

Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

К.т.н., доцент А.С. Горшков;
д.т.н., профессор Н.И. Ватин,*

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Ключевые слова: автоклавный газобетон; однокомпонентный полиуретановый клей; теплопроводность; прочность кладки на сжатие; огнестойкость; воздухопроницаемость; производительность работ

Кладка стен из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения (газобетонных блоков), выпускаемых в соответствии с требованиями ГОСТ 31360 [1], является в настоящее время одной из наиболее востребованных технологий домостроения на территории Российской Федерации [2].

Кладка из газобетонных блоков применяется при возведении несущих, самонесущих и ненесущих наружных и внутренних стеновых ограждающих конструкций как современных высотных многоквартирных зданий, так и малоэтажных частных строений (коттеджей, сблокированных таунхаусов, гаражей и т. п.). Изделия из автоклавного газобетона обладают относительно небольшой теплопроводностью (по сравнению с другими типами конструктивно-теплоизоляционных изделий), что определяет их достаточно высокую эффективность для выполнения требований к теплоизоляции наружных стен зданий. Однако при возведении стен из мелкоштучных газобетонных изделий требуется применение цементных растворов (скрепляющих блоки в кладке друг с другом), в качестве которых обычно используются либо цементно-песчаные растворы, либо тонкослойные цементные клеи.

Наличие цементных швов в кладке приводит к образованию так называемых «мостиков холода» [3], т. к. теплопроводность цементных растворов, применяемых для склеивания блоков в кладке, значительно выше теплопроводности ячеистого бетона марок по плотности D400–D600. Таким образом, швы кладки обуславливают дополнительные потери тепловой энергии, которые при использовании тонкослойных клеев могут достигать 10%, а при использовании цементно-песчаных растворов – 30% дополнительных затрат тепловой энергии по сравнению с массивом из ячеистого бетона [3, 4]. Все эти дополнительные потери энергии приводят к необходимости увеличения расчетной мощности системы отопления и, как следствие, к увеличению расхода в здании тепловой энергии на отопление в течение отопительного периода.

По этой причине для дальнейшего совершенствования кладки из газобетонных блоков требуется разработка скрепляющих кладку составов, характеризующихся низкими значениями теплопроводности, обеспечивающих при этом требуемую адгезию между блоками и не ухудшающими другие важные показатели ограждающих конструкций, такие как прочность, трещиностойкость, огнестойкость и пр.

Одним из вариантов улучшения теплоизоляционных свойств кладки из газобетонных блоков является использование в качестве скрепляющего состава однокомпонентных полиуретановых клеев.

Возведение каменной кладки на пенополиуретановых клеевых составах позволяет исключить мокрые процессы на строительной площадке и примерно в два раза увеличить скорость кладочных работ по сравнению с общепринятой технологией, когда кладка производится на цементных клеевых составах или растворах.

Преимущества каменной кладки на полиуретановых швах описаны в работах [5–16]. В ряде публикаций [5, 6] отмечено, что при возведении внутренних перегородок на полиуретановых швах наблюдается повышение их трещиностойкости.

В работе [5], посвященной вопросам трещиностойкости каменных перегородок, показано, что повышенная податливость пенополиуретановых растворных швов (по сравнению с цементно-песчаными) приводит к уменьшению сдвиговой жесткости конструкции, которая работает как балка-стенка из-за прогибов железобетонных перекрытий. Благодаря этому повышается способность перегородок к таким прогибам, в результате чего в перегородках снижаются главные растягивающие напряжения, которые являются одной из основных причин образования трещин.

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

В работе [6] представлены результаты испытаний, которые показывают, что прочность кладки на пенополиуретановых швах при растяжении при изгибе параллельно и перпендикулярно горизонтальным швам на 40% выше прочности кладки на обычных минеральных растворах.

Из представленного обзора следует, что в настоящее время в мировой практике строительства наблюдается устойчивый рост интереса к возведению стеновых конструкций из легких поризованных камней с использованием в качестве скрепляющих составов полиуретановых клеев. Следует отметить, что большинство представленных в литературном обзоре публикаций имеет отношение к исследованию механических свойств кладок из крупноформатных керамических камней.

Ниже представлены результаты эксперимента, проведенного в России применительно к кладке стеновых фрагментов, сложенных из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения.

Описание эксперимента

В конце 2011 г. на территории предприятия по выпуску стеновых неармированных изделий из автоклавного газобетона ООО «Н+Н» был проведен эксперимент по изготовлению фрагмента стены из газобетонных блоков марки по плотности D500 на аэрозольном полиуретановом клею (ППУ-клей).

Цели эксперимента:

- проверка возможности и технологичности работ по возведению кладки из газобетонных блоков на полиуретановом клею (вместо цементного клея или цементно-песчаного раствора);
- оценка производительности работ и качества кладки.

Аэрозольный клей для склеивания блоков в кладке представляет собой быстротвердеющий готовый к применению однокомпонентный полиуретановый клей в баллоне, предназначенный для применения внутри и снаружи помещений.

Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения выпускаются в соответствии с требованиями ГОСТ 31360 [1]. Технические данные полиуретанового клея представлены в таблице 1.

По истечении трех суток с момента возведения экспериментального фрагмента были проведены его контрольные замеры. Было сделано предположение, что после отверждения монтажная пена в швах кладки может увеличиться в размерах, что приведет к деформированию кладки, нарушению ее плоскостности и вертикальности. Результаты контрольных замеров показали, что отклонения линейных размеров фрагмента до и после затвердевания клея не превысили погрешности измерений. Это свидетельствует о том, что толщина горизонтальных и вертикальных швов после отверждения однокомпонентного полиуретанового клея практически не изменилась.

Предпринятая спустя трое суток попытка механического разделения блоков боковыми механическими усилиями не принесла результата. Попытки выбить блок из кладки с использованием резинового молотка приводили к разрушению газобетонных блоков, что свидетельствовало о высокой адгезии полиуретанового клея с массивом из ячеистого бетона. Фрагмент стены разрушался по телу блоков, но не по швам конструкции, как можно было предположить изначально.

Расход полиуретанового клея при проведении эксперимента составил 1 баллон на 1,25 м³ кладки. При данном расходе ППУ-клея кладка оказалась экономически более целесообразной по сравнению с кладкой на цементном клею.

