

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2\(25\)-96-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2(25)-96-105)
УДК 624.04.539

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ КЛАДОЧНЫХ ШВОВ ИЗ КЛЕЕВОГО КЛАДОЧНОГО РАСТВОРА НА ПРОЧНОСТЬ КЛАДКИ ИЗ КРУПНЫХ СТЕНОВЫХ КЛАДОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТОБЕТОНА

THE EFFECT OF THE THICKNESS OF MASONRY JOINTS FROM ADHESIVE MASONRY MORTAR ON THE STRENGTH OF MASONRY FROM LARGE WALL MASONRY PRODUCTS OF A NEW GENERATION BASED ON SILICATE CONCRETE

М. А. МУХИН

Излагаются результаты экспериментальных исследований кладочных образцов из крупных силикатобетонных блоков нового поколения с вертикальным пазогребневым соединением на клеевых швах и анализ результатов полученных испытаний. Дано описание методики подготовки кладочных образцов для экспериментальных исследований. Приводится методика выполнения лабораторных экспериментальных исследований кладочных образцов. Получены прочностные и деформативные характеристики исследуемой кладки. Определены факторы, оказывающие влияние на прочностные и деформативные характеристики кладки испытываемых образцов.

The publication presents the results of experimental studies of masonry samples from large new-generation silicate concrete blocks with vertical tongue-and-groove joints on adhesive joints and an analysis of the results of the tests. The methodology for preparing masonry samples for experimental studies is described. The article provides a methodology for performing laboratory experimental studies of masonry samples. As a result of the work, strength and deformation characteristics of the investigated masonry were obtained. The factors influencing the strength and deformation characteristics of the masonry of the tested samples are determined.

Ключевые слова:

Каменная кладка, клеевой раствор, крупные силикатные блоки, предел прочности,

Key words:

Adhesive solution, experimental studies, large silicate blocks, masonry, tensile

*стендовые материалы, тонкошовная кладка, strength, thin-seam masonry, wall materials
экспериментальные исследования*

Исследования, выполненные в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», показывают, что увеличение толщины горизонтальных швов кладки, которая выполняется из изделий высокого качества (с ровными гранями и минимальными допусками по размерам) приводит к снижению прочности кладки. В СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции» требования по снижению расчетной прочности кладки на сжатие при увеличении толщины и неравномерность заполнения швов кладки приведены для кладки крупных стеновых блоков.

Л.И. Онищик подчеркивает [9], что оптимальная толщина шва кладки во многом зависит от качества кладочных изделий. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что при шлифовании нагружаемых поверхностей изделия при уменьшении толщины шва прочность кладки при сжатии повышается и максимальная прочность получается при минимальной толщине растворного шва или даже, в идеальном случае, без раствора.

Рекомендации по величине расчетных значений прочности кладки при уменьшении толщины швов приведены в СП 15.13330.2012 для сплошных бетонов и природных камней (пиленых или чистой тески). В соответствии с приложением 3 к Таблице 6 СП 15.13330.2012 для изделий марки М150 с ровными поверхностями расчетные сопротивления кладки допусками по размерам, не превышающими ± 2 мм при толщине растворных швов не более 5 мм, выполненных на цементных пастах или клеевых растворах, допускается принимать с коэффициентом 1,3.

Введение дополнительных требований, ограничивающих увеличение швов для кладки из крупных стеновых блоков, связано с тем, что в различных регионах РФ введены в эксплуатацию технологические линии по производству высококачественных кладочных силикатных изделий, в частности, крупных блоков с вертикальным пазогребневым соединением. Массовое применение таких изделий обеспечивает возможность возведения кладки на тонких швах (до 5 мм).

Пазогребневое соединение – это вертикальный стык смежных кладочных элементов, при котором гребни (вертикальные выступы) на тычке одного блока входят в вертикальные пазы (вертикальные выемки) на тычке другого блока.

