

А.В. ГАЛАЛЮК¹, В.Н. ДЕРКАЧ¹

¹Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕННОЙ КЛАДКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Выполнен анализ известных методов оценки прочности на сжатие и модуля упругости существующих каменных конструкций. Приведен метод определения механических характеристик каменной кладки, основанный на испытаниях, вырезанных из тела кладки образцов в виде треугольных призм. Выполнено сопоставление прочности на сжатие, начальной прочности при сдвиге и угла внутреннего трения, полученных по результатам испытаний образцов-призм, с результатами испытаний образцов кладки, в соответствии со стандартами СТБ EN 1052-1 и СТБ EN 1052-3. Показано удовлетворительное согласование значений прочности кладки на сжатие и секущего модуля упругости полученных испытаниями призм сжимающей нагрузкой, действующей перпендикулярно плоскости горизонтальных растворных швов, с результатами испытаний по методике СТБ EN 1052-1. Начальная прочность на сдвиг каменной кладки, полученная по результатам испытаний согласно СТБ EN 1052-3, отличалась в меньшую сторону от прочности, установленной по результатам испытаний образцов-призм на сжатие, при этом значения угла внутреннего трения, определенные двумя методами, были близки.

Ключевые слова: существующие здания, каменная кладка, прочность на сжатие, модуль упругости, прочность на сдвиг.

A.V. HALALIUK¹, V.N. DERKACH¹

¹Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus

EVALUATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE MASONRY IN EXISTING BUILDINGS

Abstract. An analysis of known methods for evaluation the compressive strength and modulus of elasticity of existing masonry structures have been carried out. A method for determining the mechanical characteristics of masonry, based on tests of the specimens cutted from the body of the masonry in the form of triangular prisms have been given. Comparison of compressive strength, initial shear strength and angle of internal friction, obtained from the results of tests of prism specimens, with the results of tests of masonry specimens in accordance with the standards STB EN 1052-1 and STB EN 1052-3 has been carried out. Satisfactory agreement between the values of the compressive strength of the masonry and the secant modulus of elasticity obtained by testing the prisms with a compressive load acting perpendicular to the plane of the horizontal mortar joints with the test results according to the STB EN 1052-1 method has been shown. The initial shear strength of masonry, obtained from the results of tests according to STB EN 1052-3, differed downward from the strength established from the results of tests of prism specimens for compression, while the values of the angle of internal friction determined by the two methods were close.

Keywords: existing buildings, masonry, compressive strength, modulus of elasticity, shear strength.

Введение

В последние годы все более значительную роль в общем комплексе задач развития городов получают вопросы сохранения и реконструкции зданий. Исключительно важное значение при этом приобретают работы по исследованию и оценке технического состояния каменных зданий и сооружений, большая часть которых представляет культурно-историческую ценность. Каменные конструкции сохранившихся до настоящего времени исторических зданий возводились из полнотелого керамического кирпича на известковом или сложном растворах. Перекрытия зданий, для обеспечения их общей жесткости часто выполнялись в виде сводов, а проемы в стенах перекрывались арками. При действии эксплуатационной нагрузки или неравномерной осадке фундаментов геометрические формы сводов и арок определяют направление возникающих в них силовых потоков под различными углами к растворным швам каменной кладки. Как показывает практика, угол наклона сжимающего усилия к растворным швам каменной кладки в указанных конструкциях, зависит от их формы, отношения пролета к стреле подъема и находится в пределах $10-40^{\circ}$ [1-3].

При реконструкции каменных зданий зачастую возникает необходимость надстройки дополнительных этажей, что приводит к увеличению нагрузок на существующие несущие стены. При наличии в стенах оконных или дверных проемов в зоне последних траектории главных сжимающих напряжений концентрируются в угловых зонах проема, отклоняясь от вертикали в направлении наименьшей прочности на сжатие кладки [4].

В рассмотренных случаях расчетную оценку надежности каменных конструкций рекомендуется выполнять путем проверок предельных состояний методом частных коэффициентов. Эффекты воздействий (значения главных напряжений и их траектории) устанавливают на основе расчетов конструкций методом конечных элементов при помощи современных вычислительных комплексов. Различные варианты конечно-элементных моделей каменной кладки приводятся в работах [5-11]. В расчетных моделях распорных конструкций и стенового ограждения каменную кладку рассматривают, как однородный, изотропный материал, а оценку сопротивления конструкций сжатию производят на основании значений прочности кладки на сжатие под различными углами к плоскости опорных растворных швов, которые в нормативных документах отсутствуют. В работе [12] предложена аналитическая зависимость для определения указанных характеристик прочности каменной кладки из кирпича. При этом базисными переменными, устанавливаемыми при проведении обследования, являются значения прочности на сжатие кладки перпендикулярно плоскости опорных растворных швов, а также начальной прочности при сдвиге и угла внутреннего трения. Проблема определения указанных характеристик прочности каменной кладки существующих конструкций до сих пор является актуальной.