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею



Рисунок 1. Монтаж экспериментального фрагмента кладки из газобетонных блоков на ППУ-клей

Таблица 1. Технические данные пенополиуретанового клея марки Soudabond – EASY (по данным производителя)

Основа	Полиуретановый преполимер
Консистенция	Стабильная пена (после отверждения)
Механизм отверждения	Влажная полимеризация
Цвет	Оранжевый
Образование поверхностной пленки	Около 8 минут (20 °C /отн. влажность 65%)
Ячеистая структура	Ок. 80% закрытых ячеек
Время пылесухости	Ок. 20 минут (20 °C/отн. влажность 65%)
Время отверждения	Ок. 60 минут (20 °C/отн. влажность 65%)
Полное отверждение	Ок. 12 часов для 3 см слоя (20 °C / отн. влажность 65%)
Выход	Ок. 12 м ² из баллона 750 мл
Сопротивление срезу	0,12 N/mm ²
Сопротивление растяжению	0,6 N/mm ²
Сопротивление сжатию	0,3 N/mm ²
Термостойкость	От –40 °C до +100 °C
Относительная плотность	Ок. 24 кг/м ³ (после отверждения)
Коэффициент теплопроводности	0,036 W/m·K (DIN 52612 [17])
Класс горючести	Г2

Примечание. Согласно инструкции производителя температура нанесения полиуретанового клея марки Soudabond – EASY составляет от +5 °C до +25 °C. При более низких температурах окружающего воздуха следует использовать специальные клеи, предназначенные для работы при температуре ниже 0 °C.

Выводы по результатам эксперимента:

- кладка стен из газобетонных блоков на полиуретановый клей технологически возможна и экономически целесообразна;
- толщина горизонтальных швов кладки составила не более 1 мм (в среднем 0,7 мм);
- после затвердевания полиуретанового клея геометрические размеры вложенного фрагмента стены не изменились; изменение габаритных размеров кладки не превысили погрешности измерений;
- прочность сцепления полиуретанового клея с блоками из автоклавного газобетона значительна; попытки механического разделения блоков между собой оказались нерезультативными.

При проведении эксперимента были выявлены некоторые недостатки кладки на ППУ-клею, а именно: при кладке стен отсутствует возможность выравнивания блоков в горизонтальной плоскости. В результате в углах стен из-за разновысотности сопрягающихся участков стеновой конструкции образуются перепады. Из-за перепада блоки работают не на сжатие, а на изгиб, что может негативно сказаться на прочности и деформативности кладки. Кроме того, полиуретановый клей не позволяет устранять уклоны кладки. Из-за этого кладка монтируется под наклоном, что нарушает вертикальность стен и приводит к возникновению дополнительного эксцентриситета в случае действия нагрузок на фрагмент стены.

В целом, несмотря на выявленные недостатки, возможность устранения которых была доказана при проведении последующих технологических испытаний, эксперимент оказался положительным.

На основании проведенного первичного эксперимента было сделано предварительное заключение о том, что представленная технология возведения кладки стен из газобетонных блоков на полиуретановый клей технологически возможна и экономически целесообразна. Однако для возможности ее воплощения в реальных проектах требуется проведение серии необходимых испытаний, а именно:

- определение прочностных и деформационных показателей кладки;
- определение теплофизических параметров кладки (сопротивление теплопередаче);
- определение воздухопроницаемости кладки;
- определение огнестойкости кладки;

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

- оценка производительности выполнения монтажных работ при возведении данного типа кладки, определение расхода полиуретанового клея при возведении 1 м³ кладки.

Основным преимуществом данного типа кладки является то обстоятельство, что теплопроводность полиуретанового клея, применяемого для скрепления газобетонных блоков в кладке стен, значительно ниже теплопроводности цементных клеев и растворов. По этой причине теплоизоляционные (теплозащитные) свойства данного типа кладки должны оказаться выше (лучше), чем свойства кладки, выполненной на любом типе цементного клея, а тем более цементно-песчаного раствора со средней толщиной швов 10 мм (наиболее распространенного варианта возведения наружных стен из газобетонных блоков при строительстве многоквартирных жилых зданий).

По результатам первого проверочного эксперимента был определен перечень необходимых испытаний и разработана программа по их проведению, которая была реализована в последующие, с момента проведения первого эксперимента, полтора года. Ниже представлены результаты этих испытаний.

Результаты испытаний

Производительность работ. Рекомендации по расходу ППУ-клея

С целью оценки производительности работ по монтажу фрагментов стен из газобетонных блоков на ППУ-клей (монтажную пену) и проверки технологичности выполнения данного вида монтажных работ, были сложены 4 экспериментальных фрагмента кладки из блоков различной толщины (100, 200, 300 и 375 мм). Объем каждого испытуемого фрагмента составил не менее 1,4 м³ (рис. 2–4).

Расход ППУ-клея по результатам проведенных экспериментов представлен в таблице 2.



Рисунок 2. Процесс нанесения ППУ-клея на поверхность блоков в кладке



Рисунок 3. Фрагменты кладки из блоков толщиной 375 и 200 мм



Рисунок 4. Процесс нанесения ППУ-клея на вертикальную (торцевую) поверхность блоков

Таблица 2. Значения фактического расхода ППУ-клея (по результатам монтажа 4 экспериментальных фрагментов)

Толщина изделия (блока), мм	Площадь стыкуемых поверхностей, м ²	Количество клея, баллон/м ³ кладки	Расход полиуретанового клея, баллон/м ²
375	6.375	1.0	≈ 0.16
300	5.25	0.77	≈ 0.15
200	6.175	0.67	≈ 0.11
100	6.787	0.67	≈ 0.10
Среднее значение по 4 экспериментальным фрагментам		0.7775	≈ 0.13

Время (продолжительность) выполнения монтажных работ при сборке 4 экспериментальных фрагментов стен различной толщины на ППУ-клей составило:

- 375 мм – 45 мин при монтаже 1 м³ кладки;
- 300 мм – 40 мин при монтаже 1 м³ кладки;
- 200 мм – 40 мин при монтаже 1 м³ кладки;
- 100 мм – 1 час 20 мин при монтаже 1 м³ кладки.

Представленные выше значения продолжительности выполнения монтажных работ не учитывают время подачи материала (блоков) к месту работ, погрузочно-разгрузочные работы, подготовительные работы по замесу цементно-песчаного раствора для выполнения первого (нижнего) ряда кладки, установку подмостей. Временные интервалы, указанные выше, учитывают только процесс сборки фрагментов, нанесение клеевого состава на поверхности блоков, установку блоков в проектное положение, их выравнивание в кладке.

На основании полученных экспериментальных данных были разработаны рекомендуемые значения расхода ППУ-клея при кладке блоков толщин:

- 375 мм – 1 баллон на 1 м³ кладки;
- 300 мм – 0,8 баллона на 1 м³ кладки;
- 200 мм – 0,75 баллона на 1 м³ кладки;
- 100 мм – 0,75 баллона на 1 м³ кладки.

