

Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения

*Д.т.н., профессор В.В. Бабков;
к.т.н., доцент Д.В. Кузнецов;
к.т.н., доцент А.М. Гайсин;
аспирант О.А. Резвов*;
аспирант Н.С. Самофеев,*

*ГОУ Уфимский государственный нефтяной технический университет;
к.т.н., технический директор Е.В. Морозова,
ООО «Баумит»*

В практике производства и применения автоклавных газобетонных изделий на основе известково-кремнеземистых или смешанных вяжущих в наружных стенах, ставших в последние годы особенно актуальными в связи с повышением требований к теплозащите ограждающих конструкций зданий, важной и требующей разрешения является проблема защиты и обеспечения долговечности таких стен. Опыт эксплуатации зданий с подобными стенами относительно короткий и не превышает 50 лет.

Автоклавный газобетон в составе наружной стены эксплуатируется в широком диапазоне влажности, в условиях попеременного увлажнения и высушивания. При действии этого фактора в материале возникают неравномерные в объеме деформации набухания-усадки, обусловленные реализацией механизма сорбции-десорбции, а также напряжения стягивания менисков в капиллярах, что приводит к развитию внутренних напряжений и локальным структурным повреждениям, деструкции материала [1]. Влагостойкость материала в данном случае связана с амплитудой цикла и числом циклов попеременного увлажнения и высушивания.

Структура автоклавного бетона со средней плотностью 400-600 кг/м³ имеет большой объем «резервной» пористости, что при увлажнении на уровне сорбционного в условиях действия попеременного замораживания-оттаивания не приводит к развитию внутрискруктурных напряжений. Однако, при влагонакоплении выше сорбционного в порах структуры формируются водные мениски, происходит частичное или полное заполнение пор водой, что при фазовых превращениях жидкой поровой влаги в лед с 9%-ным увеличением объема обуславливает развитие внутрискруктурного давления льда и гидравлическое давление ещё не замёрзшей воды, захваченной льдом и твёрдой фазой стенок пор [2]. Этот механизм реализуется в виде многократных повторных воздействий и также приводит к снижению прочности. В соответствии с распределением температуры по толщине стены размораживание сочетается с интенсивным замачиванием наружной стены при косом дождевании, при конденсации влаги в переходные периоды «зима-весна», «осень-зима» и локализуется в наружных слоях стены.

Оптимизация технологии производства автоклавных стеновых изделий основывается, как правило, практически на единственном критерии – максимальной прочности применительно к конкретной плотности. В соответствии с этим, проектирование составов известково-кремнеземистых или смешанных вяжущих, применительно к кремнезему определенной дисперсности (3000 – 5000 см²/г), базируется на минимальном соотношении C/S, с формированием в цикле автоклавирования низкоосновных гидросиликатов кальция типа ксонотлита (C₆S₆H), тоберморита (C₅S₆H₆) при полном связывании извести. Такая система, в силу высокой пористости 75 – 85% и переменного увлажнения, уязвима по воздухостойкости из-за доступности стуктурообразующих фаз в виде гидросиликатов кальция для углекислого газа воздуха CO₂. Карбонизация ячеистого бетона атмосферной углекислотой протекает во много раз быстрее, чем в плотных силикатных бетонах или на цементной основе. Скорость карбонизации не останавливается в поверхностных слоях стены, как это происходит у тяжелых бетонов. Глубокому проникновению CO₂ в толщу стены и сравнительно высокой скорости протекания карбонизационных процессов способствует сеть сквозных капилляров и макропор, характерных для ячеистых бетонов, пористость которых формируется за счет газообразователя.

Карбонизация низкоосновных гидросиликатов кальция, преобладающих в автоклавном газобетоне, происходит с перекристаллизацией в карбонаты кальция при выделении кремнекислоты с потерей объема носителя прочности – кристаллической фазы. Более благоприятным для сохранения прочности и обеспечения долговечности будет растянутый во времени двухстадийный процесс перекристаллизации высокоосновных гидросиликатов кальция частично в низкоосновные гидросиликаты и частично – в кальцит (первая стадия). Имеющаяся при этом негидратированная известь также будет перекристаллизовываться в CaCO₃, при этом, объем носителя прочности – кристаллической фазы будет прирастать. На второй стадии перекристаллизации низкоосновных гидросиликатов в карбонаты также будет наблюдаться увеличение

Бабков В.В., Кузнецов Д.В., Гайсин А.М., Резвов О.А., Самофеев Н.С., Морозова Е.В. Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения

объема кристаллической фазы. Эти выводы подтверждаются результатами расчетов авторов, представленными в табл. 1.

