

АНИЗОТРОПИЯ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

П. И. Матяс¹, В. Н. Деркач², А. В. Галалиук³¹ Аспирант, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: matyas.ntc@gmail.com² Д. т. н., директор, Филиал НТЦ РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», Брест, Беларусь, e-mail: v-derkach@yandex.ru³ К. т. н., начальник управления, Филиал НТЦ РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», Брест, Беларусь, e-mail: halaliuk@mail.ru

Реферат

Приведены результаты экспериментальных исследований анизотропии прочности на сжатие керамического кирпича. Исследовался исторический кирпич, отобранный из стен здания казармы Брестской крепости и современный кирпич разной прочности на сжатие. Определение степени анизотропии прочности на сжатие выполнялось на основании испытаний образцов-кубов с ребром 65 мм, выпиленных из тела кирпича. Образцы-кубы испытывались сжимающей нагрузкой, действующей перпендикулярно лицевой, торцевой и опорной поверхностям кирпича. По результатам испытаний установлено, что значение прочности на сжатие исторического кирпича при сжатии перпендикулярно его опорной поверхности, ниже, чем при сжатии перпендикулярно лицевой и торцевой поверхностям. При испытаниях современного кирпича наблюдался обратный эффект. Разница в свойствах исторического и современного кирпича объясняется разной технологией их производства, а также использованием в одной конструкции разных видов кирпича. Полученные результаты следует учитывать при проведении работ по обследованию каменных конструкций. Показано, что при обследовании исторических зданий применение склерометрических методов оценки прочности каменной кладки недопустимо, так как построение градуировочной зависимости, связывающей прочность на сжатие кирпича в направлении опорной поверхности с результатами косвенного испытания лицевой поверхности кирпича, не представляется возможным. При оценке надежности исторических конструкций прочность на сжатие каменной кладки следует определять по результатам испытаний кирпича и раствора на сжатие в направлении действующего в конструкции сжимающего усилия. Предпочтительными являются испытания каменной кладки в конструкции или лабораторными испытаниями отобранных из обследуемой конструкции образцов кладки.

Ключевые слова: каменная кладка, керамический кирпич, анизотропия прочности, прочность на сжатие, исторические здания.

ANISOTROPY OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CERAMIC BRICKS

P. I. Matyas, V. N. Derkach, A. V. Halaliuk

Abstract

The results of experimental studies of the anisotropy of the compressive strength of ceramic bricks are presented. The historical brick selected from the walls of the Brest Fortress barracks building and modern bricks of different compressive strength were studied. The degree of anisotropy of compressive strength was determined based on tests of cube specimen with an edge of 65 mm sawn from the body of the brick. The cube specimen was tested by a compressive load acting perpendicular to the stretchers, headers and beds surfaces of the brick. According to the test results, it was found that the compressive strength of a historical brick when compressed perpendicular to its bed surface is lower than when compressed perpendicular to the header and stretcher faces. When testing modern bricks, the opposite effect was observed. The difference in the properties of historical and modern bricks is explained by the different technology of their production, as well as the use of different types of bricks in the same structure. The results obtained should be taken into account when carrying out work on the inspection of stone structures. It is shown that when examining historical buildings, the use of sclerometric methods for assessing the strength of masonry is unacceptable, since it is not possible to build a calibration relationship linking the compressive strength of bricks in the direction of the bed surface with the results of indirect testing of the stretcher faces of the brick. When assessing the reliability of historical structures, the compressive strength of masonry should be determined based on the results of tests of brick and mortar for compression in the direction of the compressive force acting in the structure. Tests of masonry in the structure or laboratory tests of masonry specimen selected from the examined structure are considered to be mandatory.

Keywords: masonry, ceramic brick, strength anisotropy, compressive strength, historical buildings.

Введение

Кирпичная каменная кладка является композитным материалом, физико-механические характеристики которого зависят от физико-механических характеристик кирпича и растворных швов. В каменной кладке кирпич играет роль основного конструктивного элемента. Соответственно сопротивление силовым и температурно-влажностным воздействиям каменных конструкций, их огнестойкость, теплотехнические и акустические свойства во многом определяются свойствами кирпича.