Методы определения механических характеристик каменной кладки.

Стены и распорные конструкции из каменной кладки воспринимают преимущественно сжимающие усилия. Поэтому основным прочностным параметром, устанавливаемым при обследовании каменных конструкций, является прочность на сжатие кладки, которую обычно определяют по результатам испытаний кирпича и затвердевшего раствора, отобранного из швов каменной кладки [13-15]. Такой подход к оценке прочности кладки на сжатие часто приводит к ошибочным результатам, так как при испытании отдельных кирпичей и образцов раствора не учитывается их взаимодействие в каменной кладке. При сжатии кладки из кирпича последний воспринимает часть растягивающих деформаций в плоскости сопряжения с горизонтальным раствором швом, создавая условия для его трехосного сжатия. Вследствие этого кирпич оказывается растянутым в плоскости перпендикулярной действию сжимающей силы и сжатым в вертикальной плоскости (рисунок 1).

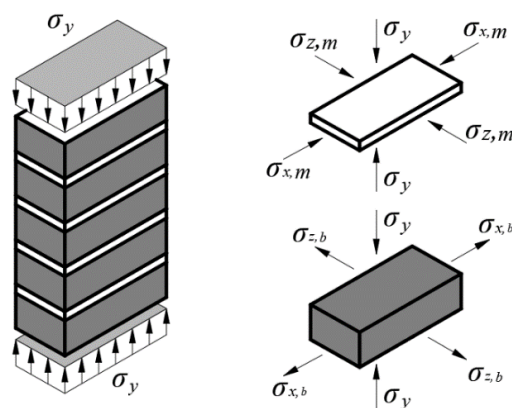


Рисунок 1 – Напряженное состояние кирпича и горизонтального растворного шва при сжатии каменной кладки

Более достоверные данные о прочности на сжатие каменной кладки дают испытания каменной кладки в конструкциях или лабораторные испытания образцов кладки, отобранных из тела обследуемой конструкции [16]. Для определения прочности на сжатие кладки в лабораторных условиях могут быть использованы образцы цилиндры диаметром 150-200 мм, высверленные перпендикулярно опорной или лицевой поверхности кирпича [17]. Отбор цилиндров производится с помощью специальных буров, при этом в образцах сохраняется структура кладки (рисунок 2).

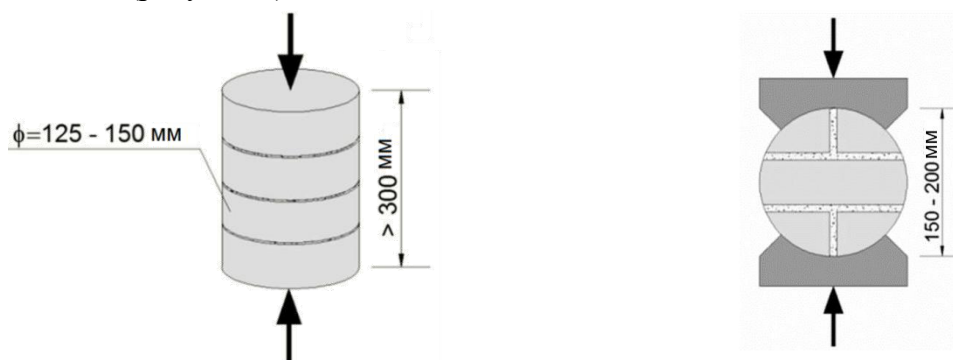


Рисунок 2 – Схемы испытаний образцов цилиндров, выбуренных из тела каменной кладки

Основным недостатком образцов-цилиндров является сложность извлечения из тела каменной кладки неповрежденных образцов при низкой прочности кладочного раствора, которая характерна для исторических каменных конструкций, а также применение специальных устройств при испытании выбуренных кернов.

