

УДК 624.6.012.2

Г.И. ГРИНФЕЛЬД, исполнительный директор, Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона; А.П. ХАРЧЕНКО, руководитель ОС «ВНИИГСертификация», ЗАО «Испытательный центр ВНИИГС» (Санкт-Петербург)

Сравнительные испытания фрагментов кладки из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва

Показано, что кладка из камней и блоков правильной формы с высокой точностью геометрических размеров на клеевых составах, обеспечивающих формирование тонкого кладочного шва, не определена в отечественных нормативных документах и не имеет расчетных характеристик. Представлены результаты сравнительных испытаний фрагментов кладок из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва.

Ключевые слова: кладка на клеевых составах, кладка с тонким швом, прочность и деформативность каменной кладки, клей для кладки, ППУ-клей.

Стеновые и перегородочные изделия (камни, блоки, плиты) правильной формы с отклонениями геометрических размеров по высоте в пределах ± 1 мм производятся в России массово. Это гипсовые перегородочные плиты (ГОСТ 6428–83), камни из мелкозернистого бетона, изготавливаемые методом вибро- и гиперпрессования, стеновые силикатные блоки (ГОСТ 379–95), шлифованные крупноформатные керамические камни (ГОСТ 530–2012) и, наконец, наиболее массовые изделия для каменной кладки – неармированные блоки из ячеистого бетона автоклавного твердения (ГОСТ 31360–2007), выпускаемые в объеме 10 млн м³/г [1–3]. Изделия с такой точностью геометрических размеров не требуют при ведении кладки формирования кладочного шва стандартной толщины 10–12 мм (по СП 70.13330.2012). Отклонения размеров камней и блоков по высоте в пределах ± 1 мм позволяют вести кладку на тонкослойных минеральных растворах, обеспечивающих формирование кладочного шва толщиной до 3 мм.

Изменение толщины шва влияет на прочность и деформативность каменной кладки. Подробно данный вопрос рассмотрен в классическом труде Л.И. Онищика [4]. Основные выводы закреплены в отечественных нормах по проектированию каменных конструкций (СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22–81»). В частности, увеличение толщины постельного шва с 10–12 до 20 мм влечет снижение расчетного сопротивления кладки сжатию на 20% (см. прим. 2 к табл. 3 СП 15.13330.2012), а уменьшение толщины шва до 5 мм – к увеличению расчетного сопротивления на 30% (см. прим. 3 к табл. 6 СП 15.13330.2012).

Другими характеристиками штучных изделий, учитываемыми в описанном стандарте при определении расчетного сопротивления сжатию, являются: вид материала и высота ряда кладки (табл. 2–10 СП 15.13330.2012), точность геометрических размеров камня (табл. 5, 6, 8–10 СП 15.13330.2012). Для кладочного шва учитывается марочная прочность раствора (табл. 2–10 СП 15.13330.2012), качество заполнения

шва (прим. к табл. 2, 3(1), 5(3), 10 СП 15.13330.2012), толщина шва (прим. 3 к табл. 6 СП 15.13330.2012). При этом в перечисленных документах отсутствуют расчетные значения для кладки с тонким раствором швом из камней правильной формы с отклонениями геометрических размеров по высоте камня в пределах ± 1 мм.

Испытания каменной кладки с тонким раствором швом проводились в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и ЛенЗНИИЭП в 1980-х гг. и ранее. Результатом испытаний явилось прим. 3 к табл. 5 СНиП II-22–81 («Расчетные сопротивления кладки из... камней... с ровными поверхностями и допусками по размерам, не превышающими ± 2 мм, при толщине растворных швов не более 5 мм, выполненных на цементных пастах или клеевых составах, допускается принимать... с коэффициентом 1,3») и примечание (*) к табл. 6.6 СТО 501-52-01–2007 («Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий из ячеистых бетонов в Российской Федерации»), приравнивающее расчетное сопротивление сжатию кладки «на клею» к сопротивлению кладки на растворе максимальной прочности (примечание основано на данных более раннего документа, выпущенного ЦНИИСК в 1986 г. «Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов»).

