

О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

К.т.н., доцент А.В. Улыбин;
инженер С.В. Зубков,*

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: прочность кирпича; обследование каменных конструкций; неразрушающий контроль

Одной из основных задач, решаемых при обследовании зданий и сооружений, выполненных из каменной кладки, является определение прочностных параметров камней и раствора. основополагающие исследования в нашей стране, посвященные изучению работы каменной кладки под нагрузкой и прочности ее составляющих, выполнены в первой половине прошлого века под руководством Л.И. Онищика [1]. Результаты исследований легли в основу норм по расчету кладок СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции». При этом из результатов исследований [1] и требований норм (табл. 2 СНиП II-22-81) видно, что в прочности на сжатие кладки прочность камня играет существенно большую роль, чем прочность раствора, на котором она выполнена. Этот факт констатируется авторами и других работ [2]. Учитывая, что кладка преимущественно работает именно на сжатие, наиболее важным является точное и достоверное определение прочности на сжатие камней.

Современные исследования посвящены, в основном, изучению работы кладок из различных видов кирпичей в целом, а не исследованию работы камня и раствора по отдельности [3]. Практически все исследования выполняются в лабораторных условиях на изготовленных фрагментах кладки. Для определения прочности и деформативности кладки в полевых условиях предлагается использование плоских гидравлических домкратов «Flat-Jack-Tests» и их аналогов. Данный метод испытания нашел широкое применение за рубежом и освещен в различных работах [4-9]. Однако основными недостатками, ограничивающими его применение, являются существенное нарушение целостности испытываемого участка кладки и относительно высокая стоимость оборудования и работ.

Согласно действующим в России нормативным документам прочность керамического кирпича на сжатие может быть определена только испытанием образцов отобранных непосредственно из тела кладки. Испытания выполняются по требованиям ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения прочности при сжатии и изгибе». Стандартов, регламентирующих применение методов неразрушающего контроля (НК) для керамического кирпича в нашей стране нет. Действующий ГОСТ 24332-88 «Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности при сжатии» описывает требования к выполнению ультразвукового контроля прочности только для силикатного кирпича.

Известны исследования различных специалистов, описывающие возможность применения для контроля прочности кирпича методов неразрушающего контроля, широко используемых для бетона. Например, в работах [10, 11, 12] предлагается использовать метод пластической деформации, а в работе [13] кроме вышеупомянутого ещё и ультразвуковой метод. По результатам анализа большого количества технических отчетов по обследованию, выполненных различными отечественными организациями, а также опубликованных работ [14], можно утверждать, что большое количество специалистов используют для определения прочности метод ударного импульса и ультразвуковой метод. Первый из них широко применяется, так как в приборах типа ИПС МГ-4 и других аналогичных склерометрах заводом изготовителем заложена градуировочная зависимость «кирпич керамический». Это обстоятельство с легкостью используется владельцами приборов для выполнения «измерений». Применение ультразвукового метода для измерений прочности кладки, как правило, основано на использовании частных градуировочных зависимостей, построенных по результатам исследований институтов или отдельных авторов.

Определение прочности кирпича неразрушающими методами наиболее выгодно и заказчику и исполнителю обследования по следующим причинам. При исследовании не происходит ослабления конструкций в результате отбора образцов и не нарушается их внешний вид. Неразрушающие методы наименее трудоемки и более дешевы в сравнении со стандартными испытаниями. Однако результаты испытаний неразрушающим методом контроля позволяют лишь Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

приблизительно оценить прочность кирпича и во многих случаях характеризуются большой погрешностью [15]. Это вызвано, в частности, тем, что прочностные характеристики определяются по исследованию поверхностного слоя, подверженного размораживанию, эрозии и увлажнению. Все эти факторы напрямую влияют на результаты исследований. Учесть вышеуказанные факторы при определении прочности кирпича неразрушающим методом попытались авторы работы [11]. Но при этом исследуется тот же поверхностный слой, игнорируются возможные дефекты в теле камня и его неоднородность, которая характерна особенно для старого кирпича производства XIX века и ранее.

По мнению авторов, использование известных методов НК для определения прочности керамического кирпича при обследовании конструкций недопустимо. Мы утверждаем это не только потому, что отсутствуют стандарты, регламентирующие применение данных методов, а в большей степени из-за того, что керамический кирпич имеет существенно большую неоднородность строения и анизотропность физико-механических свойств, чем бетон. При этом опытные специалисты по обследованию знают, что применение косвенных методов НК даже для определения прочности бетона весьма условно. При правильной реализации их трудоемкость значительно возрастает и кажущаяся простота и доступность контроля теряется. Более подробно это рассмотрено в работе [16].