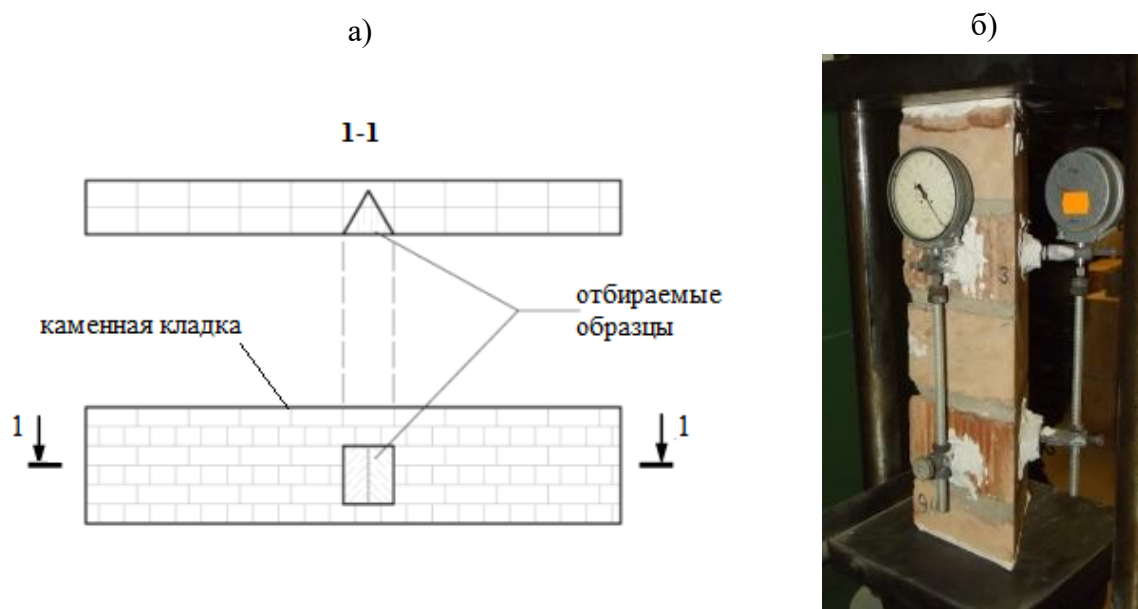
Прочность на сжатие каменной кладки можно оценить в лабораторных условиях на основании испытаний вырезанных из стены фрагментов кладки, размеры которых соответствуют размерам опытных образцов согласно стандарта [18] (рисунок 3).



Рисунок 3 – Испытание образца каменной кладки:
а) отбор образца кладки из стены; б) испытание каменной кладки на сжатие

В ходе испытаний фиксируют деформации каменной кладки, нагрузку трещинообразования и разрушающую нагрузку, по которым определяют значение прочности на сжатие кладки и ее модуль упругости. Следует отметить сложность отбора и транспортировки столь крупных образцов кладки. Кроме того, каменные конструкции при отборе образцов получают значительные повреждения, что часто является неприемлемым для объектов культурного наследия.

В работе [19] предложен метод лабораторного определения прочности на сжатие каменной кладки на образцах в виде треугольных призм, вырезаемых из тела стены (рисунок 4).



*Рисунок 4 – Образец каменной кладки в виде треугольной призмы:
а) схема отбора образца; б) испытание образца на сжатие*

В стене выполняют два вертикальных разреза под углом 60° к ее поверхности, которые пересекаются в толще кладки. Таким образом создается призма с основанием в виде равностороннего треугольника. После удаления раствора из горизонтальных швов в верхнем и нижнем основаниях призмы, образец легко извлекается из тела кладки. Преимуществом данного метода является также то, что каменная конструкция при извлечении образцов получает незначительные повреждения, что очень важно для объектов, представляющих историческую и культурную ценность.

По нашему предложению, на основании испытаний образцов-призм, включающих три элемента кирпича и два растворных шва, можно оценить значение начальной прочности на сдвиг каменной кладки. Испытания в этом случае следует производить в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5 а, а режим нагружения образцов принимать согласно [18].

Если образцы-призмы вырезать из тела каменной кладки под углами к направлению горизонтальных растворных швов отличными от 0° и 90° , то по результатам испытаний таких призм сжимающей нагрузкой можно получить данные не только о начальной прочности кладки на сдвиг (прочности касательного сцепления), но и угле внутреннего трения, а также оценить степень анизотропии прочности на сжатие каменной кладки (рисунок 5 б).

Результаты и обсуждение.

Экспериментальные исследования выполнялись с целью сопоставления результатов испытаний механических характеристик каменной кладки на образцах-призмах с основанием в виде равностороннего треугольника со сторонами равными 120 мм, с механическими характеристиками кладки образцов-стенок, размеры которых соответствовали требованиям стандарта [18] (стандартные образцы). Опытные образцы выпиливались из заранее изготовленных кирпичных стенок толщиной в полкирпича, каменная кладка которых

выполнялась из полнотелого керамического кирпича средней нормализованной прочностью на сжатие 44,1 МПа (М150) на цементно-песчаном растворе прочностью на сжатие 10,9 МПа. Результаты испытаний стандартных образцов каменной кладки на сжатие при углах наклона сжимающего усилия по отношению к горизонтальным растворным швам $\theta=0^0$, $22,5^0$, 45^0 , $67,5^0$, 90^0 и на сдвиг приведены в работах [21- 23].