Основная цель выполненной работы – оценка влияния толщины швов на прочность кладки из силикатных кладочных стеновых изделий – крупных блоков — и определение браковочных значений толщины горизонтальных швов кладки, выполненной на клеевых растворах.

Увеличенная толщина шва более указанных значений неблагоприятна для прочности кладки, так как в этом случае увеличиваются усилия, растягивающие кладочные элементы (кирпич, блок, камень). Возникающие растягивающие усилия тем больше, чем более деформативен применяемый раствор. Этот фактор обуславливает снижение прочности кладки при более толстых швах.

Результаты экспериментов подтверждают, что толщина швов в пределах 10-12 мм обеспечивает повышенную прочность кладки, возводимой с применением рядовых кладочных изделий; за счет заполнения раствором всех неровностей кладочного изделия, проис-

ходит уменьшение концентрации местных напряжений, что повышает прочность кладки.

Анализ влияния толщины швов на прочность кладки при сжатии достаточно подробно выполнен в работе Л.И. Онищика «Прочность и устойчивость каменных конструкций» [9].

В случае применения кладочных изделий без шлифовки поверхностей для повышения прочности кладки требуется большая толщина растворного шва. В этом случае раствор требуется для сглаживания нагружаемых поверхностей кладочного изделия. Неровности на поверхности кладочного изделия приводят к концентрации напряжений в этих точках и к снижению прочности кладки. В этом случае кладка насухо без раствора имеет небольшую прочность – 10-15% от прочности кладки на тяжелых цементно-песчаных растворах.

По рекомендации проф. Л.И. Онищика [9, 10] для кладки, выполняемой из рядовых кладочных изделий, оптимальная толщина шва находится в пределах 8-12 мм (нижний предел соответствует изделиям с правильными формами, верхний предел – для изделий с небольшими искривлениями).

В целях уточнения браковочных характеристик кладки, выполненной из современных строительных материалов, в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» были проведены экспериментальные исследования прочности кладки из силикатных блоков на клеевых растворах с горизонтальными швами различной толщины.

Для проведения испытаний была принята методика в соответствии со стандартом ГОСТ 32047 «Кладка каменная. Метод испытаний на сжатие». Исходя из типоразмеров кладочных изделий – крупные стеновые блоки — в качестве испытываемых образцов вводились простенки (рис. 1). Размеры образцов из кладочных стеновых крупных силикатных блоков определялись в соответствии с таблицей 2 ГОСТ 32047 «Кладка каменная. Метод испытаний на сжатие» и составляли: h_s – 760 мм; t_s – 250 мм; l_s – 750 мм (рис. 1).

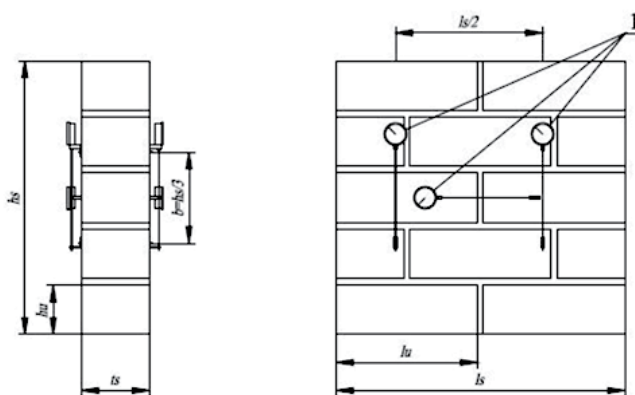


Рис.1. Схема опытного образца кладки из стеновых материалов по ГОСТ 32047:

1 – приборы для измерения деформаций; b – база измерения деформаций; h_s – высота образца; h_u – высота элемента кладки; t_s – ширина образца; t_u – ширина элемента кладки; l_s – длина образца; l_u – длина элемента кладки

Опытные образцы кладки изготавливали на плоской горизонтальной поверхности. В первые несколько суток для предотвращения от высыхания раствора во время твердения, образцы покрывали полиэтиленовой пленкой, затем пленку снимали, и продолжался нормальный набор прочности образцов кладки.