Важнейшей механической характеристикой каменной кладки, является ее прочность на сжатие, которая зависит от ряда факторов. Главными из них являются прочность на сжатие кирпича и раствора. Ввиду различия в физико-механических свойствах кирпича и затвердевшего раствора каменная кладка обладает выраженной конструкционной неоднородностью. Неоднородностью каменной кладки объясняется анизотропия ее прочностных и деформационных характеристик. Сцепление в каменной кладке обоих ее компонентов (кирпича и растворных швов) обеспечивает их совместную деформацию при внешних воздействиях. Поэтому в инженерных расчетах каменных конструкций используют упрощение, заключающееся в том, что

каменную кладку рассматривают как однородный материал с условными прочностными и деформационными свойствами – одинаковыми в каждой точке.

Следует отметить, что предположение об однородности каменной кладки может быть весьма ошибочным в случае выполнения численного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) ответственных фрагментов или узлов каменных конструкций. В этом случае используют метод микромоделирования каменной кладки, согласно которому ее рассматривают как конструкцию или гетерогенное (неоднородное) тело, состоящее из кирпичей и растворных швов, характеристики жесткости и прочности которых учитываются раздельно. Указанные характеристики, как правило, устанавливают на основе простых стандартных испытаний кирпича и раствора. Известно, что керамический кирпич является анизотропным материалом, степень анизотропии механических характеристик которого зависит от технологии его производства [1–6]. При этом данные о анизотропии механических характеристик керамического кирпича в научной и технической литературе практически отсутствуют, что определяет актуальность настоящих исследований.

Материалы и методы

С целью получения данных о степени анизотропии прочности на сжатие керамического кирпича были выполнены исследования исторического полнотелого кирпича, отобранного из стен здания казармы Брестской крепости, построенной в 1933 г, а также двух типов современного кирпича, произведенного в Республике Беларусь.

Исторический кирпич имел следующие размеры: длина – 265 мм, ширина – 130 мм, высота – 60 мм. Данным размерам соответствует керамический кирпич, который производился со второй половины XIX века в Польше [7]. Размеры современного кирпича: длина – 250 мм, ширина – 120 мм, высота – 65 мм.

Первоначально были определены средние значения прочности кирпича при сжатии и изгибе в соответствии с ГОСТ 8462 (рисунок 1).

По результатам испытаний средние значения прочности кирпича при сжатии и изгибе, соответственно составили:

- для исторического кирпича – 16,9 МПа и 5,1 МПа;
- для современного кирпича первого типа – 17,3 МПа и 5,5 МПа;
- для современного кирпича второго типа – 25,9 МПа и 3,3 МПа.

Анизотропия прочности на сжатие керамического кирпича устанавливалась на основании испытаний выпиленных из его тела кубов с размером ребра равным высоте кирпича. Кубы испытывались сжимающей нагрузкой, действующей перпендикулярно граням па-

раллельным лицевой, торцевой и опорной поверхностям кирпича. Для каждого испытания из кирпичей изготавливалось по 5–6 керамических образцов-кубов. Грани куба, контактирующие с плитами пресса, выравнивались тонким слоем гипсового раствора.

Испытание на сжатие опытных образцов-кубов производилось при помощи испытательной машины УМЭ-10М. Керамические кубы устанавливались одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту испытательной машины центрально относительно ее продольной оси. После установки образца на опорную плиту, верхняя плита машины совмещалась с верхней опорной гранью образца, так, чтобы их плоскости полностью прилегли одна к другой. Нагружение образца производилось непрерывно, со скоростью, обеспечивающей его разрушения в пределах 30-ти секунд. Общий вид керамического образца-куба в испытательной установке и характер его разрушения показаны на рисунке 2.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытаний, принималось за разрушающую нагрузку. Прочность на сжатие образца определялась как частное от деления разрушающей нагрузки на рабочую площадь его поперечного сечения. По результатам испытаний образцов-кубов определялись средние значения прочности образцов при действии сжимающего усилия в направлении лицевой, опорной и торцевой поверхностей кирпича.