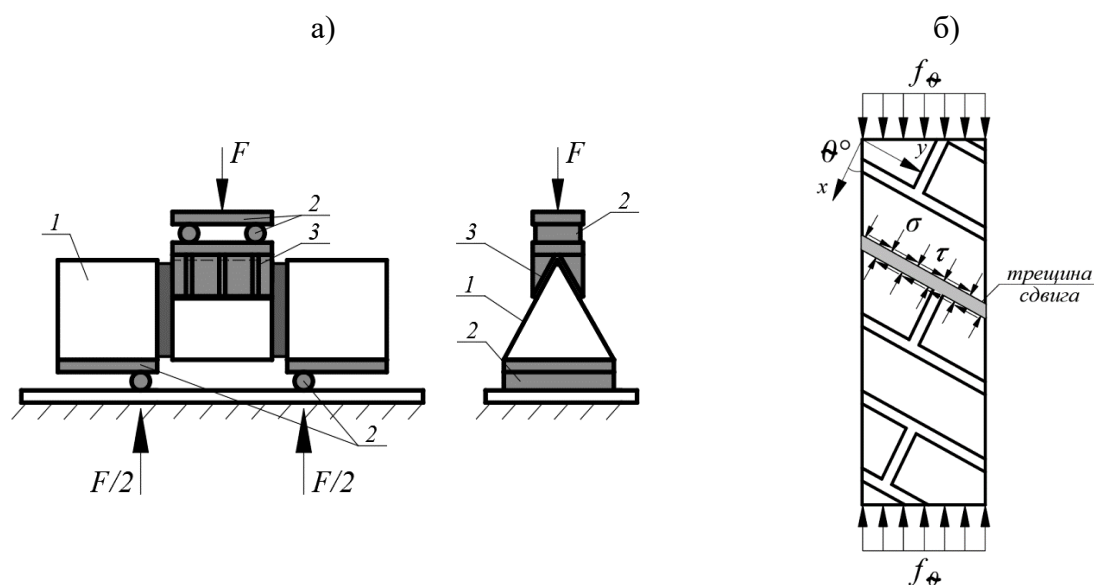


Рисунок 5 - Схемы испытаний образцов призм для определения прочности кладки на сдвиг и угла внутреннего трения: а) испытания на сдвиг; б) испытания на сжатие:

1 – испытываемый образец; 2 – набор пластин и роликовых опор; 3 – треугольный штамп для передачи нагрузки

Образцы-призмы испытывали на сжатие в соответствии со схемой, показанной на рисунке 5 б, при углах θ^0 аналогичных стандартным образцам. Нагружение образцов осуществляли с помощью пресса гидравлического П-125. В ходе испытаний устанавливали характер образования и развития трещин в каменной кладке, нагрузку и характер разрушения опытных образцов, строили диаграммы деформирования кладки.

Прочность на сжатие $f_{\theta i}$ отдельного испытываемого образца кладки вычисляли с точностью до 0,1 МПа по формуле (1):

$$f_{\theta i} = \frac{F_{i, \max}}{A_i}, \quad (1)$$

где $F_{i, \max}$ – максимальная нагрузка, воспринимаемая отдельным образцом каменной кладки;

A_i – площадь поперечного сечения отдельного испытываемого образца кладки.

Модуль упругости устанавливали на основании измерений продольных деформаций кладки на базе, равной 1/2 высоты образца, с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм (рисунок 4 б). Модуль упругости отдельного испытываемого образца кладки E_i определяли, как секущий модуль по значению средней относительной деформации ε_i , полученной в четырех точках при нагрузке равной 1/3 максимальной нагрузки $F_{i, \max}$. Значение модуля упругости E рассчитывали по формуле (2).

$$E_i = \frac{F_{i, \max}}{3 \times \varepsilon_i \times A_i}, \quad (2)$$

Испытания показали, что характер разрушения образцов призм при всех значениях угла θ^0 соответствовал стандартным образцам кладки. При действии сжимающего усилия перпендикулярно плоскости горизонтальных швов ($\theta=0^0$), а также при $\theta=22,5^0$ первые вертикальные трещины возникали в кирпичах в средней по высоте части призмы, что свидетельствовало о работе кирпича на растяжение в плоскости горизонтальных растворных

швов. Разрушение образцов происходило хрупко в результате раздавливания кирпича. При $\theta=45^\circ$ и $67,5^\circ$ разрушение образцов-призм вызывалось сдвигом каменной кладки в плоскости контакта между опорными растворными швами и ложковой поверхностью кирпичей. Характер разрушения образцов-призм при различных значениях угла θ^0 приведен на рисунке 6.