Для обеспечения постоянной толщины шва применяли специальный кондуктор для укладки раствора.



Рис.2. Ведение кладки образцов из силикатных пазогребневых блоков на тонких швах 3–4 мм из клеевого раствора (необходимая толщина шва получается благодаря использованию специально изготовленного кондуктора)

Перед кладкой нижнюю нагружаемую поверхность – стальную отфрезерованную с обеих сторон плиту толщиной 20 мм — выравнивали посредством строительного уровня по ГОСТ 9416 на песчаной подсыпке.

Первый ряд образца укладывали на цементно-песчаный раствор марки М100 с контролем отклонений от горизонтальной плоскости с использованием строительного уровня. Последующие ряды возводили с использованием соответствующего кондуктора (рис. 2), обеспечивающего необходимую толщину шва: для швов — 3-5 мм, для швов — 10-12 мм. Верхнюю рабочую поверхность выравнивали цементно-песчаным раствором марки М100 и с последующей установкой на нее стальной плиты, отфрезерованной с двух сторон.

Образец устанавливали в пресс и выравнивали по центру нижней плиты пресса. После установки проверяли полный контакт верхней и нижней поверхностей образца с плитами пресса, и если в процессе проверки выявлялось наличие зазоров, то между рабочими поверхностями прокладывали отрез технического войлока, покрывающий всю контактную поверхность. После установки в пресс на образце устанавливали измерительные приборы – индикаторы часового типа (рис. 3 и рис. 4) — по 4 шт. на каждой из граней образца для определения деформаций образца во время испытаний. Базу для прибора подбирали отдельно для каждого образца.



Рис.3. Индикатор часового типа, установленный на образец из силикатных блоков на швах из клеевого раствора толщиной 3–4 мм

Испытания образцов производились в возрасте, когда обеспечивалась необходимая прочность клеевого раствора, который применялся при возведении образцов. Контроль прочности раствора выполняли в соответствии с ГОСТ 5802 «Растворы строительные. Метод испытаний»

Ступени нагружения образца составляли по 0,1 ожидаемой разрушающей нагрузки. Нагрузка прикладывалась к нижней и верхней поверхностям образцам. Нагрузку каждой ступени выдерживали до затухания деформаций образца. Интервалы между нагружениями составляли в среднем 10-15 мин, во время выдержки снимали показания по приборам и проводили наблюдения за образованием и развитием трещин на поверхности образца (рис. 6 — рис. 8). Образцы испытывали до разрушения, которое характеризовалось нарастанием деформаций образца без увеличения воспринимаемой нагрузки (табл. 1).

Прочность при сжатии отдельного образца R_i , Н/мм, определяли по формуле

$$R_i = \frac{F_{i,\max}}{A_i},$$

где $F_{i,\max}$ — максимальная нагрузка, Н, соответствующая началу роста деформаций без увеличения нагрузки;

A_i — площадь поперечного сечения отдельного образца кладки, перпендикулярного направлению нагрузки, прикладываемой при его испытании, мм².

Разрушение образцов начиналось с появления и развития трещин в отдельных блоках, направленных перпендикулярно горизонтальным швам, в отдельных случаях трещины являлись продолжением вертикального стыка пазогребневого соединения крупных силикатных блоков. С возрастанием нагрузки происходило развитие трещины и наступало полное разрушение образца (рис. 5).



Рис. 4. Опытный кладочный стеновой образец №1, изготовленный из силикатных блоков на швах толщиной 3–4 мм из клеевого раствора перед проведением испытаний



Рис. 5. Опытный кладочный стеновой образец №1, изготовленный из силикатных блоков на швах толщиной 3–4 мм из клеевого раствора после испытаний

Условный модуль деформации кладки для каждого образца E_p , Н/мм², определяли как отношение значения напряжений, развивающихся в образце, к среднему значению его относительной деформации, определенному по показаниям четырех вертикально расположенных приборов при значении нагрузки, соответствующей 1/3 разрушающей, по формуле

$$E_i = \frac{F_{i,\max}}{3 \varepsilon_3 A_i},$$

где E_i — условный модуль деформации образца, Н/мм²;

ε_3 — относительная деформация по показаниям прибора.