При этом определения понятий «клей» и «кладка на клеевых составах» в действующих нормативных документах не дано. Отсутствие такой дефиниции лишает прим. 1 к табл. 3 (СП 15.13330.2012) и прим. 4 к табл. 11 (СП 15.13330.2012) нормативной определенности.

Вопрос применения для каменной кладки растворов, укладываемых тонким слоем, получил нормативное определение в Еврокоде 6 (EN 1996-1-1: 2005 Eurocode 6. Design of masonry structures. Part 1-1). Расчетные сопротивления такой кладки сжатию по данному Еврокоду зависят только от прочности кладочных изделий (masonry units) и не зависят от прочности материала кладочного шва. Анализ практических результатов перехода от применения

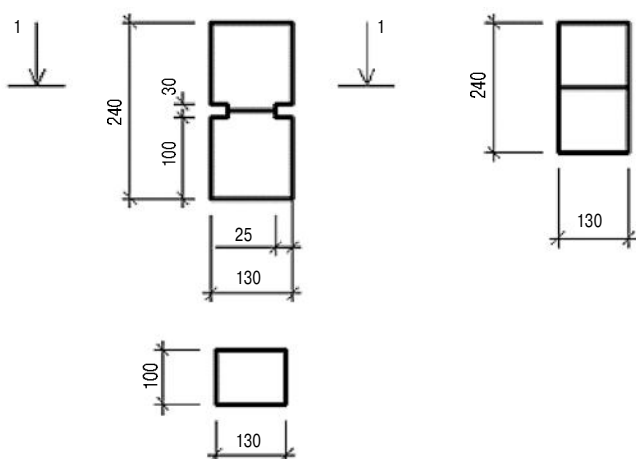


Рис. 1. Склейка двух образцов бетона для определения адгезии материала кладочного шва



Рис. 2. Образец для испытания на адгезию

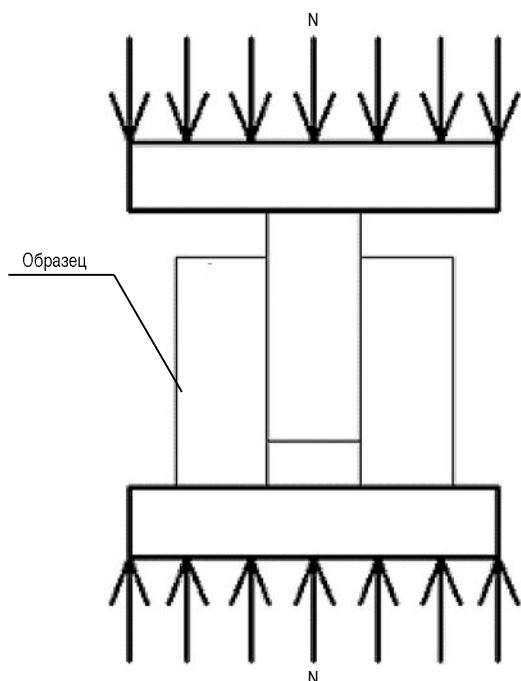


Рис. 3. Склейка трех призм из бетона для определения касательного сцепления материала кладочного шва



Рис. 4. Образец для испытания на срез

национальных стандартов стран Евросоюза к проектированию по Еврокоду 6 сделан в [5]. В России современные исследования характеристик кладки с тонким швом носят единичный характер [6, 7] и не позволяют сделать выводы о влиянии толщины шва на характеристики каменной кладки из выпускаемых современной промышленностью штучных изделий. Обзор зарубежных исследований по состоянию на начало 2000-х гг., раскрывающих влияние тонкослойных растворов на характеристики кладки, и описание работ, проведенных в 1990-е в БелНИИС, представлен в работе [8].

