УДК 666.973.6

А.В. ГРАНОВСКИЙ[1], канд. техн. наук (1747787@list.ru), Б.К. ДЖАМУЕВ[1], канд. техн. наук (dbk-07@mail.ru);
А.А. ВИШНЕВСКИЙ[2], канд. техн. наук, исполнительный директор;
Г.И. ГРИНФЕЛЬД[3], инженер, исполнительный директор (greenfeld@mail.ru)

[1] Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)
[2] «ПСО «Теплит» ООО (623700, Свердловская обл., г. Березовский, ул. Чапаева, 39/4)
[3] Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона (193091, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 40, литера А)

Экспериментальное определение нормального и касательного сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на различных клеевых составах

В 2013–2014 гг. в Лаборатории сейсмостойкости конструкций Центра исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (ОАО «НИЦ «Строительство») по заказу Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона была выполнена работа по теме: «Определение экспериментальным путем нормального и касательного сцепления растворов и клеевых составов, укладываемых тонким слоем, с блоками из ячеистого бетона автоклавного твердения». В работе были исследованы кладочные швы толщиной до 2 мм, образованные тремя видами цементных растворов для тонкошовной кладки и одним полиуретановым монтажным клеем. Исследовались швы в кладке из ячеистого бетона автоклавного твердения плотностью от 300 до 600 кг/м^3 и прочностью от 1,7 до 7,3 МПа. По результатам исследований установлено, что кладка I категории (с сопротивлением растяжению по неперевязанному сечению ⩾180 кПа) может быть выполнена из блоков класса по прочности В1,5.

Ключевые слова: автоклавный газобетон, ячеистый бетон автоклавного твердения, нормальное сцепление, касательное сцепление, раствор для тонкошовной кладки, клей для кладки, кладочный шов.

A.V. GRANOVSKIY[1], Candidate of Sciences (Engineering) (1747787@list.ru), B.K. DZHAMUEV[1], Candidate of Sciences (Engineering) (dbk-07@mail.ru);
A.A. VIShNEVSKIY[2], Candidate of Sciences (Engineering), Executive Director; G.I. GRINFELD[3], Engineer, Executive Director (greenfeld@mail.ru)
[1] Central Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)
[2] "Teplit" PSO OOO (39/4, Chapaeva Street, Berezovskiy, 623700, Sverdlovsk Region, Russian Federation)
[3] National Association of autoclaved aerated concrete (Letter A, 40, Oktyabrskaya Embankment, Saint Petersburg, 193230, Russian Federation)

Experimental Determination of Normal and Shear Adhesion in the AAC-Blocks Masonry at Various TLM Adhesive Compositions

In 2013–2014, Laboratory of seismic stability of structures of the Research Center of Earthquake Resistance of Structures of TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC Research Center of Construction) by the order of the National Association of Autoclaved Aerated Concrete Producers executed the work on "Experimental determination of normal and shear adhesion of mortars and adhesive compositions, laid by thin layers, to cellular concrete blocks of autoclaved hardening". Masonry joints of up to 2 mm thickness formed by three types of cement mortars for the thin-layer masonry and a layer of polyurethane assembly adhesive have been studied in this work. Joints in the masonry made of cellular concrete of autoclaved hardening of 300–600 kg/m^3 density and 1.7–7.3 MPa strength have also been studied. By results of studies, it is established that the masonry of the first category (with a tensile strength along the non-tied section ⩾180 kPa) can be made of blocks of B1.5 strength).

Keywords: autoclaved aerated concrete, cellular concrete of autoclaved hardening, normal adhesion, shear adhesion, mortar for thin-layered masonry, adhesion for masonry, masonry joint.

Значительную долю на рынке стеновых материалов занимают изделия для каменной кладки с высокой точностью геометрических размеров. Основная часть таких изделий представлена блоками из ячеистого бетона автоклавного твердения по ГОСТ 31360–2007 «Изделия стеновые неармированные из ячеистых бетонов автоклавного твердения. Технические условия». Высокая точность размеров (отклонения по высоте блоков в пределах ±1 мм) позволяет при их кладке исключить формирование выравнивающего кладочного шва и ограничиться созданием между блоками адгезионного слоя минимальной толщины.