Результаты исследований, проведенных Е.С. Силаенковым по принудительной карбонизации автоклавного газобетона, показали снижение прочности ячеистых бетонов на известково-кремнеземистых вяжущих, сформированных из низкоосновных гидросиликатов, относительно показателей до карбонизации [3]. Механизм снижения прочности газобетона при действии атмосферной углекислоты связан с повреждением структурообразующего элемента – межпоровых перегородок.

Таблица 1. Результаты расчета объемных изменений при карбонизации гидросиликатных фаз

Реакции карбонизации	Исходные кристаллические фазы до карбонизации		Кристаллические продукты карбонизации		Коэффициент изменения объема кристаллической фазы
	Молекулярная масса m_x	Плотность γ_x , г/см ³	Молекулярная масса m_y	Плотность γ_y , г/см ³	
1	2	3	4	5	6
1 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	74,09	2,23	100,09	2,71	1,111
2.1(гиллебрандит) => (ксонотлит) $6\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_{1,17} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow \text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 6\text{CaCO}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$	1159,8	2,64	714,96 600,54	2,69 2,71	1,11
2.2 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 6\text{CaCO}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow 12\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$	–	–	120,1	2,71	1,01
3.1 (фошагит) => (ксонотлит) $2\text{C}_5\text{S}_3\text{H}_3 + 4\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow \text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 4\text{CaCO}_3 + 5\text{H}_2\text{O}$	1029,28	2,67	714,96 400,36	2,69 2,71	1,073
3.2 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 4\text{CaCO}_3 + 5\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow 10\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	–	–	1000,1	2,71	0,957
4.1 (афвиллит) => (ксонотлит) $3\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + 3\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow \text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 3\text{CaCO}_3 + 8\text{H}_2\text{O}$	1027,14	2,64	714,96 300,27	2,69 2,71	0,994
4.2 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 3\text{CaCO}_3 + 8\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow 9\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}$	–	–	600,54	2,71	0,877
5 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow 6\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	714,96	2,69	600,54	2,71	0,834
6 (риверсайдит) $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_3 + 5\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow 5\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	694,98	2,6	500,45	2,71	0,691
7 (тоберморит) $\text{C}_6\text{S}_5\text{H}_{5,5} + 5\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow 5\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 5,5\text{H}_2\text{O}$	739,8	2,43	500,45	2,71	0,606
8 (гиролит) $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_{2,5} + 2\text{CO}_2 \Rightarrow \Rightarrow 2\text{CaCO}_3 + 3\text{SiO}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O}$	328,4	2,4	200,18	2,71	0,54

Примечание: С – CaO; S – SiO; H – H₂O

Отметим также, что снижению прочности ячеистобетонной стены будет способствовать не только влажностная и карбонизационная усадка, но и градиент влажности и карбонизации материала по толщине стены, обуславливающий развитие дополнительных конструктивных напряжений растяжения.

Таким образом, необходимым условием воздухостойкости автоклавного газобетона в исходном состоянии является наличие в его структуре гидросиликатов повышенной основности и свободной извести.

Защиту наружной стены на основе автоклавных газобетонных блоков от действия названных выше негативных факторов может решить гидрозащитная штукатурная система, совмещающая также декоративную функцию, т.е. декоративно-защитная система.

Такая система должна обладать гидрофобностью, обеспечивающей блокировку поступления влаги при косом дождевании, конденсатной влаги, локализуемой на поверхности стены в переходные периоды. Адгезия системы к автоклавному газобетону должна быть на уровне прочности основы газобетона на растяжение, т.е. примерно $1,3R_{bтн}$ ($R_{bтн}$ – нормативное сопротивление ячеистого бетона на растяжение). Для бетонов средней плотности $400\text{--}600\text{ кг/м}^3$ это соответствует диапазону характеристик адгезии $0,15\text{--}0,4$ МПа. Элементы защитной системы должны обладать минимальной усадкой, повышенной растяжимостью и морозостойкостью. Материалы защитной системы должны быть паропроницаемыми, чтобы обеспечить защиту стены от переувлажнения по двум критериям: из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период и из условия ограничения влаги за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха ΔW_{au} . Эти условия должны согласовываться с высоким коэффициентом паропроницаемости высокопористого газобетона ($\mu = 0,23 - 0,17\text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$) для ячеистых бетонов со средней плотностью $400\text{--}600\text{ кг/м}^3$) и низким сопротивлением паропроницанию стены (для толщины стены 400 мм $R_{up} = 1,74 - 2,35\text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$).