Значительно позже вопроса о сравнительных характеристиках кладки на минеральном строительном растворе с различной толщиной кладочного шва появился вопрос о характеристиках кладки со швом, выполненным из пластичного материала (полиуретанового монтажного клея). Обзор современных зарубежных исследований кладки на поли-

уретановом клею и отчет о первом российском исследовании свойств данного типа кладки представлены в [9]. Описанные в работе исследования проводились с целью получения абсолютных значений характеристик кладки на полиуретановом клею. Принципиальная применимость кладки на полиуретановом клею получила подтверждение, а вопрос о характеристиках такой кладки в сравнении с кладкой на минеральном растворе с различной толщиной шва остался открытым.

Наряду с вопросами о роли материала и толщины кладочного шва заслуживает рассмотрения вопрос влияния фактических отклонений высоты камней на прочность и трещиностойкость кладки. Рекомендации по шлифовке кладки из автоклавных газобетонных блоков при использовании тонкослойного кладочного раствора присутствуют в технических материалах производителей газобетона (например, «Энциклопедия строительства Ytong», «Ру-

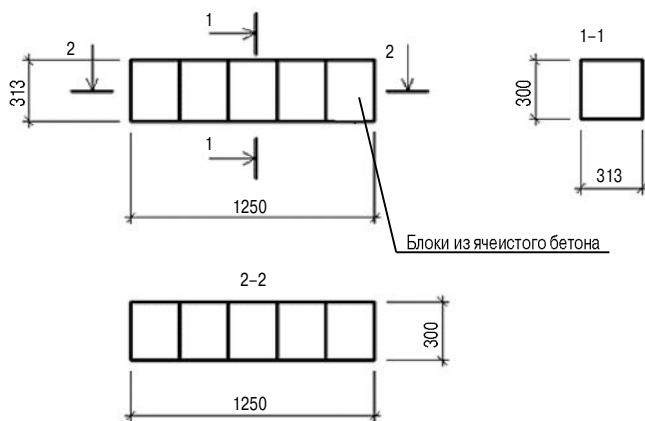


Рис. 5. Балка для определения прочности на изгиб



Рис. 6. Образец для испытаний на изгиб

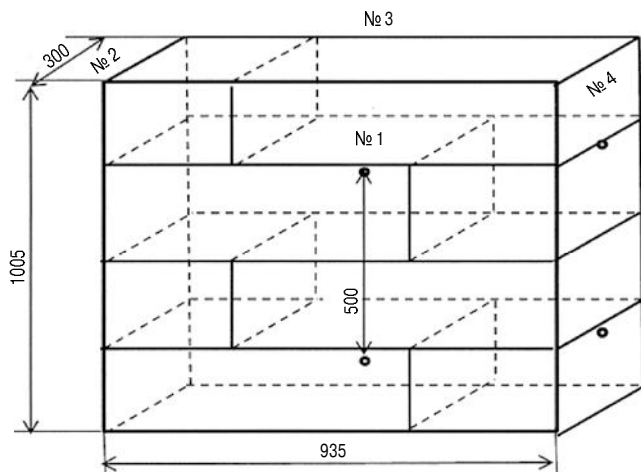


Рис. 7. Схема фрагмента кладки для определения временного сопротивления сжатию и зависимости деформаций от нагрузки



Рис. 8. Фрагмент кладки на испытательном стенде

ководство пользователя Аегос», «Альбом технических решений Н+Н»). Предполагается, что устранение локальных неровностей на стыке блоков ведет к снижению расхода клея и уменьшению трещинообразования. При этом влияние шлифовки на снижение расхода клеевой смеси измеримо – устранение перепадов на стыке между смежными блоками влияет на фактическую толщину тонкого кладочного шва. Однако исходных данных для оценки влияния шлифовки зон сопряжения между смежными блоками на трещинообразование или несущую способность кладки в литературных источниках не обнаружено.

Постановка задачи

Описанный выше перечень вопросов, а также потребность оценить применимость кладки из газобетонных блоков марки D400 с кладочным швом, выполненным на полиуретановом клею, для устройства однослойных наружных стен зданий с поэтажным опиранием кладки позволили филиалу ООО «ЛСР–Стеновые» (AEROC) и ООО «ПСО «Теплит» сформулировать техническое задание на проведение исследовательской работы. Проведение работы было поручено Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона (НААГ).