Кладочный шов между блоками с допусками по высоте в пределах 1–2 мм может быть сформирован не кладочными растворами по ГОСТ 8013–98, а растворами и клеями, специально предназначенными для устройства кладочного шва малой толщины. Обычный кладочный раствор имеет неоднородности, обусловленные как качеством самого раствора, так и технологией его нанесения. В результате в горизонтальном шве возникают участки с различной степенью уплотнения и разным водоотделением, обусловливающими различные физико-механические характеристики затвердевшего раствора на различных участках кладки. Эта неоднородность приводит к тому, что кладочный элемент (блок, кирпич, камень) при вертикальных нагрузках на кладку кроме сжатия испытывает еще и изгиб. В результате прочность кладки оказывается заметно ниже прочности составляющих ее материалов в отдельности [1]. Кладка из элементов с высокой точностью геометрических размеров с горизонтальными швами толщиной до 3 мм лишена этого недостатка.

Применение специализированных растворов, приготавливаемых, как правило, из сухих строительных смесей по ГОСТ 31357–2007 и дополнительным техническим требованиям, или полимерных клеев для каменной кладки имеет дополнительным следствием сравнительно высокую адгезию материала кладочного шва к блокам. Необходимость обеспечить удобоукладываемость раствора на сильновпитывающих основаниях и его твердение в тонких слоях делает неизбежной модификацию раствора полимерными добавками.

Результаты исследований, закрепленные в разработанных ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко документах СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции» и «Рекомендации по применению стеновых мел-

Таблица 1

Сопоставление нормируемых характеристик каменной кладки в РФ и Евросоюзе

Параметр	Обозначение в СП 15.13330	Значение показателя	Обозначение в EN 1996-1-1	Значение показателя
Сопротивление кладки сжатию	R	Табличные значения в зависимости от прочности раствора. Значения для тонкослойного раствора не указаны	f_k	$f_k=0,8f_b^{0,7}f_m^{0,3}$ при кладке с обычными швами (10–12 мм) и $f_k=0,8f_b^{0,85}$ при кладке с тонкими швами (0,5–3 мм)
Сопротивление кладки растяжению при изгибе (неперевязанное сечение)	R_{tb}	В зависимости от прочности раствора До 0,12 МПа	f_{xk1}	0,05–0,1 МПа для растворов 10–12 мм 0,15 МПа для TLM-раствора
Сопротивление кладки растяжению при изгибе (перевязанное сечение)	R_{tb}	В зависимости от прочности раствора До 0,25 МПа	f_{xk2}	Раствор 0,2–0,4 МПа TLM-раствор 0,2–0,3 МПа
Сопротивление кладки срезу (неперевязанное сечение)	R_{sq}	До 0,16 МПа	f_{vk}	Раствор 0,15 МПа TLM-раствор 0,3 МПа
Дополнительно в СП 14.13330 и СП 15.13330				
Сопротивление осевому растяжению (неперевязанное и перевязанное сечения)	R_t	До 0,08 МПа	–	–

Таблица 2

Характеристики исследованных ячеистых бетонов

Марка бетона по средней плотности	Класс бетона по прочности при сжатии	Кубиковая прочность, МПа	Призменная прочность, МПа	Модуль упругости, МПа
D300	B1,5	1,92	1,53	630
D400	B1,5	1,97	1,7	780
D300	B2	2,31	1,93	740
D400	B2	2,56	1,83	970
D400	B2,5	2,83	3,07	1310
D500	B2,5	3,86	3,43	1550
D500	B3,5	4,23	4,17	1930
D600	B3,5	5,31	4,57	1690
D600	B5	7,32	5,23	2430