Для улучшения плоскостности кладки в горизонтальном и вертикальном направлениях и повышения производительности кладки (с целью исключения операций по выравниванию каждого очередного ряда кладки) был предложен следующий способ. Выкладывание очередного ряда кладки производится с использованием тонких пластиковых клиньев (рис. 5), способных компенсировать различие блоков (± 1 мм) в высоте. Пластиковые клинья могут подкладываться на любую сторону блока при его укладке и таким образом выравнивать его в любом направлении.

Последующие исследования показали, что использование клиньев под стыкуемые поверхности для выравнивания блоков в плоскости стены не влияет на прочность стыка. Пена после незначительного приподнимания блока (на высоту не более 1 мм) расширяется, и стык равномерно заполняется клеем.

После отвердевания ППУ-клея (примерно через 20 минут после нанесения клея на поверхность блоков) пластиковые клинья следует удалить из швов кладки.

В процессе выполнения работ были сделаны следующие замечания:

- для блоков толщиной 100 мм при нанесении ППУ-клея на склеиваемые поверхности «в линию» отмечается неполное (частичное) склеивание стыкуемых поверхностей; поэтому при кладке блоков толщиной 100 мм целесообразно слой ППУ-клея (пены) наносить «змейкой» (волнистой линией);
- при сильных порывах ветра (свыше 5 м/с) наблюдалось частичное или полное скатывание нанесенного ППУ-клея с поверхности блоков; данное обстоятельство следует учитывать при работе на открытой местности;
- ППУ-клей оказался пригоден для склеивания отколовшихся от блока при транспортировке и выгрузке фрагментов (отколов); углы, отколотые в процессе разгрузки изделий, а также при монтаже кладки, могут быть быстро восстановлены путем нанесения ППУ-клея на место скола и прикладывания (возвращения на место) отколотого фрагмента к основному блоку (не рекомендуется, однако, при большом количестве сколов использовать восстановленную таким образом кладку для возведения стеновых конструкций).



Рисунок 5. Процесс выравнивания блоков с использованием пластиковых клинообразных вставок

Прочностные испытания

Прочностные испытания фрагментов стен из газобетонных блоков на ППУ-клею проводились на поверенном оборудовании ЗАО «Испытательный центр ВНИИГС» под руководством заведующего лабораторией А.П. Харченко [18].

Исследования прочности и деформативности кладки из газобетонных блоков на полиуретановом клею производились на образцах размером (Д×В×Ш): 100×100×37,5 см (рис. 6).

Для кладки образцов применялись следующие материалы:

- изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения, выпускаемые по ГОСТ 31360 [1] со следующими физико-механическими и геометрическими характеристиками: марка по плотности D400; класс по прочности на сжатие B2; размер блоков (Д×В×Ш): 625×250×375 мм;

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

- однокомпонентный полиуретановый клей (технические данные представлены в таблице 1).

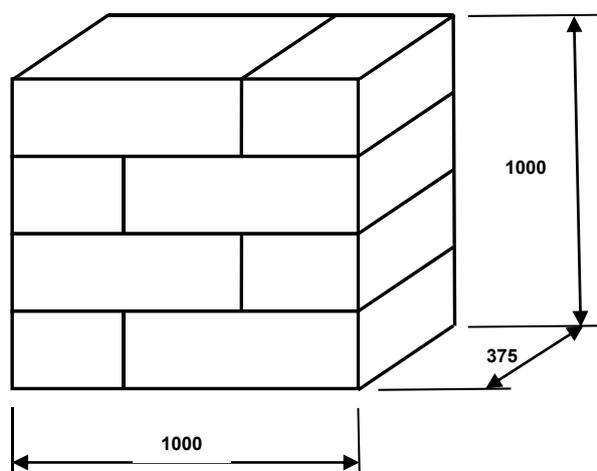


Рисунок 6. Схема испытываемых образцов кладки

Кладка всех образцов выполнялась стандартным способом. После монтажа очередного ряда кладки наносились вертикальный и горизонтальный швы кладки с использованием ППУ-клея. Сначала клеем заполнялась вертикальная поверхность блоков, затем клей наносился на горизонтальную поверхность нижнего ряда кладки, после чего на клей устанавливался очередной ряд кладки. Нижний слой кладки не выравнивался (выравнивающий цементно-песчаный раствор под нижний ряд кладки не наносился).

Время полной полимеризации полиуретанового клея составляет 2 часа (см. данные таблицы 1). Перед началом испытаний образцы выдерживались в стандартных условиях ($t_{int} = 20 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\phi_{int} = 50 \pm 5\%$) в течение суток. Образцы кладки испытывались на сжатие через сутки после монтажа.

Испытание образцов на сжатие производилось на 100-тонном прессе по стандартной методике (рис. 7). Деформации каждого образца измерялись индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм.



Рисунок 7. Стенд для проведения прочностных испытаний

Всего было испытано 5 фрагментов кладки. Результаты испытания фрагментов на прочность при сжатии представлены в таблице 3: приведены частные и средние значения нагрузок и напряжений, соответствующие моменту образования первых трещин (графы 4, 6) и моменту разрушения образцов (графы 5, 7).

Таблица 3. Результаты испытания кладки на прочность при сжатии

Номер образца	Размер в плане, см	Площадь F, см ²	Нагрузка, тс		Напряжение, кгс/см ²	
			Трещины	Разрушение	Трещины	Разрушение
1	2	3	4	5	6	7
1	100,2×37,5	3757,50	19,0	53,0	5,1	14,1
2	100,3×37,5	3761,25	19,6	44,8	5,2	11,9
3	100,3×37,5	3761,25	18,0	52,8	4,8	14,0
4	100,3×37,5	3761,25	15,4	48,0	4,1	12,8
5	100,7×37,5	3776,25	14,8	47,4	3,9	12,6
Среднее					4,6	13,1

Для определения расчетного сопротивления кладки сжатию R можно воспользоваться формулой (3) СП 15.13330 [19]:

$$R = \frac{R_u}{k} = \frac{13,1}{2,2} = 6,0 \text{ (кгс/см}^2\text{)}, \quad (1)$$

где R_u – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию кладки, кгс/см², принимаемое по данным таблицы 3;
 k – коэффициент надежности, принимаемый для кладки из крупных и мелких блоков из ячеистых бетонов равным 2,2 (по данным таблицы 15 СП 15.13330 [19]).

Следует отметить, что формула (3) СП 15.13330 [19] дана для кладок на цементно-песчаном растворе. Для кладки на клеевых составах численное значение коэффициента надежности k , принятого для перехода от среднего предела прочности к расчетному сопротивлению кладки сжатию, может отличаться от значений, представленных в таблице 15 [19].