а) сжатие; б) изгиб
Рисунок 1 – Испытания кирпича



а) общий вид образца; б) характер разрушения
Рисунок 2 – Испытание керамических кубов

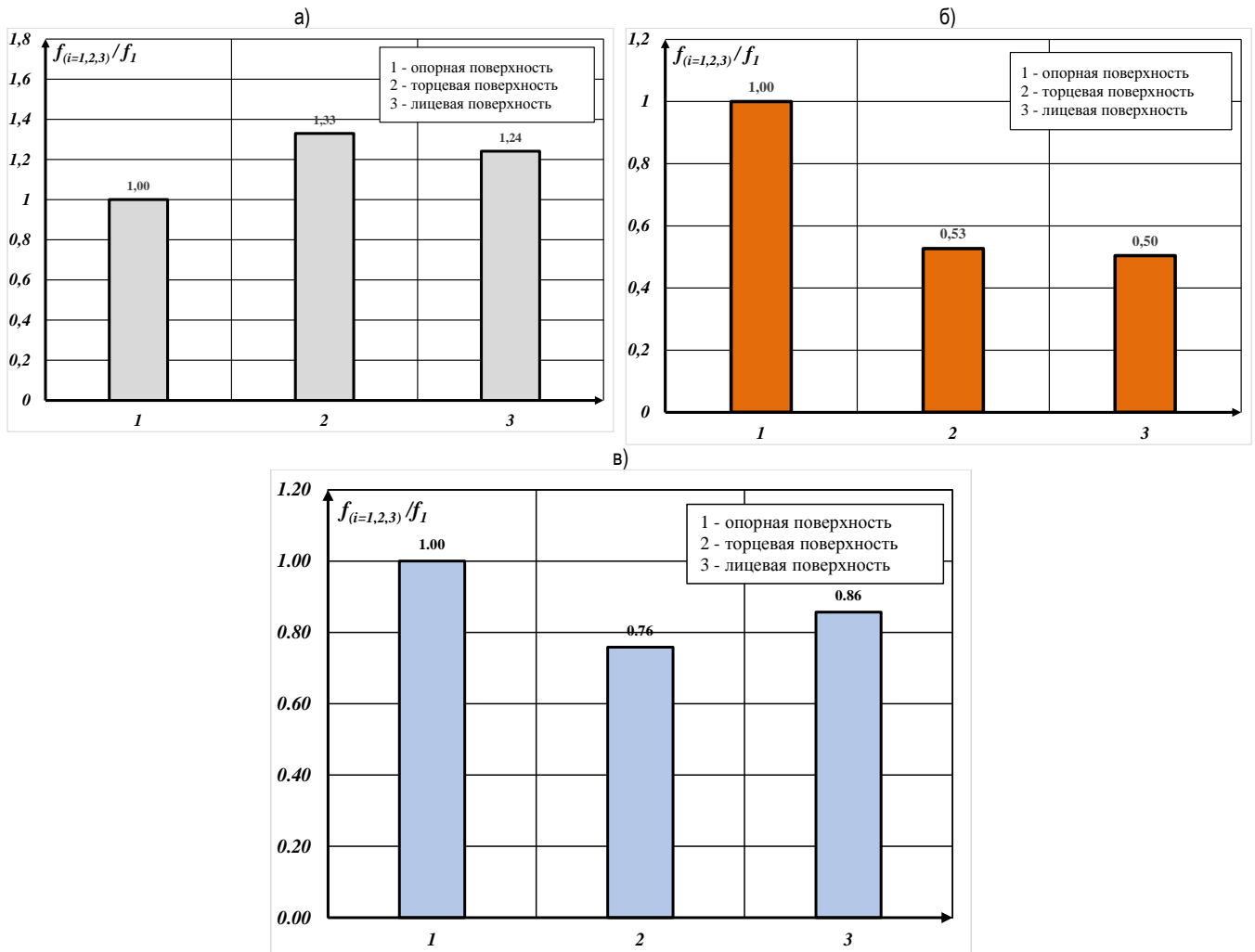
Результаты исследования

Испытания на сжатие керамических образцов кубов, выпиленных из исторического кирпича, показали, что его прочность на сжатие перпендикулярно лицевой (f_3) и торцевой (f_2) поверхностям выше, соответственно, на 24 % и 33 % прочности на сжатие перпендикулярно опорной поверхности (f_1).