Таблица 3

Результаты испытаний опытных образцов из ячеисто-бетонных блоков на осевое растяжение R_{ut}, кПа

	Бесшовный образец в виде «8»	Раствор «А»	Раствор «В»	ППУ-клей
D300 B1,5	140	140	174	–
D300 B2	129	–	177	180
D400 B1,5	118	–	142	185
D400 B2	151	152	159	–
D400 B2,5	164	–	212	238
D500 B2,5	252	211*	263	–
D600 B3,5	311	–	192*	288
D500 B3,5	–	182*	102*	159
D600 B5	–	138*	154*	266
Примечание. * Разрушение образцов по растворному шву.				

ких блоков из ячеистых бетонов», показали, что сопротивление сжатию кладок при толщине растворных швов не более 5 мм возрастает на 20–30% в сравнении с кладками с толщиной растворного шва 10–15 мм. Аналогичные результаты закреплены в нормативе СТО 501-52-01–2007 «Применение ячеистых бетонов в несущих и ограждающих конструкциях жилых и общественных зданий в Российской Федерации. Часть 1» и подтверждены в работе [2].

Сопротивление кладок с тонкими растворными швами при остальных видах напряженного состояния пока не нашло отражения в отечественных нормативных и методических документах.

В то же время сопротивление кладок растяжению и срезу по неперевязанному сечению характеризует их сопротивляемость сейсмическим воздействиям, является важным при оценке работы кладки, заполняющей ячейки в несущих каркасах зданий и в ряде других случаев.

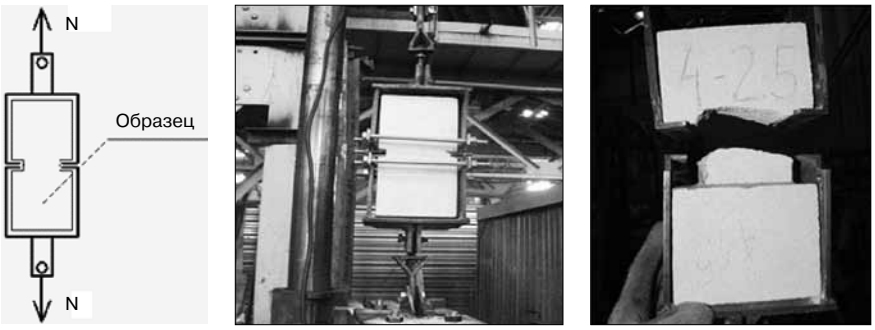

Рис. 1. Схема испытания, общий вид испытательной установки и испытанный образец при определении нормального сцепления в кладочном шве

Рис. 2. Схема испытания, общий вид испытательной установки и испытанный образец при определении касательного сцепления в кладочном шве

Таблица 4

Результаты испытаний опытных образцов из ячеистого бетона на срез R_{usq}, кПа

	Раствор «А»	Раствор «Б»	ППУ-клей
D300 B1,5	–	361	338
D300 B2	–	419	438
D400 B1,5	–	341	335
D400 B2	–	297	411
D400 B2,5	–	657	502
D500 B2,5	–	462	1095
D600 B3,5	–	552	528
D500 B3,5	183	184	–
D600 B5	181	231	–

Нормируемые характеристики каменной кладки, используемые при проектировании, зафиксированы в СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции» и СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах». К ним относятся:

– сопротивление сжатию (временное сопротивление и расчетные значения);

– сопротивление растяжению по неперевязанному сечению;

– сопротивление растяжению при изгибе по перевязанному и неперевязанному сечениям;

– сопротивление срезу.

Практически все перечисленные характеристики кладки имеют соответствие в нормативном поле Евросоюза (EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6. Design of masonry structures. Part 1-1. General) (табл. 1).