На этом основании произведем определение нормативного значения сопротивления кладки сжатию на основе статистической обработки результатов испытаний, представленных в таблице 3. Рассчитаем среднеквадратическое отклонение σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(14,1 - 13,1)^2 + (11,9 - 13,1)^2 + (14,0 - 13,1)^2 + (12,8 - 13,1)^2 + (12,6 - 13,1)^2}{5}} = 0,85, \quad (2)$$

где x_i – численные значения частных результатов испытаний кладки на сжатие ($x_i = R_i = 14,1; 11,9; 14,0; 12,8; 12,6$ кгс/см², см. данные графы 7 таблицы 3);

\bar{x} – средний предел прочности сжатию кладки, $\bar{x} = R_u = 13,1$ кгс/см²;

n – количество испытаний, $n = 5$.

На основе полученного среднеквадратического отклонения σ рассчитаем коэффициент вариации V . Получим:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{0,85}{13,1} = 0,065. \quad (3)$$

Видим, что вариация слабая, следовательно, полученная статистическая совокупность – однородная. На этом основании определим нормативное значение сопротивления кладки сжатию R_n :

$$R_n = R_u - t_p \cdot \sigma = 13,1 - 1,96 \cdot 0,85 = 11,4 \text{ (кгс/см}^2\text{)}, \quad (4)$$

где R_u – то же, что в формуле (1);

σ – то же, что в формуле (2);

t_p – показатель достоверности, принимаемый для доверительной вероятности $p=0,95$ равным 1,96 [20].

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

Величина коэффициента t_p определяет для нормального закона число средних квадратических отклонений, которое нужно отложить вправо и влево от центра рассеивания для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна p .

Характер разрушения кладки на примере одного из испытанных фрагментов представлен на рисунке 8.

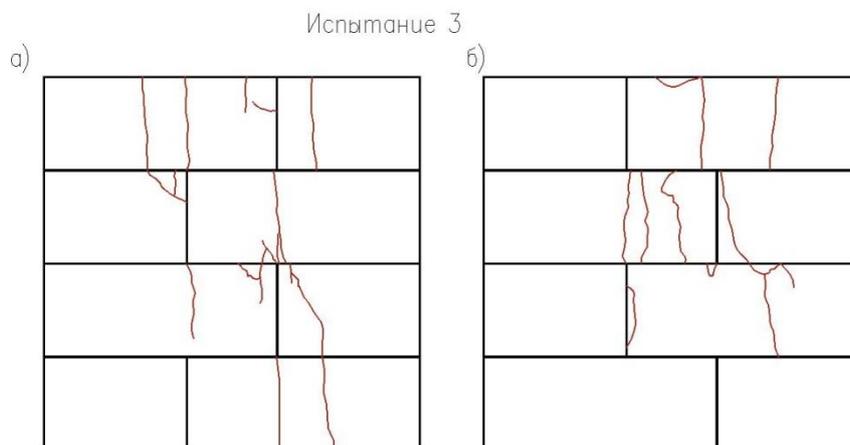


Рисунок 8. Схема разрушения образца №3

Диаграмма зависимости напряжения от деформации кладки $\sigma = f(\epsilon)$ для образца №3 представлена на рисунке 9.

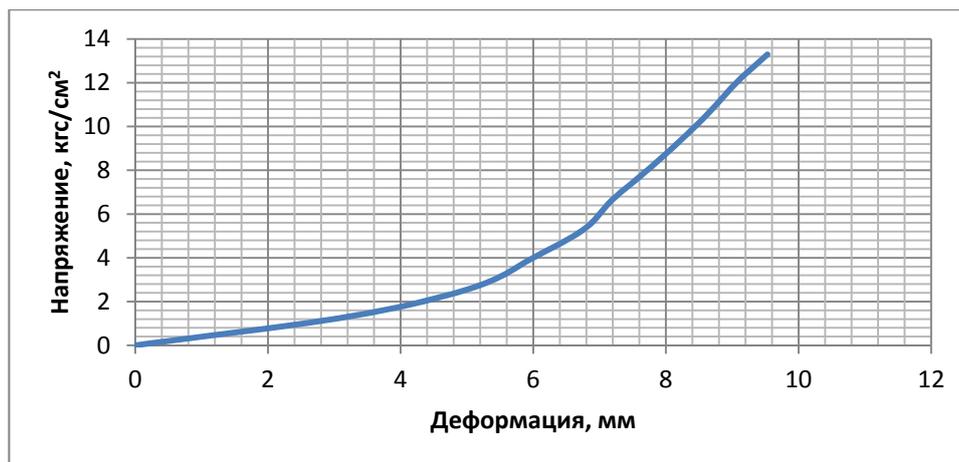


Рисунок 9. Диаграмма $\sigma = f(\epsilon)$ фрагмента кладки из газобетонных блоков на ППУ-клею

Характер поведения зависимости $\sigma = f(\epsilon)$ (см. рисунок 9) показывает наличие трех характерных участков:

- 1) участок значительных деформаций при незначительных нагрузках;
- 2) участок упругих деформаций;
- 3) участок разрушения кладки.

Первый участок деформирования кладки обусловлен высокой деформативностью полиуретанового клея (однокомпонентной монтажной пены), заполняющего горизонтальные швы кладки. Первые трещины в кладке возникают в конце первого – начале второго участка деформирования кладки, т. е. задолго до потери несущей способности. Появление трещин на этом участке нагружения объясняется тем, что из-за значительной деформативности горизонтальных швов кладки блоки из газобетона начинают работать не только на сжатие, но и на изгиб. В результате на следующей стадии деформирования кладки (участок упругих деформаций) вплоть до потери несущей способности происходит интенсивное появление трещин (рисунок 8).

Прочностные испытания показали, что:

- средний предел прочности сжатию кладки из газобетонных блоков марки по плотности D400 на полиуретановом клею составляет $13,1 \text{ кгс/см}^2$;
- расчетное сопротивление сжатию кладки из газобетонных блоков на полиуретановом клею R составляет $6,0 \text{ кгс/см}^2$;
- полученное при испытаниях значение расчетного сопротивления сжатию R кладки из газобетонных блоков на полиуретановом клею ($6,0 \text{ кгс/см}^2$) численно соответствует расчетным сопротивлениям сжатию кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на цементно-песчаном растворе марок от М4 ($5,5 \text{ кгс/см}^2$) до М10 ($6,5 \text{ кгс/см}^2$) согласно данным таблицы 3 СП 15.13330 [19], а также таблицы 6.6 СТО 501-52-01 [21];
- нормативное сопротивление кладки сжатию R_n , рассчитанное на основании статистической обработки результатов испытаний, составляет $11,4 \text{ кгс/см}^2$;
- характер поведения зависимости $\sigma = f(\epsilon)$ (рис. 9) показывает наличие трех характерных участков: первый – значительных деформаций при незначительных нагрузках, второй – упругих деформаций, третий – разрушения кладки;
- первый участок деформирования кладки обусловлен высокой деформативностью полиуретановой пены, заполняющей горизонтальные швы кладки;
- первые трещины в кладке возникают в конце первого – начале второго участка деформирования кладки (см. данные рисунка 8), т. е. задолго до потери несущей способности. Появление трещин на данном участке объясняется тем, что из-за значительной деформативности горизонтальных швов кладки блоки из газобетона начинают работать не только на сжатие, но и на изгиб. В результате на следующей стадии деформирования кладки (на участке упругих деформаций) вплоть до потери несущей способности происходит интенсивное трещинообразование;
- значительные деформации кладки из газобетонных блоков на полиуретановом клею, приводящие к трещинообразованию кладки задолго до потери ее несущей способности, не позволяют использовать данную технологию кладки в случае возведения несущих стен зданий;
- кладку из газобетонных блоков на полиуретановом клею рекомендуется использовать при возведении ненесущих внутренних и наружных стен зданий при соответствующем расчетном обосновании.