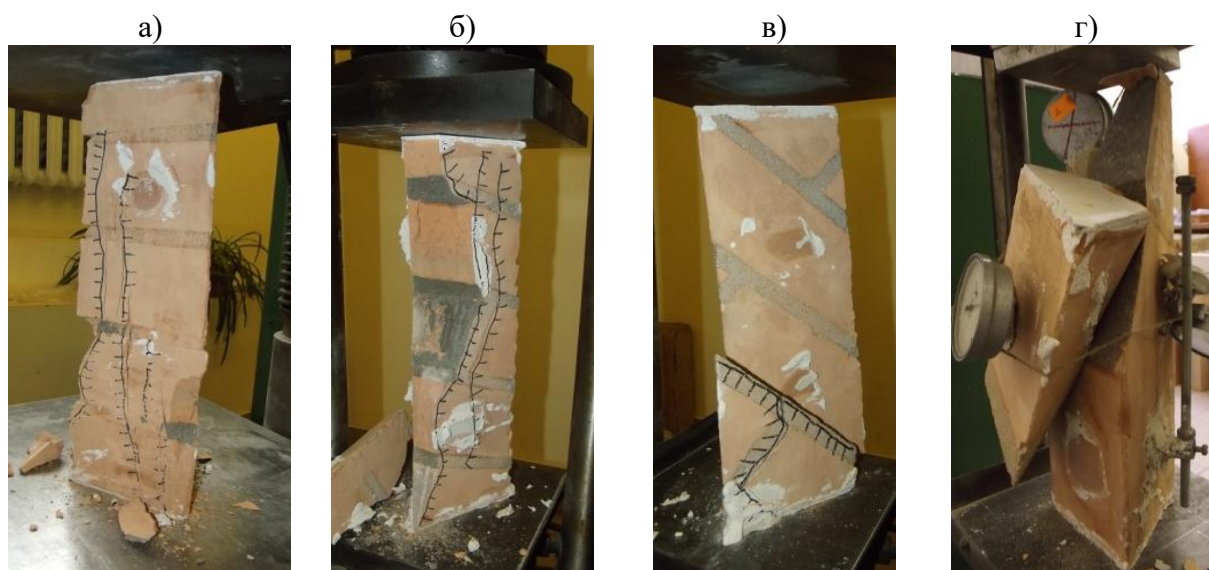


Рисунок 6 – Характер разрушения образцов-призм:
а) $\theta=0^\circ$; б) $\theta=22,5^\circ$; в) $\theta=45^\circ$; г) $\theta=67,5^\circ$

В таблице 1 приведено сопоставление результатов определения прочности каменной кладки на сжатие по образцам в виде треугольных призм и стандартным образцам.

Таблица 1- Результаты определения прочности каменной кладки на сжатие

Угол θ^0	Среднее значение прочности на сжатие		$f_{\theta 1}/f_{\theta 2}$
	Образцы-призмы $f_{\theta 1}$ (МПа)	Стандартные образцы $f_{\theta 2}$ (МПа)	
0	15,79	15,09	1,05
22,5	10,99	7,97	1,38
45	6,61	4,92	1,34
67,5	5,18	3,62	1,43
90	10,73	11,4	0,94

Из таблицы 1 следует, что при действии сжимающей нагрузки перпендикулярно и параллельно плоскости горизонтальных швов каменной кладки разница в ее значениях прочности на сжатие, установленных на основании испытаний образцов-призм и стандартных образцов составила около 5%. При углах наклона направления сжимающего усилия по отношению к горизонтальным швам кладки $0^\circ < \theta < 90^\circ$ разница в значениях прочности на сжатие кладки стандартных образцов и образцов-призм находилась в пределах 30-40%. Данный факт свидетельствует о более существенном влиянии касательных напряжений на прочность на сжатие каменной кладки стандартных образцов, по сравнению с образцами призмами. При испытаниях образцов-призм определялся секущий модуль упругости каменной кладки, E . При действии сжимающего усилия перпендикулярно плоскости горизонтальных растворных швов среднее значение E составило 11284 МПа. По результатам испытаний стандартных образцов $E=11146$ МПа.

Если известны значения прочности на сжатие образцов-призм при углах $0^0 < \theta < 90^0$, f_θ , то в соответствие с рисунком 5 б, значения касательных и нормальных сжимающих напряжений, действующих в плоскости опорных швов определяются по формулам (3), (4).

$$\sigma = f_\theta \cdot \cos^2 \theta, \quad (3)$$

$$\tau = f_\theta \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta. \quad (4)$$

Установив значения касательных напряжений τ и соответствующие им значения сжимающих напряжений σ , при $\theta=45^0$ и $67,5^0$ можно построить линейный график зависимости « $\tau-\sigma$ ». Начальную прочность на сдвиг f_{v0} (касательное сцепление) устанавливают путем экстраполяции графика до ординаты $\sigma=0$ МПа. Угол наклона графика к оси абсцисс являлся углом внутреннего трения c_j (рисунок 7).