Исключением является нормальное сцепление, которое нормируется в СП 15.13330.2012 и СП 14.13330.2011, определяется по ГОСТ 24992–81 «Конструкции каменные. Метод определения прочности сцепления в каменной кладке» и которое не упоминается в Eurocode 6. Для оценки адгезии между материалом шва и кладочными изделиями в Eurocode 6 используется касательное сцепление, определяемое по методике EN 1052-3:2002 «Методы испытаний каменной кладки. Часть 3. Определение начальной прочности каменной кладки при сдвиге».

Сопротивление каменной кладки сжатию зависит от прочности материала шва в тех случаях, когда используется раствор, укладываемый слоем стандартной (10–15 мм) толщины, и не зависит от прочности раствора, укладываемого тонким слоем («Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов»; СП 15.13330.2012; EN 1996-1-1:2005).

Материал шва влияет на сопротивление кладки срезу, растяжению при изгибе, осевому растяжению по неперевязанному сечению (все характеристики нормируются).

Требования к растворам для каменной кладки в части, влияющей на прочностные свойства каменного шва. Нормируемые характеристики растворов для кладки перечислены в ГОСТ 31357–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия» и EN 998-2:2010 «Растворы строительные для каменной кладки. Технические условия». К свойствам затвердевших растворов, влияющим на прочность кладочного шва, относятся лишь некоторые из них: прочность при сжатии и прочность сцепления с основанием. При этом в ГОСТ 31357–2007 приведена методика, выявляющая нормальную адгезию раствора к основанию из тяжелого бетона (с водопоглощением не более 6%), методика определения нормальной адгезии к ячеистому бетону в действующих нормативных документах обязательного применения отсутствует.

Современные исследования прочности нормального и касательного сцепления в кладке. Большой и подробный разбор современных исследований прочности сцепления в каменной кладке проведен в работах [1, 3, 4]. Помимо этого в работах [3–5] приведены результаты исследований, проведенных за последние годы. В работе [6] проведен обзор исследований и показаны результаты испытаний прочности сцепления полимерного клея с ячеистым бетоном. Подробно вопрос нормального сцепления цементных растворов с ячеистым бетоном проведен в [7], где предложена также методика определения прочности нормального сцепления испытанием на растяжение при изгибе двух половинок ячеисто-бетонной балки, соединенных кладочным раствором.

Общий вывод, сделанный в [7], состоит в том, что основным целевым требованием к растворам для тонкошовной кладки ячеисто-бетонных блоков является величина нормального сцепления, превышающая прочность бетона при растяжении. В этом случае прочность кладки при растяжении и срезе определяется уже не характеристиками кладочного раствора, а прочностью самого бетона.

Для проверки деформативности бетонов, их прочностных характеристик и выявления прочности образуемых ими кладочных швов были проведены испытания фрагментов кладок из ячеистых бетонов автоклавного твердения девяти пар: марка по средней плотности/

Таблица 5

Достигнутые при испытаниях значения адгезии растворных и клеевых кладочных швов

Бетон	Осевое растяжение, R_{ut}, кПа		Срез, кПа	
	«B»	«D»	«B»	«D»
D300 B1,5	174	–	361	338
D400 B1,5	142	185	341	335
D300 B2	177	180	419	438
D400 B2	193	–	297	411
D400 B2,5	212	238	657	502
D500 B2,5	263	–	462	1095

класс по прочности при сжатии. Результаты определения характеристик бетона приведены в табл. 2.

Для определения прочности швов, образуемых цементными растворами для тонкошовной кладки и полимерными (полиуретановыми) клеями для кладки, были испытаны образцы-двойки на прочность нормального сцепления (схема и общий вид приведены на рис. 1) и образцы-тройки на прочность касательного сцепления (схема и общий вид на рис. 2).

Всего были испытаны три вида раствора для тонкошовной кладки (замаркированы в эксперименте «A», «B», «C») и один пенополиуретановый клей («D»). Результаты определения нормального и касательного сцепления кладочных швов приведены в табл. 3–5.