Теплофизические испытания

Испытания с целью определения сопротивления теплопередаче фрагмента кладки из газобетонных блоков на ППУ-клею проводились в испытательной лаборатории Строительных материалов ООО ФПГ «РОССТРО – ПКТИ» [22].

Габаритные размеры испытываемого фрагмента кладки стены соответствуют требованиям п. 2.2 ГОСТ 26254 [23]. Ширина и высота фрагмента составила 2100 мм, толщина 375 мм; площадь поверхности $A_{\Sigma} - 3,24 \text{ м}^2$, из них $3,227 \text{ м}^2$ площади поверхности фрагмента приходится на кладку из газобетонных блоков ($A_{\text{э.б}}$) и $0,013 \text{ м}^2$ – на швы ($A_{\text{шв}}$).

По результатам испытаний фрагмента кладки в климатической камере согласно ГОСТ 26254 [23] термическое сопротивление фрагмента стены толщиной 375 мм по глади R_{w2} составило $1,737 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ при фактической равновесной весовой влажности газобетонных блоков 22%. Термическое сопротивление фрагмента стены в швах кладки $R_{\text{шв}}$, выполненных из полиуретанового клея, составило $5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

В связи с тем, что при дальнейших испытаниях уменьшение влажности кладки не наблюдалось, испытания были прекращены. Определение термического сопротивления R_{w1} и приведенного сопротивления теплопередаче испытываемого фрагмента стены по глади стеновой конструкции R_0^r при равновесной весовой влажности 5% производилось расчетным способом [24] по методике СП 23-101 [25]. Расчет выполнен на основании протокола теплотехнических испытаний фрагмента кладки [22], проведенных по методике ГОСТ 26254 [23].

Расчетное значение термического сопротивления фрагмента стены толщиной 375 мм из газобетонных блоков марки по плотности D400 на полиуретановом клею при равновесной весовой влажности изделий в кладке R_{w1} составило $3,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ [24]. Расчетное значение сопротивления теплопередаче R_0^r для условий эксплуатации «Б» (при равновесной весовой влажности изделий в кладке стен 5%) с учетом швов кладки, выполненных из полиуретанового клея, по глади стеновой конструкции составило $3,60 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ [24].

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

Примечания:

- 1) при расчете приведенного сопротивления теплопередаче по глади рассматриваемого фрагмента не были учтены иные теплопроводные включения (оконные и дверные откосы, оконные и дверные перемычки, гибкие или жесткие связи для крепления облицовочного слоя, анкера для крепления утеплителя к кладке, диски плит перекрытий, межэтажные и подкровельные армопояса и т. п.).
- 2) равновесная весовая влажность для ячеистых бетонов автоклавного твердения – 5% – принята согласно примечанию к п. 3.15 ГОСТ 31359 [26].

Огнестойкость

Испытание перегородки из неармированных блоков 625×250×100 мм (Д×В×Ш) из ячеистого бетона автоклавного твердения марки изделий по плотности D400, класса по прочности на сжатие не менее В2, толщиной 100 мм, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 31360 [1], уложенных с использованием однокомпонентного полиуретанового клея (таблица 1), проводились в испытательном центре «Огнестойкость» ЗАО «ЦСИ «Огнестойкость» [27].

Испытания проводились по ГОСТ 30247.0 [28], ГОСТ 30247.1 [29]. Испытывались 2 образца перегородки размером 3300×3300×100 мм (Д×В×Ш). Монтаж испытываемых образцов представлен на рисунках 10, 11. Фото испытываемого образца перед началом испытаний представлено на рисунке 12.



Рисунок 10. Нанесение ППУ-клея на поверхность очередного ряда кладки испытываемого образца



Рисунок 11. Укладка следующего ряда кладки испытываемого образца

Этап проведения испытаний показан на рисунке 13.

Продолжительность проведения испытаний: до наступления предельного состояния согласно ГОСТ 30247.0 [28] по потере целостности (Е), по потере теплоизолирующей способности (I), в зависимости от того, какое из двух предельных состояний (Е или I) наступит ранее.

По результатам испытаний предельное состояние по потере целостности (Е) было достигнуто:

- на образце №1 – через 152 минуты от начала испытаний;
- на образце №2 – через 164 минуты от начала испытаний.

Предельное состояние по потере теплоизолирующей способности (I):

- на образце №1 – за время испытания не достигнуто;
- на образце №2 – за время испытания не достигнуто.

Согласно требованиям таблицы 4* СНиП 21-01 [30] для зданий степени огнестойкости I предел огнестойкости наружных несущих стен должен составлять не менее Е 30, для зданий степеней огнестойкости II, III, IV – не менее Е 15.

Согласно требованиям таблицы 1 СНиП 21-01 [30] для противопожарных перегородок типа 1 требуемый предел огнестойкости противопожарной преграды должен составлять не менее EI 45, для противопожарных перегородок типа 2 – не менее EI 15.

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею



Рисунок 12. Испытываемый образец



Рисунок 13. Проведение испытания

На основании проведенных испытаний были сформулированы следующие выводы:

- предел огнестойкости образца перегородки из неармированных блоков 625×250×100 мм определен как среднеарифметическое результатов испытаний двух образцов и составляет EI 150;
- предел огнестойкости испытанной перегородки EI 150 соответствует требованиям СНиП 21-01 [30], предъявляемым к наружным несущим стенам зданий (табл. 4*), а также к противопожарным перегородкам (табл. 1) типа 1 и типа 2.

Воздухопроницаемость

Исследование воздухопроницаемости фрагмента кладки из газобетонных блоков автоклавного твердения марки по плотности D400 на полиуретановом клею проводилось в Научно-техническом центре по сертификации строительных конструкций ИЦ «БЛОК» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» под руководством директора ИЦ «БЛОК» д.т.н., проф. Т.А. Дацюк [31].