Относительную деформацию по показаниям каждого индикатора часового типа (прибора) ε_i определяли с точностью до 10^{-5} как отношение разности показаний прибора на каждом этапе Δ_i и при нулевом значении нагрузки Δ_0 к длине базы прибора b по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta_i - \Delta_0}{b}.$$

Среднее значение относительной деформации при нагрузке, равной 1/3 разрушающей, определяют по смежным значениям относительных деформаций на этапах нагружения со значениями, определенными методом линейной интерполяции нагрузок, наиболее близких к 1/3 разрушающей нагрузки. По значениям относительных деформаций, определенным по показаниям каждого из четырех приборов, определяли среднее значение относительной деформации ε_3 (табл. 2).

Таблица 1

Результаты испытания образцов кладки из силикатных блоков на клеевом растворе

Метка образца	Тип швов, мм	Размеры образца, мм	Нагрузка, тс		$\frac{N_{\text{имп}}}{N_{\text{разр}}}$	Среднее $\frac{N_{\text{имп}}}{N_{\text{разр}}}$	Предел прочности, кгс/см ² по результатам испытаний			Предел прочности для 28 сут., кгс/см ²	Расчетное сопротивление для 28 сут., кгс/см ²
			$N_{\text{имп}}$	$N_{\text{разр}}$			$R_{\text{имп}}$	$R_{\text{разр}}$	$R_{\text{разр ср}}$		
1		750 × 250 × 800	40,0	69,5	0,58	0,51	21,33	37,07	39,11	43,02	21,51
2	3 - 4	749 × 248 × 800	40,0	70,0	0,57		21,53	37,68			
3	3 - 4	750 × 249 × 800	30,0	79,5	0,38		16,06	42,57			
4	10 - 12	750 × 250 × 800	20,0	117,0	0,17	0,42	10,67	62,40	55,40	60,94	30,47
5	10 - 12	751 × 248 × 805	70,0	84,5	0,83		21,48	45,37			
6	10 - 12	753 × 250 × 810	30,0	110,0	0,27		15,94	58,43			
7	св. 20	745 × 248 × 827	20,0	74,0	0,27	0,20	10,82	40,05	41,70	45,88	22,94
8	св. 20	744 × 248 × 857	10,0	80,0	0,13		5,42	43,36			

Таблица 2

Определение деформаций для образцов кладки из силикатных блоков

Метка образца	Расчетное сопротивление для 28 сут., кгс/см ²	Средняя относительная деформация, $\varepsilon \cdot 10^{-4}$, при		Начальный модуль деформаций, E_0 , кгс/см ²	
		0,2σ	0,5σ	частное	среднее
1	21,51	3,81	13,11	19444	16915
2		4,79	11,99	15732	
3		5,47	14,85	15570	
4	30,47	3,04	8,04	41099	40479
5		2,09	5,62	43381	
6		3,16	8,79	36958	
7	22,94	2,31	5,60	34749	30844
8		3,22	8,91	26939	

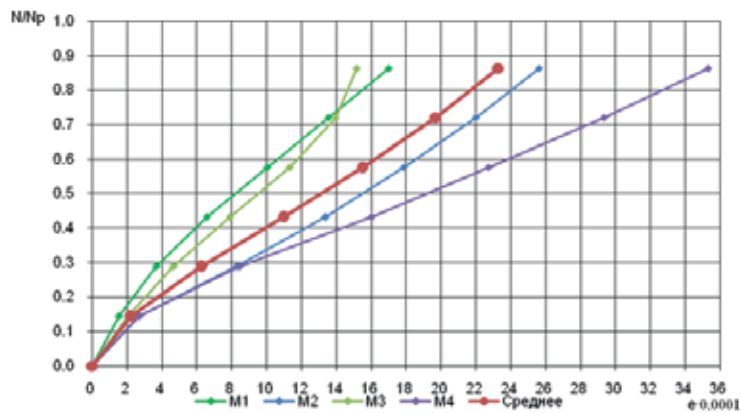


Рис.6. Относительные деформации опытного образца 1 кладки из силикатных блоков на клеевом растворе толщиной 3 - 4 мм