Выводы

Анализируя полученные данные и сопоставляя их с результатами проведенных ранее исследований, а также с данными зарубежных исследований и экспериментов, приходим к следующим общим выводам.

1. Растворы и клеи, обладающие достаточной адгезией к ячеистому бетону, обеспечивают временное сопротивление растяжению на уровне 180 кПа уже при классе бетона по прочности B1,5 (табл. 4).

2. Показатель адгезии к бетону, установленный в качестве одной из основных характеристик затвердевшего раствора в ГОСТ 31357–2007, не позволяет прогнозировать нормальную адгезию в растворном шве ячеистобетонной кладки и нуждается в уточнении. Применительно к растворам для тонкошовной кладки блоков из ячеистого бетона, предназначенным для применения в сейсмических регионах строительства, следует ввести дополнительную нормируемую характеристику — показатель адгезии к ячеистому бетону*.

3. Прочность при растяжении и срезе клеевых швов, сформированных пенополиуретановым клеем, предназначенным для каменной кладки, стабильно высокая и превышает требуемые 180 кПа при классе по прочности B1,5.

Список литературы

1. Галкин С.Л. и др. Применение ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика. Минск: Стринко, 2006. 448 с.
2. Гринфельд Г.И., Харченко А.П. Сравнительные испытания фрагментов кладки из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 30–34.
3. Деркач В.Н. Прочность нормального сцепления цементных растворов в каменной кладке // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 7. С. 6–13.
4. Деркач В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 3. С. 19–28.
5. Грановский А.В., Джамуев Б.К. Испытания стеновых конструкций из ячеисто-бетонных блоков на сейсмические воздействия // *Современное производство автоклавного газобетона: Сборник докладов науч.-практ. конференции*. СПб., 16–18 ноября 2011 г. С. 104–108.
6. Горшков А.С., Гринфельд Г.И., Мишин В.Е., Никифоров Е.С., Ватин Н.И. Повышение теплотехнической однородности стен из ячеисто-бетонных изделий за счет использования в кладке полиуретанового клея // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 57–64.
7. Научно-технический отчет «Исследование физико-механических свойств материала Baumit Artoplast, предназначенного для тонкослойного оштукатуривания наружных стен на основе блоков из автоклавного газобетона». ГОУ ВПО Уфимский ГНТУ. Кафедра строительных конструкций.

References

1. Galkin S.L. i dr. Primenenie yacheistobetonnykh izdelii. Teoriya i praktika [The use of cellular concrete products. Theory and practice]. Minsk: Strinko. 2006. 448 p.
2. Grinfeld G.I., Kharchenko A.P. Comparative tests of fragments of autoclaved gas concrete masonry with different execution of a masonry joint. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 11, pp. 30–34. (In Russian).
3. Derkach V.N. Normal adhesion strength of cement mortars in masonry. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012. No. 7, pp. 6–13. (In Russian).
4. Derkach V.N. Shear adhesion strength of cement mortar in the masonry. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012. No. 3, pp. 19–28. (In Russian).
5. Granovskiy A.V., Dzhamuev B.K. Test wall constructions of cellular concrete blocks on the seismic effects. *Modern production of autoclaved aerated concrete: a collection of reports scientific and practical conference*. St. Petersburg. 16–18 November 2011, pp. 104–108. (In Russian).
6. Gorshkov A.S., Grinfeld G.I., Mishin V.E., Nikiforov E.S., Vatin N.I. Improvement of thermotechnical uniformity of walls made of cellular concrete products through the use of polyuretane glue in masonry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 57–64. (In Russian).
7. Scientific and Technical Report "Investigation of physical and mechanical properties of the material Baumit Artoplast, designed for thin-layer plastering of the outer walls on the basis of autoclaved aerated concrete blocks". Ufa State Petroleum Technological University. The department of building structures. (In Russian).

* Данный вывод был учтен при разработке СТО СП ССС 52208230-001–2015 «Раствор для тонкошовной кладки автоклавных материалов (Клей для кладки). Технические требования».