В качестве примера приведем данные параллельных измерений, выполненных при обследовании каменных конструкций здания Шуваловского дворца в Санкт-Петербурге. При обследовании конструкций кирпичных сводов был произведен отбор 40 образцов кирпича, испытанных в лабораторных условиях на сжатие. Кирпич, примененный в кладке, – керамический, пластического формования, изготовлен в начале XIX века. Перед отбором проб из кладки на кирпичах были проведены измерения методом упругого отскока с помощью молотка Шмидта Proceq Schmidt N. Результаты измерений по двум параметрам (прочность и высота отскока) представлены на рис.1.

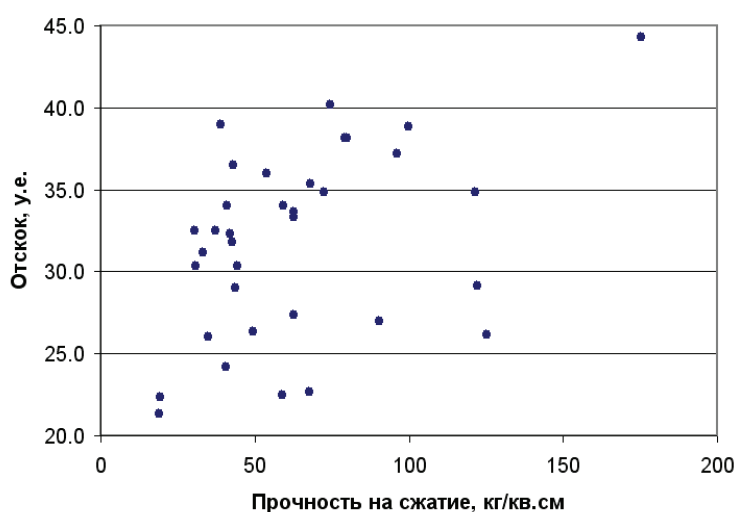


Рисунок 1. Зависимость прочности на сжатие от величины отскока

Парный корреляционно-регрессионный анализ различными зависимостями (линейной, степенной, логарифмической и экспоненциальной) характеризовался коэффициентом корреляции не более 0,45, что свидетельствует об отсутствии связи между измеряемыми параметрами.

Нельзя сказать, что применение методов НК для кирпича невозможно вообще. Как и для бетона при правильном использовании, учете большого количества факторов, в узких рамках методы могут успешно применяться. Примером является контроль прочности кирпичей на заводе, где имеется возможность построения частных градуировочных зависимостей для каждой совокупности параметров (вид материала для сырца, способ формования, температура и длительность обжига, вид кирпича и другие). Однако при обследовании зданий на каждом конкретном объекте совокупность параметров индивидуальна и, как правило, неизвестна. Поэтому для применения любого метода НК как и для бетона необходимо построение частной градуировочной зависимости на каждом конкретном объекте, что указано в требованиях СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» и других норм. Выполнение этого на практике делает применение НК прочности нецелесообразным, а в ряде случаев вообще не дает результата (см. рис.1).

Определение прочности кирпича на сжатие стандартными испытаниями наиболее трудоемко. Описанная в ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе» методика предусматривает испытание целых кирпичей, либо их половинок, уложенных постелью один на другой. Трудоемкими являются операции по изготовлению половинок кирпича, а также соединению их и выравниванию поверхностей цементным раствором, либо гипсовым тестом. При реализации данного метода в ходе

Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

обследования зданий, а не для контроля прочности кирпича при изготовлении и строительстве, процесс существенно осложняется необходимостью отбора проб из кладки.

По требованиям норм для определения прочности необходимо отобрать определенное количество кирпичей из тела кладки. Например, по требованиям п. 5.3.2.3 ГОСТ Р 53778 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» количество кирпичей для испытания составляет не менее 10 штук. Территориальные нормы ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге» указывают на необходимость испытания не менее трех образцов кирпича на 100м² площади стен.

Образцы в виде целых кирпичей отбирают, как правило, из наименее нагруженных участков (подоконные пояса, обрезы стен, парапеты и т.п.). Отбор проб из несущих элементов (стен, простенков, колонн) существенно затруднен, так как изъятие одного целого кирпича обычно приводит к разрушению нескольких кирпичей, прилегающих к нему. Следовательно, отбор сопровождается существенным ослаблением сечения, что недопустимо для линейных элементов (колонны, простенки). Указанные затруднения приводят к тому, что прочность определяется для камней ненагруженного элемента, а расчет кладки производится по другому элементу. Иногда оправданием данного подхода является установление причастности кирпичей (испытанных и рассчитываемых) к одной партии (виду). Это производится по внешним признакам: размеру, цвету, характерным дефектам, наличию клейм и т.д. Однако в тех случаях, когда стены покрыты штукатурными слоями, подобный подход вызывает затруднения. Все вышеперечисленные проблемы приводят к минимизации выборки проб для испытаний или отказу от испытаний вообще и применению методов НК.