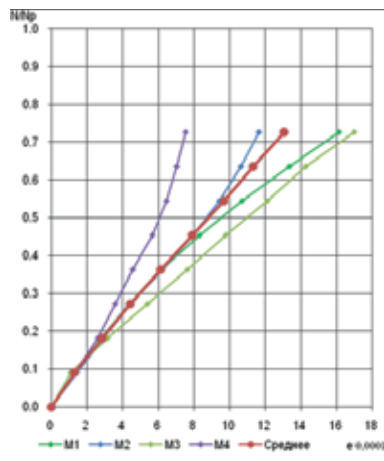


Рис.7. Относительные деформации опытного образца 1 кладки из силикатных блоков на клеевом растворе толщиной 3 - 4 мм

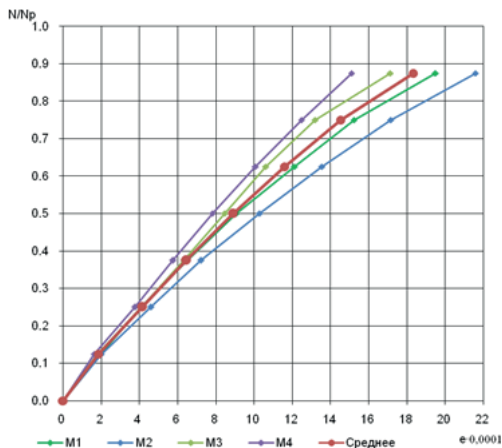


Рис.8. Относительные деформации опытного образца 9 кладки из силикатных блоков на клеевом растворе толщиной свыше 20 мм

Увеличение толщины свыше 20 мм неблагоприятно для прочности кладки, так как в этом случае возрастают усилия, растягивающие кирпич или камень. Усилие растяжения тем больше, чем более деформативен применяемый раствор.

Проведенный анализ данных, полученных в ходе лабораторных исследований натурных образцов по определению прочности кладки из крупных силикатных блоков на клеевом кладочном растворе показал, что ключевыми характеристиками, влияющими на прочность кладки на клеевых растворах, являются толщина шва, горизонтальность рядов кладки и точность изготовления кладочного изделия (величина отклонения смежных граней кладочного изделия).

Выполненные исследования прочности кладки из крупных силикатных блоков на клеевом растворе позволили сделать следующие выводы.

Средний предел прочности испытанных кладочных образцов из рядовых силикатных блоков М125 пустотностью до 25% и с пазогребневым соединением на клеевом растворе М100 при центральном сжатии, полученный в результате экспериментальных исследований, составил:

- для кладки на сплошных швах толщиной 3–4 мм – 4,30 МПа (43,02 кгс/см²);
- для кладки на сплошных швах толщиной 10–12 мм – 6,09 МПа (60,94 кгс/см²);
- для кладки на (2,5–3,0) швах толщиной 20–22 мм – 4,59 МПа (45,88 кгс/см²).

При испытаниях образцов кладки, выполненных из силикатных блоков марки М125 с пустотностью до 25% с пазогребневым соединением на клеевом растворе прочностью М100 появление первых трещин происходило при следующих нагрузках:

- для кладки на сплошных швах толщиной 3–4 мм – 0,59 от разрушающей нагрузки;
- для кладки на сплошных швах толщиной 10–12 мм – 0,39 от разрушающей нагрузки;
- для кладки на сплошных швах толщиной более 20 мм – 0,71 от разрушающей нагрузки.