При испытаниях образцов-кубов, выпиленных из современного кирпича, наиболее высокие значения прочности на сжатие были получены для направления нагрузки перпендикулярно опорной по-

верхности кирпича. Прочность керамических кубов, испытанных сжимающей нагрузкой перпендикулярно лицевой (f_3) и торцевой (f_2) поверхностям кирпича, оказалась ниже прочности на сжатие перпендикулярно опорной поверхности (f_1) для кирпича первого типа на 50 % и 47 %, а для кирпича второго типа – на 15 % и 24 %.

На рисунке 3 приведены графики отношения полученных значений прочности опытных образцов-кубов при сжатии перпендикулярно лицевой (f_3) и торцевой (f_2) поверхностям кирпича к прочности на сжатие перпендикулярно к его опорной поверхности (f_1).



а) исторический кирпич; б) современный кирпич первого типа; в) современный кирпич второго типа

Рисунок 3 – Результаты определения прочности керамических образцов кубов

Из рисунка 3 следует, что керамический кирпич обладает выраженной анизотропией прочности на сжатие. Для исторического кирпича отношение $f_2/f_1 = 1,33$ и $f_3/f_1 = 1,24$, а для современного кирпича – $f_2/f_1 = 0,53$ – $0,76$ и $f_3/f_1 = 0,5$ – $0,86$.

Следует отметить, что при испытании керамических образцов-кубов коэффициент вариации прочности на сжатие составил 25–40 % для исторического кирпича и 10–15 % для современного кирпича.

Полученные значения анизотропии прочности на сжатие современного кирпича удовлетворительно согласуются с приведенными в [4, 5] результатами испытаний керамических образцов-цилиндров, которые отбирались из полнотелого керамического кирпича марок М150 (Новгород), М200 (Витебск) и М250 (Санкт-Петербург) перпендикулярно его лицевой и опорной поверхностям. По результатам испытаний среднее значение отношения прочности на сжатие цилиндрических образцов, отобранных ортогонально лицевой и опорной поверхности кирпича $f_3/f_1 \approx 0,6$. При этом для исторического кирпича установить корреляционную зависимость прочности на сжатие от направле-

ния сжимающего усилия не удалось ввиду значительного разброса результатов испытаний, (коэффициент вариации 30–45 %).

Представляют интерес данные о прочности на сжатие керамического кирпича в зависимости от направления действия сжимающего усилия по отношению к его опорной плоскости [6]. На сжатие испытывались керны диаметром 45 мм, которые выбуривались под разными углами к опорной плоскости кирпича. Исследования показали, что для современного кирпича при направлении сжимающего усилия под углом к опорной плоскости $0^\circ < \varphi \leq 60^\circ$ прочность на сжатие близка к прочности на сжатие ортогонально опорной плоскости, $\varphi = 0^\circ$.

Для исторического кирпича при действии сжимающего усилия под углами $35^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$ прочность на сжатие оказалась на 20–25 % выше прочности на сжатие под углом $\varphi = 0^\circ$. Из-за высокого разброса результатов испытаний для данного кирпича не удалось установить корреляционную зависимость прочности на сжатие от направления сжимающего усилия.