Известен альтернативный способ отбора проб и испытания кирпича на прочность. Он заключается в отборе кернов из кирпичей и испытании образцов цилиндрической формы. На возможность данного подхода указывается в п.3.12 Рекомендаций [17] и п. 1.16 Рекомендаций [18]. В исследованиях профессора Л.И. Онищика [1] упоминается о данном методе испытаний очень кратко. Применение этого метода при обследовании зданий устраняет большинство указанных выше проблем и характеризуется следующими преимуществами:

- повреждение элемента отбора минимально (разрушается только часть одного кирпича);
- круглая форма нарушения сплошности кладки приводит к минимальной концентрации напряжений после отбора;
- производительность выбуривания очень высока, а современное оборудование широко доступно и имеет невысокую стоимость;
- благодаря предыдущим факторам есть возможность отбора большого числа проб и увеличения достоверности исследований;
- нет необходимости в склеивании и выравнивании образцов, что также снижает трудоемкость и увеличивает производительность.

Данный подход не нашел широкого применения, так как недостаточно исследований по определению зависимости между прочностью керамического кирпича, испытанного в виде цилиндрических образцов, и прочностью, полученной по стандартной методике. В рекомендациях [17] указывается на возможность применения переходных коэффициентов для корректировки размера цилиндров. Но указанные в табл.1 рекомендаций [18] размеры четко не соответствуют наиболее оптимальному размеру кернов из кирпича с диаметром 60-65 мм. Также неясно влияние анизотропии и ортотропии механических свойств кирпича на результат измерений. При выполнении стандартных испытаний направление нагружения совпадает с действием главных сжимающих сил при работе кладки в конструкции. При отборе кернов из кладки имеется возможность их изъятия только из тычков и ложков. Таким образом, направление нагрузки на изготовленные образцы – цилиндры при их испытании на сжатие будет ортогональна направлению нагрузки при нормальной работе кирпича. Исследованию влияния этих и других факторов посвящена данная работа.

В трудах профессора Л.И. Онищика [1] упоминается об опытных испытаниях ЦНИИПС 1934 г. (опыты инженера Н.И. Кравчени и инженера И.Т. Котова). Испытания заключались в определении прочности на сжатие кирпича в трех направлениях: плашмя, на ребро и на тычок, а также стандартным испытанием. Четких зависимостей между прочностью на сжатие в различных направлениях не установлено. На результаты испытаний повлияли такие факторы как различная высота образцов, а также различные значения сил трения, возникающих на подушках пресса и искажающих напряженное состояние. Влияние сил трения между подушкой пресса и образцом были подробно освещены еще вначале XX столетия в работах Гелера по испытанию кубиков и призм из цементного раствора.

Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

Результаты исследований прочности кернов из кирпича

Для исследования прочности кирпича на сжатие при испытании цилиндрических образцов авторами работы был проведен ряд опытов. В эксперименте применялись керамические полнотелые кирпичи марок М150 (производство Новгород), М200 (Витебск) и М250 (Санкт-Петербург.). Целью эксперимента являлось установление зависимости между прочностью на сжатие цилиндрических образцов, выбуренных из ложков и постелей кирпичей, и прочностью полученной испытанием по стандартной методике.

Для испытания были подготовлены 45 кирпичей (по 15 каждой марки). Из них по пять кирпичей каждой марки были испытаны в лабораторных условиях по стандартной методике на сжатие двух половинок, уложенных постелью друг на друга и склеенных гипсовым раствором (рис. 2, 3). Из оставшихся кирпичей были выбурены 60 цилиндрических образцов-кернов диаметром 56 мм (рис. 4). С целью проверки влияния на результат измерений направления отбора и установления связи между испытаниями в различных направлениях, образцы отбирались из ложковых граней и постели. Таким образом, керны, выбуренные из постели, были испытаны нагрузкой, направление которой совпадает с направлением при стандартном испытании, а направление нагрузки на образцы из ложков было ортогонально вышеописанному направлению (рис. 5). Цилиндрические образцы обрабатывались таким образом, чтобы отношение диаметра к высоте составляло 1:1. Торцы отшлифовывались и выводились в параллель друг к другу. В данном случае исключается влияние различной высоты образцов и сил трения о подушки пресса, в отличие от испытания целых кирпичей в различных направлениях.



