

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 693.22:624.04

*ЮЩУБЕ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
sv@tsuab.ru*

*ПОДШИВАЛОВ ИВАН ИВАНОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
ivanpodchivalov@list.ru*

*САМАРИН ДМИТРИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
sdgsamara@mail.ru*

*ФИЛИППОВИЧ АННА АЛЕКСАНДРОВНА, канд. техн. наук, доцент,
annafilich@mail.ru*

*ШАЛГИНОВ РОМАН ВАЛЕРЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
tatoru@list.ru*

*УСТЮЖАНИН ВЛАДИМИР ЛЕОНИДОВИЧ, инженер,
uvl@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ КЛАДКИ НАРУЖНЫХ СТЕН ИЗ КЕРАМИЧЕСКОГО КАМНЯ

Настоящая работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния фрагментов каменной кладки наружных несущих стен при их статическом нагружении. Наружные стены жилого дома были выполнены двухслойными из керамического облицовочного кирпича и пустотелого керамического камня. В результате проведенных исследований установлены характеристики каменной кладки двумя способами: путем испытания отдельных образцов керамического кирпича, камня и кладочного раствора (по нормативной литературе) и по испытаниям фрагментов кладки наружных стен. Сопоставление и анализ полученных результатов позволили оценить прочность кладки при сжатии и установить фактический запас по несущей способности наружных стен здания жилого дома.

Ключевые слова: керамический камень; фрагмент каменной кладки; прочность кладки при сжатии; напряженно-деформированное состояние.

*SERGEY V. YUSHCHUBE, PhD, A/Professor,
sv@tsuab.ru*

*IVAN I. PODSHIVALOV, PhD, A/Professor,
ivanpodchivalov@list.ru*

© Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Самарин Д.Г., Филиппович А.А., Шалгинов Р.В.,
Устюжанин В.Л., 2017

*DMITRIY G. SAMARIN, PhD, A/Professor,
sdgsamara@mail.ru
ANNA A. FILIPPOVICH, PhD, A/Professor,
annafilich@mail.ru
ROMAN V. SHALGINOV, PhD, A/Professor,
mamoru@list.ru
VLADIMIR L. USTYUZHANIN, Engineer,
vvl@mail.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

EXPERIMENTAL RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE OF CERAMIC BRICK MASONRY FRAGMENTS

This paper presents research of stress-strain state of exterior wall masonry fragments under static loading. The exterior walls of a residential building are made of two layers, namely lining ceramic brick and hollow tile. As a result of experiments the properties of masonry are determined using two methods: testing of ceramic brick, hollow tile, and masonry mortar (according to the standard literature) and testing of masonry fragments of exterior walls. A comparative analysis of obtained results allow estimating the masonry strength under compression and detect the safety factor of exterior walls of the building.

Keywords: ceramic brick; masonry fragment; compressive strength; stress-strain state.

В последние годы рынок строительных материалов представляет огромное разнообразие керамических изделий (кирпича, камня и др.), что позволяет широко применять их в строительстве. При возведении стен зданий используют многопустотный керамический камень. Его применение позволяет улучшить тепло-технические свойства стен, не используя утеплитель. Кратность размеров керамического камня дает возможность сочетать его с облицовочным кирпичом. Прочность каменной кладки при сжатии зависит от ряда факторов, но решающее значение оказывают прочность камня и раствора, его форма и размеры. Разрушение кладки при сжатии, выполненной из многопустотных керамических камней, имеет хрупкий характер разрушения¹. В нормативных источниках отсутствует информация по ограничению высоты стен из многопустотного керамического камня, и работа такой кладки под нагрузкой изучена недостаточно [1–5].

В настоящей статье приведены результаты исследований характеристик каменной кладки двумя способами: путем испытания отдельных образцов керамического кирпича, камня и кладочного раствора (по нормативной литературе) и по испытаниям фрагментов кладки, извлеченных из наружных стен многоэтажного жилого дома в г. Томске [6–9]. Проведение этих исследований было вызвано появлением вертикальных трещин в несущих наружных стенах здания.

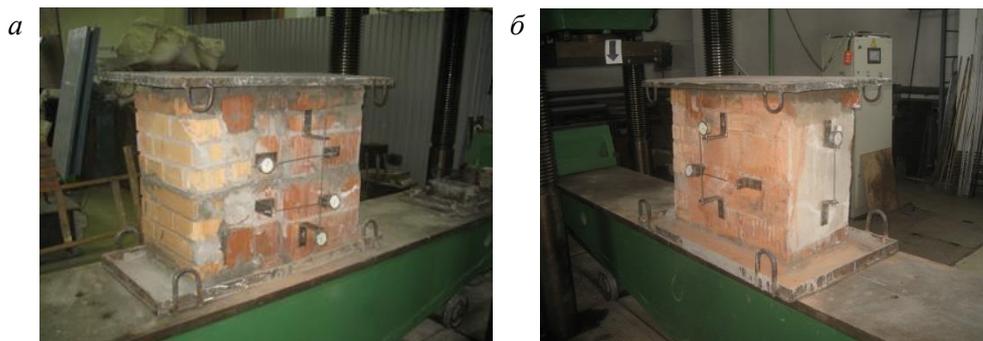
Так, при строительстве 12-этажного жилого дома в г. Томске наружные стены были выполнены из пустотелого керамического камня и облицовочного кирпича с пустотностью 42 % на цементно-песчаном растворе². В наружной

¹ Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II -22-81).

² ГОСТ 530–2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Дата введения 2008-03-01. 35 с.

версте кладки использовали облицовочный керамический кирпич размером 250×120×65 мм с девятнадцатью цилиндрическими пустотами. Внутренняя часть стены выполнялась из керамического камня, размер которого в плане соответствует размеру кирпича, а высота равна двойной высоте кирпича с одним швом между ними – 140 мм. В камне семь щелевидных вертикальных пустот толщиной 12 мм. Толщина наружных стен составляла 780–790 мм. Кладка армирована сеткой из проволоки диаметром 4 мм класса В500С с ячейкой 50×50 мм через три ряда камней. Кроме того, использовалась технологическая пластмассовая сетка в горизонтальных швах кладки для исключения попадания раствора в пустоты керамического камня.

В августе 2016 г. из подоконной части наружных стен в жилом доме, расположенном по адресу: г. Томск, пер. Спортивный, 7, были отобраны два фрагмента кладки, армированные сетками (рисунок). Параметры отобранных образцов были сопоставимы с размерами элементов конструкций жилого дома (простенков, столбов) и в целом соответствовали необходимым минимально допустимым параметрам³. Толщина отобранных образцов составляла: 420 мм (образец № 1); 380 мм (образец № 2). База измерения деформаций была равна по высоте и по длине образцов не менее $\frac{1}{3}$ высоты и не менее $\frac{1}{2}$ длины образцов соответственно. В качестве приборов, измеряющих деформации, были использованы индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.



Образцы фрагментов каменной кладки из подоконной части наружных стен жилого дома:
а – образец № 1; б – образец № 2

Предварительно были определены прочностные характеристики материалов кладки путем испытания на сжатие отобранных керамических камней и кирпичей, а также пластин цементно-песчаного раствора [10]. В результате было установлено, что прочность камней в теле кладки и облицовочного кирпича соответствует марке М125, прочность раствора – М100.

Статические испытания на действие центральной сжимающей силы подготовленных образцов фрагментов каменной кладки были проведены на гидравлическом прессе ПР-1000 М. Для обеспечения равномерной передачи нагрузки на нижнюю и верхнюю плоскость фрагментов кладки использовались стальные распределительные пластины. Нагрузка на образцы приклады-

³ ГОСТ 32047–2012. Кладка каменная. Метод испытания на сжатие. Дата введения 2014-01-01. 9 с.

валась ступенями по 8,0 тс. После каждого этапа нагружения поддерживались значения нагрузки на постоянном уровне в течение шести минут для стабилизации деформаций и фиксирования показаний приборов, измеряющих деформации образца. После завершения измерений последнего этапа нагрузка увеличивалась с постоянной скоростью до разрушения образца.

По результатам испытаний, в зависимости от величины возникающих напряжений, в работе образцов каменной кладки были выделены четыре характерные стадии [6, 11]. Первая стадия работы образцов кладки соответствовала напряжениям, возникающим при отсутствии в ней трещин. Переход кладки во вторую стадию работы характеризовался появлением трещин в отдельных кирпичах. Дальнейшее увеличение нагрузки приводило к возникновению новых трещин, которые, объединяясь друг с другом, расслоили кладку на отдельные вертикальные ветви, каждая из которых оказывалась в условиях внецентренного нагружения – третья стадия работы кладки. Дальнейшее развитие деформаций кладки при определенной нагрузке приводило к разрушению образцов (четвертая стадия работы кладки). По данным литературных источников [12] при использовании жестких цементно-песчаных растворов каменная кладка оказывается достаточно хрупкой. В этом случае среднее отношение продольной силы при появлении первых трещин N_{cr} к разрушающей нагрузке N_p составляет 0,7–0,8.

В ходе испытания образцов № 1 и № 2 первые трещины появились в отдельных элементах кладки соответственно при нагрузке 48 и 56 тс, а разрушение произошло соответственно при нагрузке 96 и 150 тс. Так как отношение $N_{cr}/N_p = 0,37–0,50$, то швы из цементно-песчаного раствора в кладке испытанных фрагментов обладают достаточными деформационными свойствами. По нашему мнению, наличие технологической пластмассовой сетки в горизонтальных швах кладки дополнительно к своему прямому функциональному назначению – исключению попадания раствора в пустоты камней – снижает неравномерность растворной постели и сдвигающее воздействие раствора на стенки пустотного керамического камня, что и привело к повышению деформативных свойств испытанных фрагментов кладки и к увеличению уровня фактических напряжений в растворе, при котором появляются первые трещины.

Прочность при сжатии R каждого образца определялась как отношение максимальной нагрузки, которую выдерживает образец, к его площади сечения. Нормативное значение прочности каменной кладки вычислялось по формуле $R_u = R/1,2$.

Модуль начальной деформации кладки E_0 в испытанных образцах вычислялся как отношение значения напряжений в сечении образца к среднему значению его относительной деформации, определенному по показаниям вертикально расположенных приборов при значении нагрузки, соответствующей 1/3 разрушающей. Модуль деформации кладки принимался равным $E = 0,8 \cdot E_0$. Основные результаты испытаний образцов приведены в табл. 1.

Механические характеристики каменной кладки при сжатии по нормативной литературе⁴ при марках: камня и облицовочного кирпича М125 и раствора М100 приведены в табл. 2.

⁴ СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22–81*. М., 2012. 48 с.

Таблица 1

Основные результаты испытаний фрагментов каменной кладки

Номер образца	Прочность при сжатии R , МПа	Нормативное значение прочности при сжатии R_u , МПа	Начальный модуль деформаций E_0 , МПа	Модуль деформаций E , МПа
Образец № 1	3,11	2,59	$1,924 \cdot 10^3$	$1,539 \cdot 10^3$
Образец № 2	5,07	4,22	$2,896 \cdot 10^3$	$2,317 \cdot 10^3$

Таблица 2

Основные характеристики для каменной кладки по нормативной литературе

Вид кладки	Расчетное сопротивление сжатию кладки R, R_{sk} , МПа	Временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию кладки, R_u, R_{sku} , МПа	Начальный модуль деформаций, E_0 , МПа	Модуль деформаций, E , МПа
Обычная	1,8	3,6	$3,024 \cdot 10^3$	$2,419 \cdot 10^3$
Армированная сетками	2,86	4,62	$3,881 \cdot 10^3$	$3,105 \cdot 10^3$

Сравнительный анализ полученных данных по результатам испытаний фрагментов и по нормативной литературе позволяет сделать следующий вывод – прочность кладки при сжатии по результатам испытаний фрагментов в 1,1–1,8 раза больше нормативных значений, а экспериментальные значения модуля деформаций в 1,3–2,0 раза меньше нормативных данных.

Выводы

1. Путем испытания отдельных образцов керамического облицовочного кирпича, камня и кладочного раствора установлено, что прочность камней в теле кладки и облицовочного кирпича соответствует марке М125, прочность раствора – М100. Расчетное сопротивление сжатию армированной кладки составило $R_{sk} = 2,86$ МПа, а модуль деформации армированной кладки равен $E = 3,105 \cdot 10^3$ МПа.

2. Путем испытания двух фрагментов № 1 и № 2 каменной кладки наружных стен установлено, что расчетное сопротивление сжатию кладки R составило 3,11 и 5,07 МПа, а модуль деформации E – $1,539 \cdot 10^3$ и $2,317 \cdot 10^3$ МПа соответственно.

3. Прочность кладки при сжатии по результатам испытаний фрагментов в 1,1–1,8 раза больше нормативных значений, а экспериментальные значения модуля деформаций в 1,3–2,0 раза меньше нормативных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Улыбин, А.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений / А.В. Улыбин, С.В. Зубков // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 3. – С. 29–34.
2. Деркач, В.Н. Методы оценки прочности каменной кладки в отечественной и зарубежной практике обследования зданий и сооружений / В.Н. Деркач, Н.М. Жерносек // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2010. – № 3 (38). – С. 135–142.
3. *Repair and Investigation Techniques for Stone Masonry Walls* / L. Brinda [etc.] // *Construction and Building Materials*. – 1997. – № 11. – P. 133–142.
4. *Kabantsev, O. Modeling Nonlinear Deformation and Destruction Masonry under Biaxial Stress. Part 2. Strength Criteria and Numerical Experiment* / O. Kabantsev // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – P. 808–819.
5. Деркач, В.Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций / В.Н. Деркач, В.В. Белов // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 7. – С. 14–20.
6. *Экспериментальные исследования облегченной кладки на центральное и внецентренное нагружение* / Ж.С. Нургужинов, Д.Г. Копаница, Ю.Е. Кошарнова, А.М. Устинов, Э.С. Усеинов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 2. – С. 107–116.
7. *Копаница, Д.Г. Экспериментальные исследования фрагментов кирпичной кладки на действие статической и динамической нагрузки* / Д.Г. Копаница, О.В. Кабанцев, Э.С. Усеинов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 4. – С. 157–178.
8. *Кабанцев, О.В. Влияние уровня нормального сцепления на процесс пластического деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния* / О.В. Кабанцев, Э.С. Усеинов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 6. – С. 78–88.
9. *Кабанцев, О.В. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции* / О.В. Кабанцев, А.Г. Тамразян // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 5. – С. 15–26.
10. *Орлович, Р.Б. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий* / Р.Б. Орлович, В.Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7. – С. 3–10.
11. *Каменные и армокаменные конструкции. Расчет и конструирование* / Д.В. Артюшин, Н.Н. Ласьков, А.В. Туманов, С.А. Болдырев, С.А. Толушов ; под общ. ред. Ю.П. Скачкова. – Пенза : ПГУАС, 2015. – 116 с.
12. *Поляков, С.В. Проектирование каменных и крупнопанельных конструкций* / С.В. Поляков, Б.Н. Фалевич. – М. : Госстройиздат, 1960. – 307 с.

REFERENCES

1. *Ulybin A.V., Zubkov S.V. O metodakh kontrolya prochnosti keramicheskogo kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy* [Durability Control methods of ceramic brick at building examination]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2012. No. 3. Pp. 29–34. (rus)
2. *Derkach V.N., Zhernosek N.M. Metody otsenki prochnosti kamennoi kladki v otechestvennoi i zarubezhnoi praktike obsledovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Russian and international experience in durability assessment of masonry]. *Vestnik Belorusko-Rossiiskogo universiteta*. 2010. No. 3 (38). Pp. 135–142. (rus)
3. *Brinda L. Repair and investigation techniques for stone masonry walls. Construction and Building Materials*. 1997. No. 11. Pp. 133–142.
4. *Kabantsev O. Modeling nonlinear deformation and destruction masonry under biaxial stress. Part 2. Strength criteria and numerical experiment. Applied Mechanics and Materials*. 2015. Pp. 808–819.

5. *Derkach V.N., Belov V.V.* Ekspertiza i tekhnologiya usileniya kamennykh konstruksii [Examination and technology of stone structure reinforcement]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2010. No. 7. Pp. 14–20. (rus)
6. *Nurguzhinov Zh.S., Kopanitsa D.G., Kosharnova Yu.E., Ustinov A.M., Useinov E.S.* Eksperimental'nye issledovaniya oblegchennoi kladki na tsentral'noe i vnetsentrennoe nagruzhenie / [Experimental research of hollow masonry under centric and eccentric loads]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 2. Pp. 107–116. (rus)
7. *Kopanitsa D.G., Kabantsev O.V., Useinov E.S.* Eksperimental'nye issledovaniya fragmentov kirpichnoi kladki na deistvie staticheskoi i dinamicheskoi nagruzki [Static and dynamic tests of masonry fragments]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 4. Pp. 157–178. (rus)
8. *Kabantsev O.V., Useinov E.S.* Vliyanie urovnya normal'nogo stsepleniya na protsess plasticheskogo deformirovaniya kamЕННОЙ kladki v usloviyakh dvukhosnogo napryazhennogo sostoyaniya [Plastic deformation of masonry under biaxial stress affected by adhesive strength between brick and mortar]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 6. Pp. 78–88. (rus)
9. *Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G.* Uchet izmenenii raschetnoi skhemy pri analize raboty konstruksii [Changes in design scheme in analyzing structural behavior]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2014. No. 5. Pp. 15–26. (rus)
10. *Orlovich R.B., Derkach V.N.* Otsenka prochnosti kladochnykh rastvorov pri obsledovanii kamennykh zdaniy [Masonry mortar durability assessment at building examination]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2011. No. 7. Pp. 3–10. (rus)
11. *Artyushin D.V., Las'kov N.N., Tumanov A.V., Boldyrev S.A., Tolushov S.A.* Kamennye i armokamennye konstruksii. Raschet i konstruirovaniye [Brick and reinforced brick structures. Strength analysis and design]. Penza: PGUAS Publ., 2015. 116 p. (rus)
12. *Polyakov S.V., Falevich B.N.* Proektirovaniye kamennykh i krupnopanel'nykh konstruksii [Design of brick and large-panel structures]. Moscow: Gosstroyizdat Publ., 1960. 307 p. (rus)