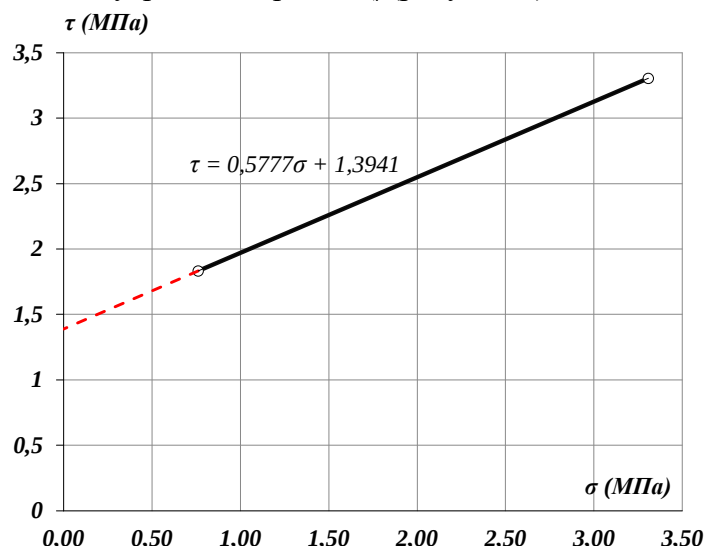


Рисунок 7 – График зависимости « $\tau-\sigma$ »

По результатам испытаний образцов каменной кладки при одновременном действии сжимающих и сдвигающих усилий согласно стандарту [20], значение начальной прочности на сдвиг $f_{v0}=0,5$ МПа, а угла внутреннего трения $c_j= 0,54$ [11]. Значения f_{v0} и c_j , установленные на основании испытаний образцов-призм, соответственно были равны 1,39 МПа и 0,57. Разница в значениях f_{v0} и c_j объясняется разной методикой испытаний и разной формой опытных образцов. Коэффициент корреляции между начальной прочностью на сдвиг испытанных образцов-призм и прочностью стандартных образцов составил 0,4.

Выводы

1. Экспериментальные исследования показали удовлетворительное согласование результатов определения прочности на сжатие и модуля упругости каменной кладки образцов-призм и стандартных образцов при действии сжимающего усилия перпендикулярно плоскости горизонтальных растворных швов. Разница в средних значениях прочности на сжатие кладки образцов-призм и стандартных образцов не превысила 5%, а модулей упругости 1,2%.

2. Характер разрушения стандартных образцов и образцов-призм при углах наклона направления сжимающего усилия по отношению к горизонтальным швам $0^0 < \theta < 90^0$ был одинаков. При этом разница в значениях прочности на сжатие кладки, установленная двумя методами, находилась в пределах 30-40%, что свидетельствует о более существенном влиянии касательных напряжений на прочность на сжатие каменной кладки стандартных образцов, по сравнению с образцами-призмами.

3. Начальная прочность на сдвиг каменной кладки полученная по результатам испытаний согласно стандарту [20] оказалась в 2,8 ниже, установленной по результатам

испытаний образцов-призм на сжатие, при этом значения угла внутреннего трения, определенные двумя методами, были близки. Полученную испытаниями на сжатие образцов-призм начальную прочность на сдвиг кладки, следует приводить к прочности стандартных образцов умножением на коэффициент корреляции. По результатам испытаний значение коэффициента корреляции составило 0,4. Установление коэффициентов корреляции для разных комбинаций растворов и кирпича в каменной кладке требует проведения дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимин С.С., Кокоткова О.Д., Беспалов В.В. Сводчатые конструкции исторических зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2(29). С. 57–62.
2. Беспалов В.В., Зимин С.С. Прочность каменной кладки сводчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 11(50). С. 37–51.
3. Орлович Р.Б., Беспалов В.В., Семенова М.Д. О совместной работе каменных арок и стен // Строительство и реконструкция. 2018. № 5(79). С. 32–40.
4. Орлович Р.Б., Зимин С.С. Устройство сквозных проемов в каменных сводах исторических зданий // Строительство и реконструкция. 2022. № 6(104). С. 69–77.
5. Lourenco P.B. Computational strategies for masonry structures: PhD Dissertation // Delfi University of Technology. Delfi University Press. The Netherlands. 1996. 210 p.
6. Malyszko L. Modelowanie zniszczenia w konstrukcjach murowych z uzglednieniem anizotropii. Olsztyn: UWM, 2005. 158 p.
7. Кабанцев О.В. Структурный анализ процесса пластического деформирования и разрушения каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. ISSUE 3. Vol. 11(4). Pp. 36–51.
8. Пангаев В.В., Албаут Г.И., Федоров А.В., Табанюхова М.В. Модельные исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки при сжатии // Изв. Вузов. Строительство. 2003. № 2. С. 24–29.
9. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций. М: АСВ, 2010. 104 с.
10. Кашеварова Г.Г., Зобачева А.Ю. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. 2010. № 1. С. 106–116.
11. Kozłowski M, Galman I, Jasiński R. Finite Element Study on the Shear Capacity of Traditional Joints between Walls Made of AAC Masonry Units // Materials. 2020, 18, 4035. 23 p. doi:10.3390/ma13184035.
12. Derkach V., Galalyuk A. Calculation model of the Anisotropy of Strength at Compression of Masonry // Research, Design & Cad in Construction: Theory and Practice (RDCAD 2021): MATEC Web of Conferences 350, 00003 (2021), Brest, Belarus, December, 2021. 6 p.
13. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе: ГОСТ Р 58527-2019. Введ. 01.01.2021. М.: Стандартиформ, 2019. 12 с.
14. Растворы строительные. Методы испытаний: ГОСТ 5802-86. Введ. 11.12.1985. М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985. 22 с.
15. Testing of mortars containing mineral binders - Part 9: Determination the compressive strength of hardened mortar: DIN 18555-9: 2019. Published 04.01.2019. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2019. 14 p.
16. Деркач В.Н. Каменные и армокаменные конструкции. Оценка технического состояния, ремонт и усиление. Минск: СтройМедиаПроект, 2021. 256 с.
17. UIC – International Union of Railways: UIC Code. Recommendations for the Inspection, Assessment, Reliability and Maintenance of Masonry Arch Bridges. final draft, 2008. 16 p.
18. Методы испытаний каменной кладки. Часть 1. Определение прочности при сжатии: СТБ EN 1052-1-2015. Введ. 01.11.2015. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2015. 12 с.
19. Gaber K., Kupper R. Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk // Mauerwerk. 2012. No. 16. Heft 6. Pp. 297–300.
20. Методы испытаний каменной кладки. Часть 3. Определение начальной прочности при сдвиге: СТБ EN 1052-3-2017. Введ. 01.08.2018. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2013. 17 с.
21. Галалюк А.В. Прочность каменной кладки при сжатии под различными углами к горизонтальным растворным швам // Строительная наука. 2014: теория, образование, практика, инновации (посвящается 55-