НААГ совместно с ЗАО «Испытательный центр ВНИИГС» разработали программу исследований, опираясь в числе прочего на проведенную в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко работу по испытанию кладки из блоков с тонким раствором швом [6] и на проведенные в Испытательном центре ВНИИГС исследования кладки на полиуретановом клею [9].

Цели исследования

Провести сравнительный анализ прочности и деформативности кладок из блоков из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва.

Предварительно отшлифовать постель кладки и оценить влияние шлифовки на трещинообразование и несущую способность кладки.

Материалы

Для испытаний были использованы блоки из автоклавного газобетона марки по плотности D400 (фактическая плотность 407 кг/м^3) класса по прочности при сжатии B2,5 (фактическая средняя прочность $3,03 \text{ МПа}$) одной партии. В качестве кладочного состава для стандартной кладки использовался цементно-песчаный раствор M100,

Таблица 1

Среднее значение для типа шва	Нормальное сцепление (растяжение), МПа			Касательное сцепление (срез), МПа			Растяжение при изгибе, кН		
	клей	ППУ-клей	раствор	клей	ППУ-клей	раствор	клей	ППУ-клей	раствор
	0,12	0,14	0,15	0,35	0,3	0,28	10,8	9,15	4,2
%, раствор = 100%	78	92	100	122	107	100	257	218	100

Таблица 2

Исполнение кладочного шва	Средняя разрушающая нагрузка, тс	Относительная прочность* (ЦПС = 100%), %
ЦПС М100, 10 мм	26,2	100
Цементный клей, 1–2 мм	34,5	132
Цементный клей со шлифовкой, 0,5–1,5 мм	33,1	126
ППУ	30,9	118
Насухо	31,6	121

Примечание. * приведено сравнительное временное сопротивление, полученное в результате деления средней разрушающей нагрузки для данного типа шва на среднюю разрушающую нагрузку для кладки со стандартным раствором швом (ЦПС М100, 10 мм).

модифицированный для предотвращения обезвоживания добавкой КМЦ. В качестве раствора для тонкошовной кладки использовалась сухая строительная смесь на основе цемента с максимальной крупностью заполнителя 0,63 мм, марочной прочностью М75 и временем коррекции склеенных блоков 10 мин. Однокомпонентный полиуретановый клей (далее – ППУ-клей) был приобретен в розничной сети. Торговая марка приведена в отчете об испытаниях.

Программа испытаний

1. Определение фактической плотности и прочности бетона.
 2. Определение адгезии материала кладочного шва к бетону. Размеры и форма образцов для испытаний показаны на рис. 1, 2.
 3. Определение усилия на срез по кладочному шву. Размеры и форма образцов для испытаний показаны на рис. 3, 4.
 4. Определение прочности на изгиб балок, изготовленных из кубов размерами в полблока (300×313×250 мм). Размеры и форма образцов для испытаний показаны на рис. 5, 6.
 5. Определение деформаций в зависимости от нагрузки и фиксация разрушающей нагрузки на фрагментах кладки из блоков. Размеры фрагментов, схема раскладки блоков и расстановки тензометрических датчиков с базой измерения 500 мм приведены на рис. 7, фрагмент кладки на испытательном прессе – на рис. 8.
- Фрагменты кладки выполнены с пятью вариантами исполнения кладочного шва.
- 5.1. Кладочный шов на цементно-песчаном растворе М100 с толщиной кладочного шва 10 мм.
 - 5.2. Кладочный шов на цементном клею со средней толщиной шва 2 мм. Перепад смежных блоков по высоте (1–1,5 мм) не устраняется (блоки без шлифовки рубанком).
 - 5.3. Кладочный шов на цементном клею со средней толщиной шва 1,5 мм. Перепад смежных блоков по высоте (1–1,5 мм) устраняется рубанком по ячеистому бетону.
 - 5.4. Кладочный шов на полиуретановой монтажной пене. Толщина шва задается неровностью поверхности блоков. Перепад смежных блоков по высоте не устраняется.