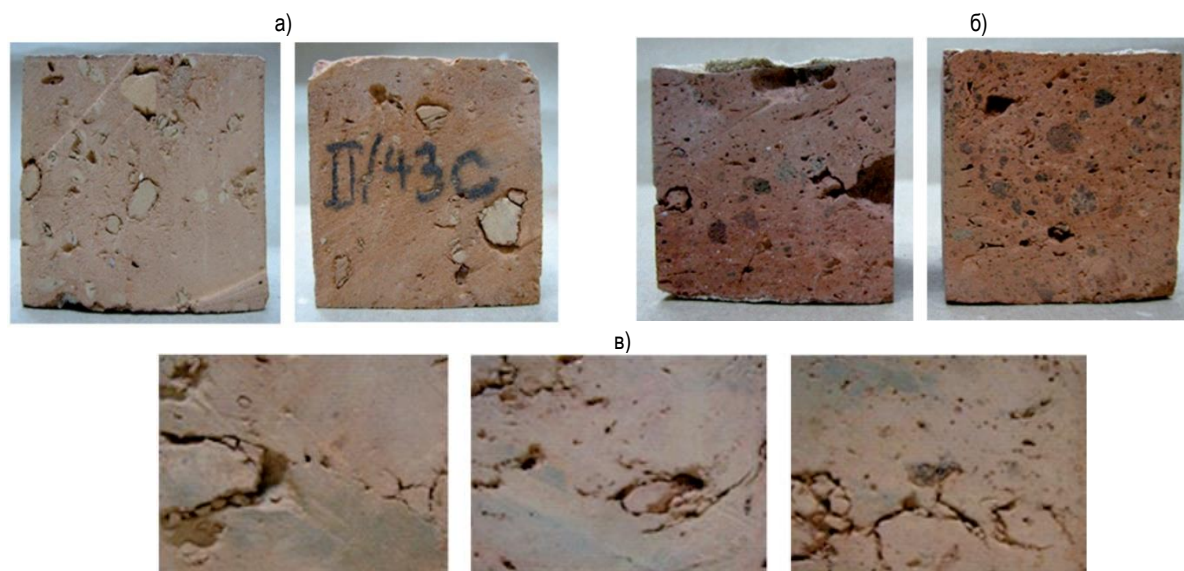
Обсуждение

Разница в свойствах исторического и современного кирпича объясняется разной технологией их производства. Керамический кирпич, в зависимости от способа его производства, можно разделить на две категории: ручной и механизированной формовки. Кирпич ручной формовки изготавливался с древних времен практически до конца XIX века (хотя известны примеры ручной формовки кирпичей XX века). Ручная формовка кирпичей происходила в деревянных формах – глину уплотняли, а затем излишки срезали пальцами. Из-за заметных отпечатков пальцев на плоской поверхности такие кирпичи называли «пальчатками» [16]. В более позднее время (примерно с XVII века) для удаления излишков глины из формы использовали деревянную строганую рейку.

Основным видом кирпича на территории современной Беларуси являлся обожжённый кирпич, отличающийся высокой стойкостью к воздействию внешних факторов [16–19]. Обжиг кирпича чаще всего проводился в простых полевых печах, при этом укладка, обжиг и охлаждение обычно занимали от четырех до восьми недель. Температура обжига составляла от 800 до 1100 °С и достигала своего максимума в течение четырех–шести дней. После обжига следовал естественный процесс охлаждения печи. В зависимости от количества кирпичей, типа топлива и погодных условий один цикл обжига длился от двух до четырех недель. Конструкцией печей определялось качество керамического кирпича. Лучше всего обжигался материал из средней части печей (вишнёвые кирпичи). Чем ближе

к внешним стенкам, тем хуже было качество кирпичей, а значительная часть керамического материала «полусырые» характеризовалась низкими прочностными показателями (недожжённый кирпич). Таким образом, из одной обжиговой партии получали кирпичи с существенным различием физико-механических характеристик. Значительная изменчивость физико-механических характеристик кирпича в каменной кладке стен объясняется еще и тем, что при строительстве крупных объектов использовался кирпич, обжиг которого производился в разных печах.