В условиях Республики Башкортостан опробована декоративно-защитная система «Баумит», характеристики которой получены В.Г. Гагариным с сотр. и предоставлены в табл. 2 [4]. Данные расчёта влагонакопления стены на основе автоклавных газобетонных блоков толщиной 400 мм приведены в табл. 3. Расчёты показывают, что по критериям влагонакопления стены в рабочем диапазоне средних плотностей удовлетворяют требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» ($\Delta W_{au} < 6\%$).

На рис. 1 представлены многоэтажные каркасно-монолитные жилые дома в г. Уфе постройки 2006 г. со стенами-заполнениями толщиной 400 мм из автоклавных газобетонных блоков со средней плотностью 500 кг/м^3 с фасадной декоративно-защитной системой «Баумит». После четырёх лет эксплуатации защитная система не показала каких-либо повреждений, а стена доказала свою полноценность по теплозащите, температурно-влажностному режиму помещений и по состоянию внутренней поверхности стен.

Таблица 2. Характеристики паропроницаемости и сопротивления паропроницанию элементов декоративно-наружной системы «Баумит»

№№ п/п	Элемент защитной системы	Толщина, мм	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	Сопротивление паропроницанию R_{up} , м ² ·ч·Па/мг
1а	Базовый слой в виде клеевого состава Haftmörtel по синтетической сетке, включая грунтовку из того же материала	5	0,050	0,083
1б	То же, KlebeSpachtel	5	0,030	0,166
2	Минеральная декоративная штукатурка EdelPutzSpezial Natur	2	0,085	0,024

Сопротивление паропроницанию декоративно-защитной системы по варианту 1а+2 – $0,107\text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$; по варианту 1б+2 – $0,190\text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$.

Таблица 3. Данные расчета влагонакопления за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха (ноябрь-март) для наружных стен на основе автоклавных газобетонных блоков в сочетании с декоративно-защитной системой «Баумит» (для условий г. Уфы)

Компоновка стены	Определяемый параметр	Характеристики наружных стен толщиной 400 мм из автоклавных газобетонных блоков различной средней плотности, кг/м ³		
		400	500	600
Внутренняя цементно-песчаная штукатурка (20 мм) + стена толщиной 400 мм + фасадная декоративно-защитная система «Баумит» (KlebeSpachtel + EdelPutzSpezial Natur)	Общая толщина стены, м	0,43	0,43	0,43
	R_o^r , (м ² ·°C)/Вт	3,531	3,055	2,698
	R_{up} , (м ² ·ч·Па)/мг	2,123	2,384	2,737
	ΔW_{au} , сумма за период, %	2,04	1,09	0,45

Бабков В.В., Кузнецов Д.В., Гайсин А.М., Резвов О.А., Самофеев Н.С., Морозова Е.В. Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения



Рисунок 1. Многоэтажные жилые дома в м-не Сипайлово г. Уфы с наружными стенами из автоклавных газобетонных блоков и фасадной отделкой в виде декоративно-защитного покрытия из материалов системы «Баумит»

Литература

1. Чернышов Е.М., Потамoshнева Н.Д. Материаловедение и технология автоклавных бетонов на основе хвостов обогащения железистых кварцитов / Воронежский госуд. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2004. – 160с.
2. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. – М. : НИИСФ РААСН, 2003. – 332 с.
3. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. – М. : Стройиздат, 1986. – 176 с.
4. Гагарин В.Г., Курилюк И.С. Заключение по теме «Выполнить экспериментальные исследования паропроницаемости и сопротивления паропроницанию клеевых и штукатурных составов «BAUMIT» / НИИСФ РААСН. – М., 2010. – 12с.

** Олег Александрович Резвов, г. Уфа, Россия*

Тел. раб. : +7(347)232-68-68; эл. почта: ufaoleg@bk.ru