5.5. Кладка выполняется насухо, перепад смежных блоков по высоте не устраняется.

Результаты испытаний

Результаты определения характеристик кладочного шва (адгезия, срез, растяжение при изгибе) сведены в табл. 1.

При определении нормального сцепления разрушение во всех случаях происходило по бетону. При срезе также во всех разрушенных образцах не происходило разделения строго по границе бетон – материал шва, разрушался бетон в зоне шва.

В табл. 2 приведены сравнительные данные по разрушающей нагрузке в зависимости от исполнения кладочного шва.

Из полученных данных следует, что использование любых типов тонкослойных кладочных составов повышает временное сопротивление кладки центральному сжатию на 20–30% по сравнению со стандартной кладкой на ЦПС марки М100. Наличие шлифовки постели блоков перед укладкой следующего ряда кладки не приводит к увеличению ее сопротивления сжатию.

Полученные данные по зависимости деформаций от нагрузки графически представлены на рис. 9. Линии на графике для наглядности разделены цветом в зависимости от варианта исполнения кладочного шва.

На рис. 10 укрупненно показаны деформации фрагментов кладок в диапазоне напряжений 0,15–0,6 МПа. На рис. 11 зависимости нагрузка/деформация усреднены для каждого варианта исполнения кладочного шва.

Показанные на графике рис. 11 зависимости нагрузка – деформация для испытанных фрагментов в диапазоне напряжений 0,15–0,6 МПа усреднены по каждому из типов кладочного шва. Из приведенных данных следует, что модуль деформации кладок при различных вариантах исполнения шва в рассматриваемом диапазоне близок. Экстраполяция графиков к нулевым напряжениям (прямые линии с длинным штрихом на рис. 11) показывает, что кладки с постельным швом, заполненным минеральным раствором, начинают работать упруго уже при незначительных нагрузках, а кладки, постельный шов которых оставлен сухим или заполнен легкодеформируемым материалом, перед началом упругой работы имеют область (предположительно

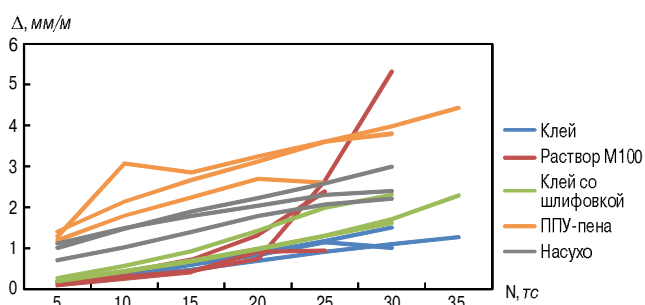


Рис. 9. Зависимость деформаций кладки от нагрузок во всем диапазоне вплоть до разрушения