Значительные изменения в производстве кирпича произошли на рубеже XVIII и XIX веков. В Англии сначала была применена паровая машина для смешивания глины, а в 1799 году было создано первое устройство, заменяющее ручную формовку кирпичей. В середине XIX века были разработаны устройства для промышленной формовки кирпича. Большое значение имело также внедрение для обжига кирпича туннельной печи (1853 год), а затем кольцевой печи (Хоффмана – 1858 год). На территории современной Беларуси новые технологии и так называемый «машинный кирпич» начали применять с конца XIX века. На свойства «машинного кирпича» влияли: механический способ подготовки сырья, формовка под давлением, обжиг в стационарных печах при температурах выше 900 °С. При этом структура «машинного кирпича» получалась более плотной и однородной по сравнению с кирпичом ручной формовки. Примеры структуры исторического керамического кирпича приведены на рисунке 4.



а), б) кирпич XIX века; в) кирпич XVII и XVIII века

Рисунок 4 – Структура исторического керамического кирпича [7]

Из-за несовершенства технологии геометрические размеры исторического кирпича не выдерживались. Формованный кирпич, применявшийся до первых десятилетий XIX в., имел деформированные грани, скругленные ребра и обтекаемые углы. Прочность на сжатие кирпича составляла 8–12 МПа, что соответствовало марке кирпича М100. Вследствие деградации материала кирпича в течение длительного периода эксплуатации его прочность на сжатие на сегодняшний момент может быть существенно снижена. При капитальном ремонте и реконструкции зданий старой постройки часто использовался кирпич из разрушенных зданий, о чем свидетельствует наличие в обследуемой каменной кладке кирпичей с различными клеймами. Примером являются исторические сооружения Брестской крепости, многие из которых были возведены в середине XIX века из кирпича разрушенных зданий [20]. В связи с этим при испытании кирпичей, изъятых из каменной кладки исторических зданий, их прочность на сжатие, а также степень анизотропии прочности может существенно различаться.

При обследовании исторических зданий прочность на сжатие кирпича и кладочного раствора часто устанавливают на основе

склерометрических методов, используют склерометры, в которых заводом заложена градуировочная зависимость между параметрами, измеряемыми данными приборами, и прочностью на сжатие кирпича. Проведенные исследования показывают, что применение склерометрических методов оценки прочности каменной кладки исторических зданий недопустимо, так как построение градуировочной зависимости, связывающей прочность на сжатие кирпича в направлении опорной поверхности с результатами косвенного испытания лицевой поверхности кирпича, не представляется возможным. Данные методы рекомендуется применять для оценки однородности каменной кладки и определения мест отбора кирпича и раствора, а также при контроле прочности кирпича заводского изготовления, для которого имеется возможность построения частных градуировочных зависимостей.

Заключение

Керамический кирпич имеет выраженную анизотропию прочности на сжатие. По результатам испытаний исторического кирпича прочность на сжатие перпендикулярно опорной плоскости оказалась

ниже прочности в направлении лицевой и торцевой поверхностям. Для современного кирпича наблюдалась обратная зависимость. Указанное обстоятельство следует учитывать при проведении работ по обследованию каменных конструкций.

При оценке надежности исторических конструкций прочность на сжатие каменной кладки следует определять по результатам испытаний кирпича и раствора на сжатие в направлении действующего в конструкции сжимающего усилия. Результаты оценки прочности кладки, полученные на основании испытаний отобранных из ее тела отдельных кирпичей и затвердевшего раствора, не учитывают взаимодействие кирпича и раствора в каменной кладке. Достоверные данные о прочности на сжатие каменной кладки существующих конструкций можно получить путем ее испытания в конструкции или лабораторных испытаний отобранных из обследуемой конструкции образцов кладки [1–3, 8–15].