Рисунок 2. Образцы, изготовленные по стандартной методике



Рисунок 3. Стандартный образец после испытания



Рисунок 4. Цилиндрические образцы



Рисунок 5. Цилиндрический образец после испытания

Результаты, полученные в ходе эксперимента по определению прочности на сжатие цилиндрических образцов и образцов, испытанных согласно ГОСТ 8462-85, а также отношение результатов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытания образцов

Марка кирпича	$R_{\text{ср}} \text{ ложок, кгс/см}^2$	$R_{\text{ср}} \text{ постель, кгс/см}^2$	$R_{\text{ср}} \text{ стандарт, кгс/см}^2$	$R_{\text{ср}} \text{ ложок} / R_{\text{ср}} \text{ постель}$	$R_{\text{ср}} \text{ ложок} / R_{\text{ср}} \text{ стандарт}$
М150	179	305	234	0,59	0,77
М200	173	293	225	0,59	0,77
М250	234	374	302	0,63	0,78

Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

В результате анализа экспериментальных данных установлено наличие связи между прочностью на сжатие цилиндрических образцов, отобранных ортогонально ложку и постели кирпича, с коэффициентом, близким к 0,6. Учитывая, что при исследовании кирпича в кладке имеется возможность отбора только горизонтальных кернов, наибольший интерес представляет отношение прочности кернов, отобранных из ложков, к прочности стандартных образцов. Связь прочности кирпича на сжатие, полученной по испытанию цилиндрических образцов, и прочностью, полученной стандартным испытанием, характеризуется коэффициентом 0,77.

Также по результатам эксперимента выявлено, что фактическая прочность кирпичей марок М150 и М200 практически одинаковая. Это, вероятнее всего, связано с наличием в кирпиче марки М150 большого количества трещин и посечек. Данные дефекты снижают прочность кирпича на изгиб, которая в данном исследовании не рассматривалась. Этим и обусловлена более низкая марка, установленная заводом – изготовителем.

Исследование ультразвуковым методом НК

Помимо приведенных выше результатов, было выполнено исследование связи скорости ультразвуковых волн с прочностью кирпича. Исследование проводилось на тех же кирпичах. Перед отбором кернов и проведением испытаний выполнялись ультразвуковые измерения с помощью прибора Пульсар 1.1 (НПП «Интерприбор») и ультразвукового тестера УК 1401 (ООО «АКС»). Измерения скорости распространения ультразвуковых колебаний производились поверхностным прозвучиванием по ложковой грани кирпича, что соответствует условиям доступа к кирпичу в кладке. Результаты в виде зависимостей между прочностью и скоростью распространения волн представлены на рис. 6 и 7.

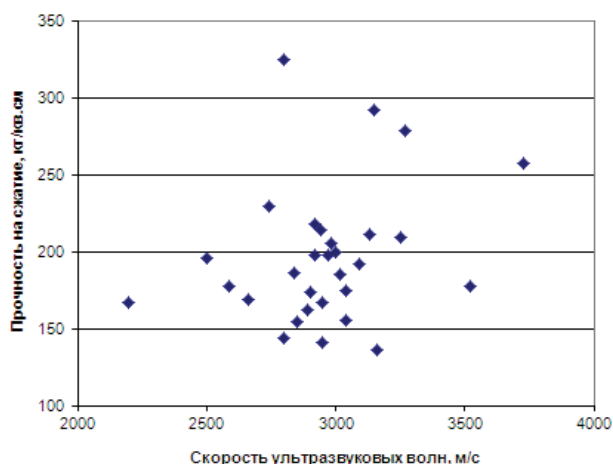


Рисунок 6. Зависимость прочности на сжатие «ложковых» кернов от скорости распространения ультразвуковых волн

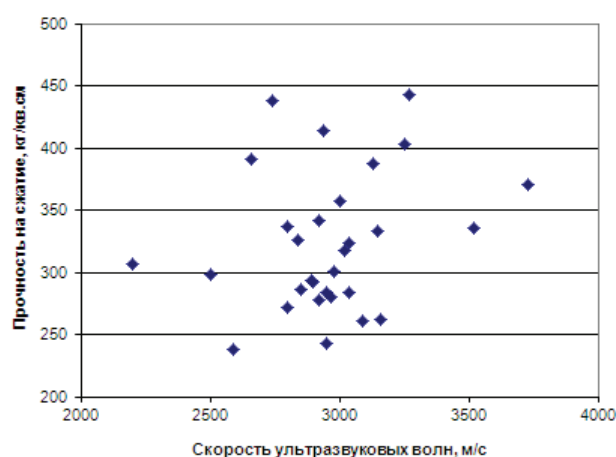


Рисунок 7. Зависимость прочности на сжатие «постельных» кернов от скорости распространения ультразвуковых волн

По приведенным рисункам видно, что явная связь между измеряемыми параметрами отсутствует. Попытки найти корреляцию между величинами, полученными в ходе эксперимента, не увенчались успехом.