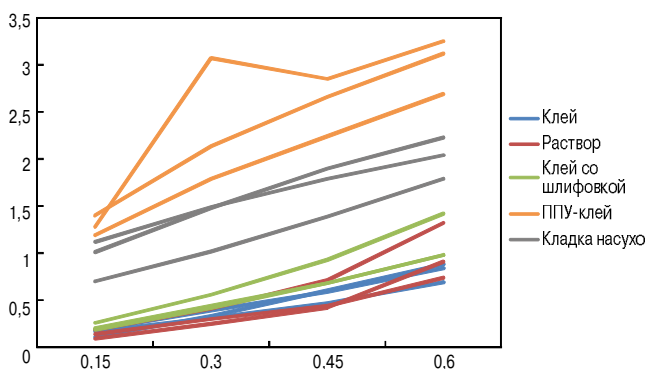


Рис. 10. Зависимость деформаций от нагрузок в диапазоне напряжений 0,15–0,6 МПа

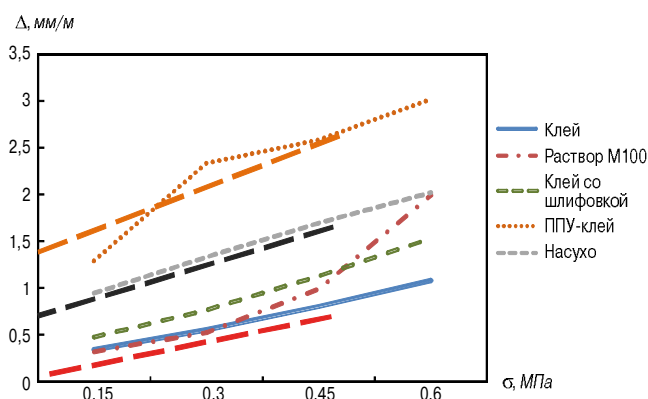


Рис. 11. Усредненная диаграмма нагрузка – деформация для каждого из типов кладочного шва. Длинным штрихом показаны линии трендов

пластических) деформаций, которые при малых напряжениях достигают величины 0,8–1,5 мм/м.

В рамках проведенного исследования ответ на вопрос о характере деформаций при малых (до 0,15 МПа) напряжениях в кладке насухо и на ППУ-клею не получен. В связи с этим невозможно сделать вывод о применимости кладки на полиуретановом клею при возведении несущих стен.

Проведенные испытания не выявили влияния шлифовки постельной поверхности кладки при использовании тонкослойного раствора на ее прочностные и деформативные характеристики. Деформативность испытанных шлифованных фрагментов оказалась несколько выше деформативности нешлифованной кладки на цементном клею. Трещинообразование фрагментов со шлифованной кладкой также происходило без заметных отличий от нешлифованных фрагментов.

Выводы

По результатам проведенных испытаний делаются следующие выводы:

1. Кладка с тонким раствором швом обладает более высоким временным сопротивлением сжатию, чем кладка с толщиной раствора шва 10–12 мм.

2. Деформативные характеристики кладок с заполнением постельного шва минеральным раствором одинаковы и не зависят от толщины шва.

3. Шлифовка кладки не меняет характера трещинообразования под действием вертикальных нагрузок, не повышает сопротивление кладки сжатию.

4. Кладка на полиуретановом клею и кладка насухо при незначительных нагрузках деформируются в пределах толщины шва до возникновения плотного контакта смежных по вертикали блоков. После этого деформативность данных типов кладок под действием вертикальных нагрузок становится идентичной деформативности кладок с минеральным кладочным раствором.

На основании частных выводов можно сделать заключение, что расчетные сопротивления кладки с тонким швом после независимого воспроизведения полученных сравнительных результатов могут быть повышены. Кладка на ППУ-клею может быть использована в ненесущих стеновых конструкциях. Дополнительно следует определить характер деформаций кладки на ППУ-клею при малых напряжениях и ее упругую характеристику.

Список литературы

1. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона России // Строительные материалы. 2013. № 7. С. 40–44.
2. Сомов Н.В. Проблемы развития российской силикатной промышленности // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 48–49.
3. Жиронкин П.В., Геращенко В.Н., Гринфельд Г.И. История и перспективы промышленности керамических строительных материалов в России // Строительные материалы. 2012. № 5. С. 13–18.
4. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.–Л.: Главная редакция строительной литературы, 1937. 564 с.
5. Гайовник Р., Сечковски Я. Сопротивление сжатию стены из автоклавного газобетона согласно ЕС6 в избранных странах // Справочник для проектирующих и строящих из газобетона. 2011. № 1. Warszawa. Poland.
6. Грановский А.В., Джамуев Б.К. Повышение прочности стен из ячеисто-бетонных блоков // Жилищное строительство. 2011. № 9. С. 39–43.
7. Пинскер В.А., Вылегжанин В.П., Гринфельд Г.И. Прочность и деформативность стен из газобетона низкой плотности / Ячеистые бетоны в современном строительстве: Сб. докладов. Вып. 5. СПб: НП «Межрегиональная Северо-Западная строительная палата». Центр ячеистых бетонов, 2008. С. 6–9.
8. Галкин С.Л. и др. Применение ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика. Минск: Стринко, 2006. 448 с.
9. Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 5. С. 5–19.