Список цитированных источников

1. Деркач, В. Н. Каменные и армокаменные конструкции. Оценка технического состояния, ремонт и усиление / В. Н. Деркач. – Минск : СтройМедиа Проект, 2021. – 256 с.
2. Орлович, Р. Б. Оценка технического состояния исторических каменных зданий / Р. Б. Орлович, С. С. Зимин. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 209 с.
3. Tkacz, P. Wybrane sposoby określania wytrzymałości muru w budynkach istniejących / P. Tkacz, R. Orłowicz // XXXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta WPPK : Materiały Konferencyjne, Gliwice, 5–8 marca 2019. – Gliwice, 2019. – S. 227–242.
4. Улыбин, А. В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений / А. В. Улыбин, С. В. Зубков // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 3. – С. 29–34.
5. Стандартная и альтернативная методики определения прочности кирпича при обследовании зданий и сооружений / А. В. Улыбин, С. В. Зубков, О. Ю. Сударь, Е. А. Лаптев // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 3 (18). – С. 9–24.
6. Einfluss der Belastungsrichtung auf die einaxiale Druckfestigkeit von Proben aus Vollziegeln / A. Krawtschuk, O. Zeman, J. Schellander [et al.] // Mauerwerk. – 2014. – № 2. – P. 98–104.
7. Matysek, P. Identyfikacja wytrzymałości na ściskanie i odkształcalności murów ceglanych w obiektach istniejących / P. Matysek. – Kraków : Politechnika Krakowska, 2014. – 167 s.
8. 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 (28). – С. 135–143.
9. Белов, В. В. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций / В. В. Белов, В. Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 3 (28). – С. 14–20.
10. Желдаков, Д. Ю. Сегментный метод определения прочности ограждающей конструкции / Д. Ю. Желдаков // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 3 (65). – С. 10–17.
11. Niedostatkiewicz, M. Badania wytrzymałości historycznych murów ceglanych / M. Niedostatkiewicz, T. Majewski // XXXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła, 9–12 Kwiecień 2024 r. – Wisła, 2024. – S. 1–40.
12. UIC Code. Recommendations for the Inspection, Assessment, Reliability and Maintenance of Masonry Arch Bridges : final draft / International Union of Railways. – Paris : UIC, 2008. – 16 p.
13. RILEM Recommendation MDT. D. 4. In situ stress-strain behaviour tests based on the flat jack / RILEM TC 177-MDT. – Bagneux : RILEM, 2004. – 38 p.
14. Галалюк, А. В. Оценка механических характеристик каменной кладки существующих зданий / А. В. Галалюк, В. Н. Деркач // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 6 (110). – С. 5–14.
15. Gaber, K. Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk / K. Gaber, R. Kupper // Mauerwerk. – 2012. – No. 16, Heft 6. – P. 297–300.
16. Трусов, О. А. Большемерный кирпич XIII–XVII в.в. на территории Белоруссии / О. А. Трусов // Славянорусские древности. – М. : Наука, 1991. – С. 111–117.
17. Малевская, М. В. Архитектурный комплекс Новогрудского детинца XIII–XIV в.в. / М. В. Малевская // Древнерусское государство и славяне. – Минск, 1983. – С. 122–124.
18. Багласов, С. Г. Историко-архитектурные исследования и реставрация Лидского замка / С. Г. Багласов, О. А. Трусов // Вопросы архитектуры Лит. ССР. – Рига, 1983. – С. 36–38.
19. Колединский, Л. В. Строительная техника, строительные материалы средневекового Витебска / Л. В. Колединский, М. А. Ткачев // Вопросы архитектуры Лит. ССР. – Рига, 1983. – С. 22–24.
20. Курков, И. Н. Город на месте города: история Брестской крепости 20-е–30-е гг. / И. Н. Курков // Брестчина: легенды, события, люди. – Минск : Медиафакт, 2005. – С. 207–209.

References

1. Derkach, V. N. Kamennye i armokamennye konstrukcii. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya, remont i usilenie / V. N. Derkach. – Minsk : StrojMedia Proekt, 2021. – 256 s.
2. Orlovich, R. B. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya istoricheskikh kamennykh zdaniy / R. B. Orlovich, S. S. Zimin. – SPb. : POLITEKH-PRESS, 2024. – 209 s.
3. Tkacz, P. Wybrane sposoby określania wytrzymałości muru w budynkach istniejących / P. Tkacz, R. Orłowicz // XXXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta WPPK : Materiały Konferencyjne, Gliwice, 5–8 marca 2019. – Gliwice, 2019. – S. 227–242.
4. Ulybin, A. V. O metodah kontrolya prochnosti keramicheskogo kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzhenij / A. V. Ulybin, S. V. Zubkov // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2013. – № 3. – S. 29–34.
5. Standartnaya i al'ternativnaya metodiki opredeleniya prochnosti kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzhenij / A. V. Ulybin, S. V. Zubkov, O. YU. Sudar', E. A. Laptev // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij. – 2014. – № 3 (18). – С. 9–24.
6. Einfluss der Belastungsrichtung auf die einaxiale Druckfestigkeit von Proben aus Vollziegeln / A. Krawtschuk, O. Zeman, J. Schellander [et al.] // Mauerwerk. – 2014. – № 2. – P. 98–104.
7. Matysek, P. Identyfikacja wytrzymałości na ściskanie i odkształcalności murów ceglanych w obiektach istniejących / P. Matysek. – Kraków : Politechnika Krakowska, 2014. – 167 s.
8. Derkach, V. N. Metody ocenki prochnosti kamennoj kladki v otechestvennoj i zarubezhnoj praktike obsledovaniya zdaniy i sooruzhenij / V. N. Derkach, N. M. ZHemosek // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. – 2010. – № 3 (28). – S. 135–143.
9. Belov, V. V. Ekspertiza i tekhnologiya usileniya kamennykh konstrukcij / V. V. Belov, V. N. Derkach // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2010. – № 3 (28). – S. 14–20.
10. ZHeldakov, D. YU. Segmentnyy metod opredeleniya prochnosti ograzhdnyushchej konstrukcii / D. YU. ZHeldakov // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – 2016. – № 3 (65). – S. 10–17.
11. Niedostatkiewicz, M. Badania wytrzymałości historycznych murów ceglanych / M. Niedostatkiewicz, T. Majewski // XXXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła, 9–12 Kwiecień 2024 r. – Wisła, 2024. – S. 1–40.
12. UIC Code. Recommendations for the Inspection, Assessment, Reliability and Maintenance of Masonry Arch Bridges : final draft / International Union of Railways. – Paris : UIC, 2008. – 16 p.
13. RILEM Recommendation MDT. D. 4. In situ stress-strain behaviour tests based on the flat jack / RILEM TC 177-MDT. – Bagneux : RILEM, 2004. – 38 p.
14. Galalyuk, A. V. Ocenka mekhanicheskikh harakteristik kamennoj kladki sushchestvuyushchih zdaniy / A. V. Galalyuk, V. N. Derkach // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – 2023. – № 6 (110). – S. 5–14.
15. Gaber, K. Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk / K. Gaber, R. Kupper // Mauerwerk. – 2012. – No. 16, Heft 6. – P. 297–300.
16. Trusov, O. A. Bol'shemernnyy kirpich XIII–XVII v.v. na territorii Belorussii / O. A. Trusov // Slavyanorusskie drevnosti. – M. : Nauka, 1991. – S. 111–117.
17. Malevskaya, M. V. Arhitekturnyj kompleks Novogrudskogo detinca XIII–XIV v.v. / M. V. Malevskaya // Drevnerusskoe gosudarstvo i slavyane. – Minsk, 1983. – S. 122–124.
18. Baglasov, S. G. Istoriko-arhitekturnye issledovaniya i restavraciya Lidskogo zamka / S. G. Baglasov, O. A. Trusov // Voprosy arhitektury Lit. SSR. – Riga, 1983. – S. 36–38.
19. Koledinskij, L. V. Stroitel'naya tekhnika, stroitel'nye materialy srednevekovogo Vitebska / L. V. Koledinskij, M. A. Tkachev // Voprosy arhitektury Lit. SSR. – Riga, 1983. – S. 22–24.
20. Kurkov, I. N. Gorod na meste goroda: istoriya Brestskoj kreposti 20-е–30-е гг. / I. N. Kurkov // Brestchina: legendy, sobytiya, lyudi. – Minsk : Mediafakt, 2005. – S. 207–209.

Материал поступил 24.02.2026, одобрен 03.03.2026, принят к публикации 03.03.2026