Анализ результатов экспериментальных данных показал, что прочность кладки на сжатие для образцов из рядовых силикатных блоков с толщиной швов 10–12 мм выше, чем для образцов на клеевом кладочном растворе с толщиной швов 3–4 мм. Увеличение прочности – до 25–30%.

Для повышения качества кладки на тонких швах из клеевого раствора необходимо устройство опорного контрольного ряда, выполнение которого должно сопровождаться строгим соблюдением горизонтальности кладки.

При проектировании и расчете прочности кладки из силикатных блоков допускается применять повышенное значение прочности кладки при использовании кладочных изделий высокого качества. Отклонения параллельности между смежными рабочими гранями не должны превышать 1–2 мм. Поверхность граней не должна иметь выпуклостей и углублений более 0,01 мм.

Результаты экспериментов подтверждают, что повышение толщины швов до 18 мм благоприятно только для повышения прочности кладки, возводимой с применением рядовых кладочных изделий, так как при больших толщинах улучшается заполнение раствором всех неровностей кладочного изделия, уменьшается концентрация местных напряжений, что повышает прочность кладки.

Коэффициент 1,3 в таблице 6 СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции» требует пересмотра по результатам дополнительных исследований.

Библиографический список

1. *Пятикрестовский К.П., Мухин М.А.* Применение современных критериев прочности стеновых тонкошовных клеевых каменных кладок // Сборник научных трудов РААСН. Том 2. 2019. С. 458-468.
2. *Пономарев О.И., Пятикрестовский К.П., Мухин М.А.* Расчет новых каменных конструкций в плоском напряженном состоянии // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. №2(21). С. 136-148.
3. *Кабанцев О.В.* Пластическое деформирование и разрушение каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // Вестник МГСУ – Москва, 2016. №2. С. 34.
4. *Кабанцев О.В., Тамразян А.Г.* Моделирование упруго-пластического деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // International Journal for Computation Civil and Structural Engineering. Т. 11. 2015. №3. С. 87-10.
5. *Трусов П.В.* Некоторые вопросы нелинейной механики деформируемого твердого тела (в порядке обсуждения) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2009 Т.17. С. 85-95.
6. *Гениев Г.А., Пятикрестовский К.П.* Вопросы длительной и динамической прочности анизотропных конструктивных материалов / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М., 2003. 38 с.
7. *Гольденблат И.И., Копнов В.А.* Критерии прочности и пластичности конструктивных материалов. М.: Изд-во «Машиностроение», 1968. — 191 с.
8. *Сапелин Н.А., Ким Д.И.* Определение прочности при сжатии крупноформатных керамических камней: анализ российских и европейских методик испытаний // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2012. № 12. С. 46-48.
9. *Онищук Л.И.* Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.-Л. : Стройиздат, 1937.
10. *Онищук Л.И.* Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий. М.-Л.: Стройиздат, 1939.
11. *Beall C.* New masonry products and materials // Progress in Structural Engineering and Materials, 2000. Vol. 2 (3). Pp. 296-303.
12. *Colville J., Amde A.M. and Miltenberger M.* Tensile bond strength of polymer modified mortar // Journal of Materials in Civil Engineering, 1997. Vol. 11. Pp. 1-5.
13. *Ash A., Kamau J.* Sustainable Construction Using Autoclaved Aerated Concrete (Aircrete) Blocks. Crimson publishers. ISSN: 2576-8840. Published: October 20, 2017.
14. *Drobiec L., Jasinky R., Rybarczyk T.* The influence of the type mortar on the compressive behavior of the walls made of Autoclaved Aerated Concrete (AAC). 16th International Brick and Block Masonry Conference. 2016.

Автор

Михаил Александрович МУХИН, зав. сектором лаборатории кирпичных блочных и панельных зданий ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail MUKHIN, Head sector of the laboratory of brick block and panel buildings, TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: mukhin@myrambler.ru

тел.: +7 (499) 174-77-93