Заключение

По результатам исследований, выполненных авторами, можно сформулировать следующие выводы.

1. Использование при обследовании зданий методов неразрушающего контроля, применяемых для бетона, недопустимо для определения прочности керамического кирпича. Это обусловлено отсутствием тесной связи между измеряемыми параметрами и прочностью.
2. Методы неразрушающего контроля можно использовать для грубой оценки прочности кирпичей, а также в случаях, когда имеется возможность построения частных градуировочных зависимостей, например, в заводских условиях.

3. По результатам экспериментов прочность кирпича на сжатие в различных направлениях существенно отличается. При этом значение прочности, полученной по испытаниям кернов, отобранных из ложков, ниже, а кернов, отобранных из постели, выше прочности, полученной стандартными испытаниями.
4. Отношение прочности образцов, отобранных из ложка, к прочности, определенной по стандартной методике, составляет 0,77-0,78.

Приведенные результаты экспериментов являются лишь началом исследований авторов на данную тему. В ближайшее время планируется выполнение работы с большей выборкой и с учетом различных факторов. Авторы будут признательны за советы, предложения и конструктивную критику, полученную от коллег на тему исследования.

Литература

1. Онищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.-Л.: Главредстройлит, 1937. 292 с.
2. Гроздов В. Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб.: Издательский Дом KN+, 2001. 140 с.
3. Гнедина Л. Ю. Экспериментальное определение прочностных характеристик различных видов кирпича и кирпичной кладки при центральном сжатии // Строительные материалы. 2007. №12. С. 18-19.
4. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Cracking simulation of brick-masonry elements subjected to the double flat-jack test // Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction. 2008. SAHC08 1. Pp. 367-374.
5. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Historical brick-masonry subjected to double flat-jack test: Acoustic emissions and scale effects on cracking density // Construction and Building Materials. 2009. No. 23 (8). Pp. 2813-2820.
6. Ramos L. F., Sharafi Z. Tube-jack testing for irregular masonry walls: First studies // Advanced Materials Research. 2010. No. 133. Pp. 229-234.
7. Acito M., Binda L., Cardani G. Experimental and numerical study on the application of the flat-jack tests to masonry walls // Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction. SAHC08 2. Pp. 875-883.
8. Binda L., Tiraboschi C. Flat-jack test; as a slightly destructive technique for the diagnosis of brick and masonry structures // Int. Journal for Restoration of Buildings and Monuments. 1999. No. 5. Pp. 449-472.
9. Gregorczyk P., Lourenco P. B. A review on Flat-jack testing // Engenharia Civil. 2000. №9. Pp. 39-50.
10. Житушкин В. Г., Кучеров В. Н. Определение прочности кладки из кирпича в натуральных условиях // Жилищное строительство. 2001. №9. С. 11-12.
11. Гучкин И. С., Артюшин Д. В. Определение прочности (марки) керамического кирпича в конструкциях неразрушающим методом // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. №1. С. 103-104.
12. Руководство по определению прочности кирпичной кладки неразрушающим методом пластических деформаций / Куб ГУ. Краснодар, 1999. 15 с.
13. Brozovsky J., Zach J. Non-destructive Testing of Solid Brick Compression Strength in Structures // IV Conferencia Panamericana de END. Buenos Aires. 2007. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/1.pdf> (дата обращения: 15.04.2012).
14. Белов В. В., Деркач В. Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7(17). С. 14-20.
15. Деркач В. Н., Жерносек Н. М. Методы оценки прочности каменной кладки в отечественной и зарубежной практике обследования зданий и сооружений // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. № 3(28). С. 135-143.
16. Улыбин А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4(22). С. 10-15.
17. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. М.: ЦНИИСК им В. А. Кучеренко, 1988. 36 с.
18. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений. М.: ЦНИИСК им В. А. Кучеренко, 1984. 36 с.

**Алексей Владимирович Улыбин, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812)535-57-82; эл. почта: ulybin@mail.ru

Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений