетонов. Экспресс-

инф., «Технология строительных материалов», ВНИИЭСМ, вып. 6, 1983.

6. Сахаров Г.П., Горчаков Г.И. Повышение надёжности технологии и изделий из ячеистого бетона. / Межвуз. сб. «Работоспособность композиционных строительных материалов», Казань, 1983;.

7. Лаповская С.Д., Сахаров Г.П. К вопросу стабилизации качества выпускаемой продукции на заводах автоклавных ячеистых бетонов.// Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Науково-технічний збірник, 2011 р., Випуск 40 – С.112 – 115;

8. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986.– 464 с.

9. Монастырев А.В. Производство извести. – М.: Высшая школа, 1986. – 192 с.

10. Барбанягрэ В.Д. Влияние примесей на структуру и химическую активность оксида кальция // Сб. тр. МИСИ и БТИСМ. – М., 1976. –Вып.23. – С.34-39

ВПЛИВ МІНЛИВОСТІ ПАРАМЕТРІВ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЯКІСТЬ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ

Лаповська С.Д.

У статті розглянуто вплив якості сировинних матеріалів на властивості ніздрюватого бетону автоклавного твердіння.

Ключові слова: активність, бетон, дисперсність, вапно, кремнеземний компонент, параметри, сировина, пористий бетон.

EFFECT OF VARIATION OF PARAMETERS OF RAW MATERIALS ON QUALITY OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

© Lapovskaya S.D .

The paper considers the influence of the quality of raw materials on the properties of autoclaved aerated concrete.

Keywords: active, concrete, dispersion, lime, siliceous component parameters, raw materials, cellular concrete.