Фрагмент кладки №1 складывался из блоков марки по плотности D400 с заполнением горизонтальных и вертикальных швов кладки полиуретановым клеем. Фрагмент кладки №2 складывался из блоков марки по плотности D400 на цементный клей с заполнением полиуретановым клеем только вертикальных швов кладки (горизонтальные швы кладки выполнялись на цементном клею).

Толщина испытываемых фрагментов кладки – 375 мм.

Воздухопроницаемость для каждого фрагмента кладки определялась при разности давлений от 70 до 1000 Па. Полученные результаты нормировались на единицу площади.

Результаты испытаний на воздухопроницаемость фрагмента № 1 кладки из газобетонных блоков на полиуретановом клею марки Soudabond-EASY с заполнением и горизонтальных, и вертикальных швов кладки ППУ-клеем представлены в таблице 4. По результатам испытаний воздухопроницаемость фрагмента №1 при разности давлений 10 Па составила 0,07 кг/м²·ч.

Сопrotивление испытанного фрагмента №1 кладки воздухопроницанию при разности давлений 10 Па R_{10} , м²·ч·Па/кг, составило:

$$R_{10}=10/i=10/0,07=143 \text{ (м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/кг)}.$$

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

Таблица 4. Результаты испытаний на воздухопроницаемость фрагмента №1 кладки из газобетонных блоков на полиуретановом клею

Разность давлений P, Па	Расход воздуха, м ³ /ч	Расход воздуха, кг/м ² ·ч
1000	0.528	4.224
900	0.510	4.080
800	0.474	3.792
700	0.438	3.504
600	0.408	3.264
500	0.360	2.880
400	0.312	2.496
300	0.258	2.064
200	0.204	1.632
100	0.108	0.864
70	0.072	0.576

Результаты испытаний на воздухопроницаемость фрагмента №2 кладки из газобетонных блоков на цементном клею с заполнением вертикальных швов кладки ППУ-клеем представлены в таблице 5. По результатам испытаний воздухопроницаемость фрагмента №2 при разности давлений 10 Па составила 0,04 кг/м²·ч.

Сопротивление испытанного фрагмента кладки воздухопроницанию при разности давлений 10 Па R_{10} , м²·ч·Па/кг составило:

$$R_{10}=10/i=10/0,04=250 \text{ (м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/кг)}.$$

Таблица 5. Результаты испытаний на воздухопроницаемость фрагмента №2 кладки из газобетонных блоков на цементном клею с заполнением вертикальных швов кладки ППУ-клеем

Разность давлений P, Па	Расход воздуха, м ³ /ч	Расход воздуха, кг/м ² ·ч
1000	0.72	0.864
900	0.64	0.768
800	0.61	0.732
700	0.56	0.672
600	0.48	0.576
500	0.42	0.504
400	0.38	0.456
300	0.29	0.348
200	0.23	0.276
100	0.11	0.132

Выводы

На основании проведенного комплекса испытаний можно сформулировать следующие выводы.

1. Использование пенополиуретанового клея для скрепления газобетонных блоков в кладке стен технически осуществимо и экономически целесообразно.

2. Экономическая целесообразность данного типа кладки обусловлена тремя составляющими:

- более высокой производительностью работ при монтаже кладки;
- более низкой стоимостью возведения 1 м³ кладки при существующем соотношении цен на полиуретановый клей и цементные составы;
- более высокими теплоизоляционными свойствами кладки на ППУ-клею по сравнению с кладкой на цементном растворе или на тонкослойном цементном клею, а следовательно, и более низкими потерями тепловой энергии в течение отопительного периода.

3. Теплотехнические свойства фрагментов стен толщиной 375 мм, выполненных из газобетонных блоков на ППУ-клею, соответствуют нормативным требованиям к уровню Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

теплоизоляции (сопротивлению теплопередаче наружных стен) для большинства регионов Российской Федерации.

4. Предел огнестойкости испытанной перегородки из газобетонных блоков (толщиной не менее 100 мм) марки по плотности D400 на ППУ-клею составил EI 150, что соответствует требованиям СНиП 21-01 [30], предъявляемым к наружным несущим стенам зданий (табл. 4*), а также к противопожарным перегородкам (табл. 1) типов 1 и 2.

5. Кладку из газобетонных блоков на полиуретановом клею допускается использовать при возведении несущих внутренних и наружных стен зданий, в том числе при заполнении наружных проемов каркасно-монолитных зданий с поэтажным опиранием кладки на несущие монолитные перекрытия, при соответствующем расчетном обосновании.

При проведении испытаний были выявлены некоторые **ограничения** для предложенной технологии возведения кладки:

- испытаний, проведенных при центральном сжатии испытываемых фрагментов кладки, недостаточно для рекомендации использования данного типа кладки при возведении несущих стен зданий;
- кладка на ППУ-клею затруднена при работе на открытой местности в условиях сильных порывов ветра (свыше 3 м/с), т. к. при данных скоростях ветра пена, нанесенная на горизонтальную поверхность блоков в кладке, может скатываться до установки последующего (верхнего) ряда кладки.

Для получения однозначного вывода о возможности или невозможности использования данного типа кладки при возведении несущих стен зданий требуются дополнительные испытания, в том числе при внецентренном сжатии фрагментов кладки, а также адгезии полиуретанового клея и блоков из ячеистого бетона в кладке.

Кроме того, требуются разъяснения производителей по поводу возможности применения полиуретанового клея в кладке наружных стен зданий, сроках службы ППУ-клея в конструкциях стен, а также способах защиты клея от ультрафиолетового облучения и перепадов температур (зима – лето).

До получения данных о сроке службы полиуретанового клея в наружных стенах зданий наиболее целесообразно его использование во внутренних перегородках с последующей отделкой стен (защитающей, в том числе, полиуретановый клей от прямого воздействия ультрафиолетовых лучей).

Авторы благодарят ООО «Н+Н» за предоставление протоколов испытаний и содействие в написании статьи. Авторы также выражают свою признательность профессору Р.Б. Орловичу за ряд ценных консультаций и обоснованных замечаний, которые были учтены при подготовке настоящего материала.

Литература

1. ГОСТ 31360-2007. Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия.
2. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России. История, современность, перспективы // Научно-практическая конференция «Современное производство автоклавного газобетона»: сборник докладов. Под ред. научно-технического совета Национальной Ассоциации Производителей Автоклавного Газобетона. Санкт-Петербург, 2011. С. 5–9.
3. Горшков А.С., Гладких А.А. Влияние растворных швов кладки на параметры теплотехнической однородности стен из газобетона // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С. 39–42.
4. Руководство по теплотехническому расчету наружных стеновых конструкций жилых и общественных зданий с применением изделия из ячеистого бетона автоклавного твердения в Российской Федерации. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 40 с.
5. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Трещиностойкость каменных перегородок // Жилищное строительство. 2012. №8. С. 34–37.
6. Jager A., Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Poliurethankleben // Mauerwerk. 2011. Vol. 15. No.4. Pp. 223–231.
7. Graubohm M., Brameshuber W. Investigations on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive // 8th International Masonry Conference 2010. Dresden, 2010.
8. Schloeglmann, K.H. Long-Term Behavior of PUR-Glued Clay Block Masonry. // Proceedings of the 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sydney, 17 – 20 February 2008. Callaghan: University of Newcastle, 2008.

Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею

9. Marzahn G. Dry-Stacked Post-Tensioned Masonry; load bearing and deformation behavior / Forschung für die Praxis. Stuttgart: Teubner, 2000.
10. Klouda J.K. Research, evaluation and approval of masonry made of clay blocks with PU-adhesives // 8th International Masonry Conference 2010. Dresden, 2010.
11. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation on masonry glued with on-site PU-adhesives // 8th International Masonry Conference 2010. Dresden, 2010.
12. Brameshuber, W., Graubohm, M. Test Report: M 1341: Investigation on the Flexural Load Bearing Capacity of Masonry with Polyurethane Adhesive. unpublished, Aachen, 2009.
13. Heuer R., Seltenhammer. A.: Untersuchungen der technischen Eigenschaften sowie Festlegung der zu deklarierenden Werte des Mauerwerksklebers DRYFIX.extra der Fa. Wienerberger Ziegelindustrie GmbH. auf Polyurethanbasis für die Erlangung einer Österreichischen Technischen Zulassung (ÖTZ), unpublished, Technical University Vienna, 2009.
14. Lu S., Kasa M. Seismic test program of special designed clay blocks due to earthquake resistance by Wienerberger consisting real scale shaking table-, cyclic shear-, diagonal tension and compression tests. // Proceedings of the 14st World Conference on Earthquake Engineering. China, Beijing, 2008.
15. Wójcik M. Nowe technologie – deweloperski sposób na biznes // Ceramika Budowlana. 2011. No.4. Pp. 23–25.
16. Jasche R. Geklebte Ziegel // OIB aktuell. 2009. No.3. Pp. 22–25.
17. DIN 52612-3 EN-Testing of Thermal Insulating Materials; Determination of Thermal Conductivity by the Guarded Hot Plate Apparatus; Thermal Resistance of Laminated Materials for Use in Building Practice.
18. Научно-технический отчет по теме: «Исследование прочности и деформативности кладки из газобетонных блоков H+H марки по плотности D400 на полиуретановом клее Soudabond-EASY при сжатии» / ЗАО «Испытательный центр ВНИИГС».
19. СП 15.13330.2012 (Актуализированная редакция СНиП II-22-81*). Каменные и армокаменные конструкции.
20. Леонтьев Н.Л. Техника статистических вычислений. М.: Лесная промышленность, 1966. 250 с.
21. СТО 501-52-01-2007. Часть I. Издание второе, дополненное. Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации.
22. Результаты теплотехнических испытаний фрагмента кладки толщиной 375 мм из блоков стеновых неармированных из ячеистого бетона автоклавного твердения H+H марки по плотности D400 на полиуретановом клее Soudabond-EASY от 06.03.2012 / Испытательная лаборатория Строительных материалов ООО ФПГ «РОССТРО»-«ПКТИ».
23. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
24. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Расчет приведенного сопротивления теплопередаче по глади стены фрагмента кладки из газобетонных блоков марки по плотности D400 на полиуретановом клею при равновесной весовой влажности ячеистого бетона 5 % на основании лабораторных испытаний фрагмента в климатической камере по ГОСТ 26254» / Институт материалов и технологий Объединенного научно-технологического института ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
25. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
26. ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия.
27. Протокол испытаний 34ск/и-2012 от 13 декабря 2012 г. / ИЦ «Огнестойкость» ЗАО «ЦСИ «Огнестойкость».
28. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.
29. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
30. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
31. Заключение по результатам исследования воздухопроницаемости фрагментов кладки из блоков автоклавного твердения H+H на полиуретановом клее Soudabond-EASY (2 фрагмента кладки) / Научно-строительный центр по сертификации строительных конструкций ИЦ «БЛОК» ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

**Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербург, Россия
Тел. раб.: +7(921)3884315; эл. почта: alsgor@yandex.ru*

© Горшков А.С., Ватин Н.И., 2013

doi: 10.5862/MCE.40.1

Properties of the wall structures made of autoclaved cellular concrete products on the polyurethane foam adhesive

A.S. Gorshkov;

N.I. Vatin,

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia

+7(921)388-43-15; e-mail: alsgor@yandex.ru

Key words

autoclaved aerated concrete (AAC); one-component polyurethane adhesive; thermal conductivity; strength of masonry in compression; fire resistance; breathability; performance of works

Abstract

The article presents information on a test experiment for the construction of masonry fragments made of autoclaved cellular concrete products (AAC blocks) on the polyurethane adhesive and the ensuing structural, thermal and technological tests of this type of masonry in specialized laboratories and testing facilities. It is shown that the use of polyurethane foam adhesive to bond the concrete blocks in the masonry walls is technically and economically feasible.

On the basis of the tests it was concluded that the laying of concrete blocks on the polyurethane adhesive may be used in the construction of non-load bearing interior and exterior walls of buildings, including the filling of the external frame openings of monolithic buildings with floor bearing of the masonry on load bearing monolithic floors (with appropriate justification of the settlement).