летию ИСИА САФУ). Сборник трудов междунар. научно-техн. конф., г. Архангельск, 22-23 мая 2014 г. Под ред. Лабудина Б.В. Архангельск: Изд-во ООО «Типография «ТОЧКА». 2014. С. 68-73.

22. Деркач В.Н. Оценка анизотропии прочности при сжатии каменной кладки при обследовании зданий старой постройки // Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура. 2019. № 1. С. 58-61.

23. Nowak R., Kania T., Derkach V., Orłowicz R., Halaliuk A., Ekiert E., Jaworski R. Strength Parameters of Clay Brick Walls with Various Directions of Force // Materials. 2021. No. 14(21), Pp. 6461. <https://doi.org/10.3390/ma14216461>

REFERENCES

1. Zimin S.S., Kokotkova O.D., Bepalov V.V. Svodchatye konstrukcii istoricheskikh zdaniy [Vaulted structures of historic buildings]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij*. 2015. Vol. 29. No. 2. Pp. 57-62. (rus)
2. Bepalov V.V., Zimin S.S. Prochnost' kamennoj kladki svodchatykh konstrukcij [The strength of vaulted masonry structures]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij*. 2016. Vol. 50. No. 11. Pp. 37-51. (rus)
3. Orlovich R. B., Bepalov V.V., Semenova M.D. O sovместnoy rabote kamennykh arok i sten [About the joint work of masonry arches and walls]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2018. Vol. 79. No. 5. Pp. 32-40. (rus)
4. Orlovich R.B., Zimin S.S. Ustrojstvo skvozykh proemov v kamennykh svodakh istoricheskikh zdaniy. [Arrangement of through openings in the masonry vaults of historical buildings]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2022. Vol. 104. No. 6. Pp. 69-77. (rus)
5. Lourenco P.B. Computational strategies for masonry structures: PhD Dissertation. *Delfi University of Technology. Delfi University Press. The Netherlands*. 1996. 210 p.
6. Malyszko L. Modelowanie zniszczenia w konstrukcjach murowych z uzglednieniem anizotropii. Olsztyn: UWM, 2005. 158 p.
7. Kabancev O.V. Strukturnyj analiz processa plasticheskogo deformirovaniya i razrusheniya kamennoj kladki v usloviyakh dvuhosnogo napryazhennogo sostoyaniya [Structural analysis of the process of plastic deformation and destruction of masonry under biaxial stress conditions]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2015. ISSUE 3. Vol. 11(4). Pp. 36-51. (rus)
8. Pangaev V.V., Al'baut G.I., Fedorov A.V., Tabanyuhova M.V. Model'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennoj kladki pri szhatii [Model studies of the stress-strain state of masonry under compression]. *Izv. Vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No. 2. Pp. 24-29 (rus)
9. Sokolov B.S., Antakov A.B. Issledovaniya szhatykh elementov kamennykh i armokamennykh konstrukcij [Studies of compressed elements of masonry and reinforced masonry structures]. M: ASV, 2010. 104 p. (rus)
10. Kashevarova G.G., Zobacheva A.YU. Modelirovanie processa razrusheniya kirpichnoj kladki [Modelling of the process of destruction of masonry]. *Vestn. Perm. nac. issled. politekhn. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2010. No. 1. Pp. 106–116. (rus)
11. Kozłowski M, Galman I, Jasiński R. Finite Element Study on the Shear Capacity of Traditional Joints between Walls Made of AAC Masonry Units // *Materials*. 2020, 18, 4035. 23 p. doi:10.3390/ma13184035.
12. Derkach V., Galalyuk A. Calculation model of the Anisotropy of Strength at Compression of Masonry // Research, Design & Cad in Construction: Theory and Practice (RDCAD 2021): MATEC Web of Conferences 350, 00003 (2021), Brest, Belarus, December, 2021. 6 p.
13. Materialy stenovye. Metody opredeleniya predelov prochnosti pri szhatii i izgibe: GOST R 58527-2019 [Masonry materials. Methods for determining the ultimate strength in compression and bending: GOST R 58527-2019.] // Vved. 01.01.2021. M.: Standartinform. 2019. 12 p. (rus)
14. Rastvory stroitel'nye. Metody ispytaniy: GOST 5802-86. [Building mortars. Test methods: GOST 5802-86] // Vved. 11.12.1985. M.: Gosudarstvennyy komitet SSSR po delam stroitel'stva. 1985. 22 p. (rus)
15. Testing of mortars containing mineral binders - Part 9: Determination the compressive strength of hardened mortar: DIN 18555-9: 2019. Published 04.01.2019. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2019. 14 p.
16. Derkach V.N. Kamennye i armokamennye konstrukcii. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya, remont i usilenie [Masonry and reinforced masonry structures. Assessment of the technical condition, repair and strengthening]. Minsk: StrojMediaProekt. 2021. 256 p (rus)
17. UIC – International Union of Railways: UIC Code. Recommendations for the Inspection, Assessment, Reliability and Maintenance of Masonry Arch Bridges. final draft, 2008. 16 p.
18. Metody ispytaniy kamennoj kladki. CHast' 1. Opredelenie prochnosti pri szhatii STB EN 1052-1-2015 [Test methods for masonry. Part 1. Determination of compressive strength: STB EN 1052-1-2015]. Vved. 01.11.2015. Minsk: RUP «Strojtekhnorm». 2015. 12 p. (rus)
19. Gaber K., Kupper R. Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk. *Mauerwerk*. 2012. No.16. Heft 6. Pp. 297-300.

20. Metody ispytanij kamЕННОj kladki. CHast' 3. Opredelenie nachal'noj prochnosti pri sdvige: STB EN 1052-3-2017 [Test methods for masonry. Part 1. Determination of the initial shear strength: STB EN 1052-3-2017]. Vved. 01.08.2018. Minsk: RUP «Strojtekhnorm». 2013. 17 p. (rus)
21. Galalyuk A.V. Prochnost' kamЕННОj kladki pri szhatii pod razlichnymi ugłami k gorizontálnym rastvornym shvam [Compressive strength of masonry at different angles to horizontal mortar joints]. *Stroitel'naya nauka. 2014: teoriya, obrazovanie, praktika, innovacii (posvyashchaetsya 55-letiyu ISiA SAFU)*. Sbornik trudov mezhdunar. nauchno-tekhn. konf., g. Arhangel'sk, 22-23 maya 2014 g. Pod red. Labudina B.V. Arhangel'sk: Izd-vo OOO «Tipografiya «TOCHKA». 2014. Pp. 68-73. (rus)
22. Derkach V.N. Ocenka anizotropii prochnosti pri szhatii kamЕННОj kladki pri obsledovanii zdaniy staroj postrojki [Evaluation of anisotropy of compressive strength of masonry in the inspection of old buildings]. *Vestnik BrGTU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2019. No. 1. Pp. 58-61. (rus)
23. Nowak R., Kania T., Derkach V., Orłowicz R., Halaliuk A., Ekiert E., Jaworski R. Strength Parameters of Clay Brick Walls with Various Directions of Force. *Materials*. 2021. No. 14(21), Pp. 6461. <https://doi.org/10.3390/ma14216461>.

Информация об авторах:

Галалюк Антон Владимирович

Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь, начальник отдела.

E-mail: Halaliuk@mail.ru

Деркач Валерий Николаевич

Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь, доктор технических наук, директор.

E-mail: v-derkach@yandex.ru

Information about authors:

Halaliuk Anton V.

Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus, head of department.

E-mail: Halaliuk@mail.ru

Derkach Valery N.

Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus, doctor of technical sciences, director.

E-mail: v-derkach@yandex.ru