References

1. GOST 31360-2007. *Izdeliya stenovyye nearmirovannyye iz yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya. Tekhnicheskiye usloviya* [Non-reinforced production of autoclaved cellular concrete. Specifications]. (rus)
2. Levchenko V.N., Grinfeld G.I. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennoye proizvodstvo avtoklavnogo gazobetona»: sbornik dokladov* [Theoretical and practical conference "Modern production of autoclaved gas concrete": collection of papers]. Saint-Petersburg, 2011. Pp. 5–9. (rus)
3. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.3. Pp. 39–42. (rus)
4. *Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu raschetu naruzhnykh stenovykh konstruksiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy s primeneniym izdeliya iz yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya v Rossiyskoy Federatsii* [Guidance on heat engineering calculation of exterior wall constructions of residential and public buildings using autoclaved cellular concrete in Russian Federation]. SPbGPU: Izdvo Politekhn. un-ta, 2011. 40 p. (rus)
5. Derkach V.N., Orlovich R.B. *Housing Construction*. 2012. No.8. Pp. 34–37. (rus)
6. Jager A., Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Poliurethankleben. *Mauerwerk*. 2011. Vol. 15. No.4. Pp. 223–231.
7. Graubohm M., Brameshuber W. Investigations on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive. *8th International Masonry Conference 2010*. Dresden, 2010.
8. Schloeglmann K.H. Long-Term Behavior of PUR-Glued Clay Block Masonry. *Proceedings of the 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sydney, 17–20 February 2008*. Callaghan: University of Newcastle, 2008.
9. Marzahn G. *Dry-Stacked Post-Tensioned Masonry; load bearing and deformation behaviour. Forschung für die Praxis*. Stuttgart: Teubner, 2000.
10. Klouda J.K. Research, evaluation and approval of masonry made of clay blocks with PU-adhesives. *8th International Masonry Conference 2010*. Dresden, 2010.
11. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation on masonry glued with on-site PU-adhesives. *8th International Masonry Conference 2010*. Dresden, 2010.
12. Brameshuber W., Graubohm M. *Test Report: M 1341: Investigation on the Flexural Load Bearing Capacity of Masonry with Polyurethane Adhesive*. unpublished, Aachen, 2009.
13. Heuer R., Seltenhammer A. *Untersuchungen der technischen Eigenschaftensowie Festlegung der zudeklarierenden Werte des Mauerwerksklebers DRYFIX.extra der Fa. Wienerberger Ziegelindustrie GmbH. auf Polyurethanbasis für die Erlangung einer Österreichischen Technischen Zulassung (ÖTZ)*, unpublished, Technical University Vienna, 2009.

Gorshkov A.S., Vatin N.I. Properties of the wall structures made of autoclaved cellular concrete products on the polyurethane foam adhesive

14. Lu S., Kasa M. Seismic test program of spezial designed clay blocks due to earthquakeresistance by Wienerberger consisting real scale shaking table-, cyclic shear-, diagonal tensionand compression tests. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*. China, Beijing, 2008.
15. M. Wójcik M. Nowe technologie – deweloperski sposób na biznes. *Ceramika Budowana*. 2011. No.4. Pp. 23–25.
16. Jasche R. Geklebte Ziegel. *OIB aktuell*. 2009. No.3. Pp. 22–25.
17. DIN 52612-3 EN-Testing of Thermal Insulating Materials; Determination of Thermal Conductivity by the Guarded Hot Plate Apparatus; Thermal Resistance of Laminated Materials for Use in Building Practice
18. *Nauchno-tekhnicheskij otchet po teme: «Issledovaniye prochnosti i deformativnosti kladki iz gazobetonnykh blokov N+N marki po plotnosti D400 na poliuretanovom klee Soudabond-EASY pri szhatii»* [Research and technical report on the topic: “Investigation of strength and deformability of masonry from gas concrete blocks N+N with density grade D400 on polyurethane adhesive Soudabond-EASY in compression]. VNIIGS Testing Centre. (rus)
19. SP 15.13330.2012 (Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-22-81*) *Kamennyye i armokamennyye konstruksii* [Set of rules 15.13330.2012 (Actualized edition of building code II-22-81*) Stone and reinforced masonry structures]. (rus)
20. Leontyev N.L. *Tekhnika statisticheskikh vychisleniy* [Technique of statistical calculation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1966. 250 p. (rus)
21. STO 501-52-01-2007. *Chast I. Izdaniye vtoroye, dopolnennoye. Proektirovaniye i vozvedeniye ograzhdaiushchikh konstruksiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy s primeneniyyem yacheistyykh betonov v Rossiyskoy Federatsii* [Part I. Second enlarged edition. Design and erection of building envelope structures of residential and public buildings using aerated concrete in Russian Feredation]. (rus)
22. *Rezultaty teplotekhnicheskikh ispytaniy fragmenta kladki tolshchinoy 375 mm iz blokov stenovykh nearmirovannykh iz yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya N+N marki po plotnosti D400 na poliuretanovom klee Soudabond-EASY ot 06.03.2012* [Results of the heat engineering test of masonry fragment of 375 mm thickness of wall nonreinforced blocks of autoclaved cellular concrete N+N with density grade D400 on polyurethane adhesive Soudabond-EASY of 06. 03. 2012]. Test laboratory of building materials OOO FPG «ROSSTRO»-«PKTI» (rus)
23. GOST 26254-84. *Zdaniya i sooruzheniya. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache ograzhdaiushchikh konstruksiy* [Buildings and structures. Methods for assessment of resistance to heat transfer of building envelope]. (rus)
24. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po teme: «Raschet privedennogo soprotivleniya teploperedache po gladi steny fragmenta kladki iz gazobetonnykh blokov marki po plotnosti D400 na poliuretanovom kleyu pri rovnovesnoy vesovoy vlazhnosti yacheistogo betona 5% na osnovanii laboratornykh ispytaniy fragmenta v klimaticheskoy kamere po GOST 26254»* [Report on research scientific work on the topic: “Calculation of reduced total thermal resistance of smooth surface of the wall masonry fragment of gas concrete blocks with density grade D400 on polyurethane adhesive with equilibrium gravimetric moisture of 5% cellular concrete on the basis laboratory tests of the fragment in the climate chamber according to GOST 26254]. RI of Materials and Technologies, SPbSPU National Research University (rus)
25. SP 23-101-2004. *Proektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy* [Set of rules 23-101-2004. Design of thermal protection of buildings]. (rus)
26. GOST 31359-2007. *Betony yacheistye avtoklavnogo tverdeniya. Tekhnicheskiye usloviya* [Autoclaved cellular concrete. Specifications]. (rus)
27. *Protokol ispytaniy 34sk/i-2012 ot 13 dekabrya 2012 g.* [Test report 34sk/i-2012 of 13 December 2012]. ITs «Ognestoikost» ZAO «TsSI «Ognestoikost» (rus)
28. GOST 30247.0-94. *Konstruksii stroitelnyye. Metody ispytaniy na ognestoykost. Obshchiye trebovaniya* [Building structures. Fire resistance test methods. General requirements]. (rus)
29. GOST 30247.1-94. *Konstruksii stroitelnyye. Metody ispytaniy na ognestoykost. Nesushchiye i ograzhdayushchiye konstruksii* [Building structures. Fire resistance test methods. Bearing and enclosing structures]. (rus)
30. SNiP 21-01-97*. *Pozharnaya bezopasnost zdaniy i sooruzheniy* [Building code 21-01-97*. Buildings and structures fire safety]. (rus)
31. *Zakliucheniye po rezultatam issledovaniya vozdukhopronitsaemosti fragmentov kladki iz blokov avtoklavnogo tverdeniya N+N na poliuretanovom klee Soudabond-EASY (2 fragmenta kladki)* [Conclusion of the research of air permeability of masonry fragments of autoclaved concrete blocks N+N on polyurethane adhesive Soudabond-EASY (2 fragments)]. Scientific-Research Test Centre for Building Structures “Block”, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 5–19