



## Стандартная и альтернативная методики определения прочности кирпича при обследовании зданий и сооружений

А.В. Улыбин<sup>1</sup>, С.В. Зубков<sup>2</sup>, О.Ю. Сударь<sup>3</sup>, Е.А. Лаптев<sup>4</sup>

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

### Информация о статье

УДК 691.421

### История

Подана в редакцию 6 декабря 2013  
Оформлена 18 марта 2014  
Согласована 20 марта 2014

### Ключевые слова

прочность кирпича;  
обследование каменных конструкций;  
испытание кирпичной кладки;  
выбуривание кернов;  
разброс прочности кирпича

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены различные методики определения прочности кирпича при обследовании каменных зданий и сооружений. Описаны их преимущества и недостатки. Представлены результаты определения прочности кирпича различными методами на реальных объектах. Выполнена оценка разброса значений прочности кирпичей, испытанных по стандартной методике и цилиндрических образцов, выбуренных из кладки. Представлены результаты экспериментов по испытанию кирпича различными методами, выполненные на образцах, отобранных из конструкций и приобретенных на кирпичном заводе.

В результате исследования современного кирпича выявлено наличие связи между прочностью образцов, выбуренных из ложковых граней кирпичей, и прочностью, полученной по стандартной методике.

### Содержание

1.	Введение	10
2.	Обзор литературы	10
3.	Цель работы	11
4.	Разброс значений прочности кирпича при обследовании зданий и сооружений	11
5.	Связь между значениями прочности кирпича по двум методикам	13
6.	Заключение	14
	English version	17

1

*Контактный автор:*

+7 (921) 777 4516, ulybin@mail.ru (Улыбин Алексей Владимирович, к.т.н., доцент)

2

+7 (921) 387 7034, svzubkov@mail.ru (Зубков Сергей Владимирович, инженер)

3

+7 (906) 241 0130, sudarolga@mail.ru (Сударь Ольга Юрьевна, студент)

4

+7 (981) 879 5540, egor.gorchak@gmail.com (Лаптев Егор Александрович, студент)

## 1. Введение

При обследовании каменных зданий и сооружений в процессе сбора исходных данных для поверочного расчета основной задачей является определение прочностных характеристик материалов, из которых они возведены. В нашей стране согласно нормативным документам до 1 января 2014 г. был регламентирован лишь один метод определения прочности кирпича по ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения прочности при сжатии и изгибе» с дополнениями по ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия». Данный метод с учетом дополнений заключается в испытании на сжатие двух целых кирпичей, уложенных постелями друг на друга с выравниванием постелей путем шлифования. Косвенный ультразвуковой метод, регламентированный для определения прочности силикатного кирпича ГОСТом 24332-88 «Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности при сжатии», здесь не рассматривается.

Указанный метод обладает рядом недостатков. Трудоемким является процесс по выравниванию поверхностей, особенно старых кирпичей дореволюционного изготовления, а при использовании данного метода в ходе обследования зданий ситуация существенно осложняется необходимостью отбора целых кирпичей из кладки. Кроме того, отобрать поврежденный кирпич, например, подвергшийся размораживанию, крайне трудно, и практически невозможно без существенного ослабления конструкции. Отбор, как правило, производится из наименее нагруженного участка конструкции. Имеются и другие недостатки.

## 2. Обзор литературы

1 января 2014 г. введен в действие ГОСТ 32047-2012 «Кладка каменная. Метод испытания на сжатие». Данный стандарт подготовлен с учетом требований Еврокода EN 1052-1-2009 «Методы испытаний кладки. Часть 1. Определение предела прочности при сжатии», а также EN 772-1 «Методы испытания элементов кладки. Часть 1. Определение предела прочности при сжатии». EN 1015-1 «Методы испытания кладочного раствора. Часть 1. Определение предела прочности отвердевшего раствора при изгибе и сжатии». Сущность стандарта заключается в испытании образцов каменной кладки нагрузкой, приложенной перпендикулярно горизонтальным швам, до ее разрушения и определение ее прочности на сжатие. Данный стандарт разработан в связи с широким внедрением в практику строительства большого количества новых типов кладочных материалов, в том числе выпускаемых по зарубежным технологиям, а также в связи с необходимостью гармонизации методов испытаний с европейскими нормами. Применение данного стандарта при обследовании зданий и сооружений напрямую достаточно затруднительно. Сложности возникают с оборудованием для испытаний кладки непосредственно на объекте, иностранные приборы не внедрены в достаточной степени, а производство отечественных отсутствует. Кроме того трудно реализовать непосредственно на объекте отдельные требования испытаний. Например, требование, чтобы подушки пресса были больше образца кладки.

На сегодняшний день, помимо стандартного метода, исследуются и применяются на практике рядом организаций различные методики определения прочности кирпича на сжатие, в том числе и неразрушающего контроля.

Однако, методы неразрушающего контроля прочности кирпича в нашей стране не регламентированы (помимо упомянутого ранее ГОСТ 24332-88), а погрешность их измерения очень высока [1-2], тем более на таком неоднородном материале как керамический кирпич пластического формования. Применение неразрушающих методов контроля допустимо только для качественной оценки прочности кирпича [1,3] в совокупности с разрушающими методами и непосредственным испытанием конструкций [4-5]. Несмотря на это рядом авторов рассматривается возможность самостоятельного применения неразрушающих методов контроля прочности керамического кирпича [6-7].

Существует иной метод определения прочности кирпича, упоминаемый в рекомендациях [8-9], работе [10] и исследуемый авторами [1]. Он заключается в отборе образцов цилиндрической формы (кернов). Метод заключается в выбуривании образцов из ложковых граней кирпичей, торцовке, обработке шлифованием и испытании на сжатие. Неоспоримым преимуществом данного метода перед стандартной методикой является возможность значительной выборки образцов, за счет менее трудоемкого процесса отбора, обработки и незначительного разрушения конструкций. Однако применение данного метода при обследовании исторических зданий вызывает ряд вопросов, связанных с неоднородностью материала даже в пределах одного кирпича, вызванных его расслоением, разной степенью обжига и прочим.

### 3. Цель работы

Целью настоящей работы является анализ и сравнение стандартной и альтернативной (испытание кернов) методик определения прочности кирпича при обследовании каменных зданий, а также установление возможности и условий применения метода испытания кернов на практике.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявить преимущества и недостатки применяемых методов.
2. Определить точность и границы применения методов.
3. Выявить наличие или отсутствие связи между прочностью кирпича, полученной по различным методикам.

### 4. Разброс значений прочности кирпича при обследовании зданий и сооружений

Хотелось бы остановиться на одном из недостатков стандартного метода, особенно характерного для кирпичей исторических зданий - большой разброс полученных значений прочности. Анализ результатов испытаний усугубляется, как правило, малой выборкой образцов, ввиду трудоемкости их извлечения, и как следствие большим коэффициентом вариации ( $V$ ) полученных результатов.

Авторами выполнен сбор и анализ имеющихся данных, полученных при испытании по стандартной методике кирпичей, отобранных из кладок нескольких исторических зданий Санкт-Петербурга при их техническом обследовании. В ходе анализа установлено, что выборка образцов, как правило, не превышала 10 кирпичей, а полученный разброс значений прочности на сжатие характеризовался коэффициентом вариации достигающим 45%. В качестве примера можно привести данные, полученные при обследовании Шуваловского дворца в Санкт-Петербурге. Прочность на сжатие десяти отобранных кирпичей (рис.1) варьируется в пределах от 1,11 до 9,92 МПа и характеризуется коэффициентом вариации  $V=45,8\%$ . То же самое наблюдается и при испытании кирпичей, отобранных при обследовании одного из корпусов Смольного университета ( $R=7,9-38,2$  МПа,  $V=44,6\%$ ), а также общественного здания на 17-й линии Васильевского острова ( $R=6,2-12,8$  МПа,  $V=31\%$ ). Очевидно, что для получения адекватного значения прочности кирпичной кладки в исторических зданиях требуется значительно увеличивать выборку образцов. Это в большинстве случаев затруднительно, в том числе ввиду минимизации повреждений конструкции, особенно на объектах, являющихся памятниками архитектуры.



Рисунок 1. Кирпичи для испытания по стандартной методике

Что же касается разброса значений при альтернативном методе определения прочности кирпича, путем испытания выбуренных кернов, то авторами в научных целях был внедрен данный метод на некоторых объектах [11], в том числе при обследовании вышеупомянутого Шуваловского дворца. При проведении обследования сводов которого было отобрано и испытано на сжатие 37 кернов (рисунки 2, 3).



Рисунок 2. Керны, отобранные из свода



Рисунок 3. Испытание образцов

Разброс полученных значений характеризовался коэффициентом вариации 32,5%, что оказалось ниже, чем при испытании стандартной методикой, но, тем не менее, достаточно высоким.

Таким образом, прочность кирпичей, отобранных из зданий исторической застройки, в любом случае характеризуется большим разбросом значений, что сказывается на достоверности определения расчетного сопротивления кладки в целом. В связи с этим наиболее достоверным способом определения прочности кирпичной кладки зданий исторической застройки может являться непосредственное испытание участка конструкции, например, системой «плоских домкратов» (Flat-Jack Testing), широко распространенной за рубежом [12-22]. На сегодняшний день в России данная методика не нашла широкого внедрения и в необходимой степени не проработана. Кроме того, не каждый заказчик обследования будет согласен на условия испытания, а именно на стоимость проведения работ и разрушение (повреждение) испытываемого участка стены [23], который впоследствии необходимо в той или иной степени усилить.

Несмотря на достоинство метода плоских домкратов с точки зрения интегральной оценки прочности кладки, есть еще один его недостаток, помимо указанных выше. Испытание производится выборочно в пределах испытываемого участка стены. Кроме того, сложно однозначно определить участок испытания. Например, кладка наименьшего по сечению простенка, подлежащего, как правило, расчету, не обязательно будет иметь наименьшую прочность. Это связано с тем, что кладка зданий исторической застройки часто выполнена из разнородных материалов (как камня, так и раствора), в том числе за счет наличия реконструированных (усиленных) в разные периоды участков. Для обоснования данного тезиса приведем два примера.

Пример №1. При обследовании здания по адресу Невский пр. д.136 с целью определения возможности надстройки авторами произведен отбор кернов из кирпича кладки (рис 4). Отбор выполнен из всех простенков первого этажа лицевого фасада. При отборе выявлено, что кладка выполнена из трех видов керамического кирпича: двух видов керамического полнотелого, предположительно дореволюционного изготовления, и кирпича с дырчатыми пустотами, изготовленного в советский период и использованного для усиления поврежденных участков кладки. Необходимо отметить, что фасад здания оштукатурен и разнородность кладочного материала выявлена только за счет большого числа отбираемых кернов.

Пример №2. При обследовании здания по адресу ул. Жукова, д. 17, лит А, выполненного для проверки его аварийности, установленной предыдущим обследованием, выполнен отбор 30 кернов из кладки стен в уровне первого этажа (рисунок 5). Такая выборка образцов позволила установить, что в целом прочность кирпича имеет большой разброс в пределах 15,3 – 59,2 МПа. Однако по результатам испытаний было выявлено, что разброс прочности обусловлен наличием кирпича разных изготовителей. При анализе данных четко выделены две группы кирпичей, использованных в кладке. Первая группа имела среднюю прочность в диапазоне 15,3-27,0 МПа, а вторая 36,1-59,2МПа.



Рисунок 4. Участки отбора проб из стен здания по адресу: Невский пр. д.136



Рисунок 5. Участки отбора проб из стен здания по адресу: ул. Жукова, д.17

Из приведенных примеров видно, что помимо оценки собственно прочности материалов кладки очень важно знать разброс ее значений, вызванный как неоднородностью прочности кирпичей одного вида, так и наличием в кладке кирпичей разных видов. Особенно это актуально для кладки старых зданий. Кроме того существуют конструкции, отбор из которых целых кирпичей или испытание кладки в натуре крайне затруднительно или невозможно. Примерами таких конструкций являются своды, столбы или простенки с малыми габаритами поперечного сечения. Для выявления разброса прочности и выявления участков испытания метод отбора кернов представляется оптимальным по причинам, указанным выше.

В случае с испытанием современного кирпича ситуация несколько иная. Авторами поставлен ряд экспериментов по испытанию современных кирпичей по стандартной методике и выбуриванием кернов. Исследование выполнено на образцах как отобранных на объектах, так и приобретенных на кирпичном заводе.

Для оценки разброса значений прочности, полученной по стандартной методике, проведен анализ результатов испытаний кирпичей, отобранных с различных объектов. Полученный разброс значений характеризовался небольшим коэффициентом вариации в пределах  $V=6-12\%$ .

Для оценки разброса значений прочности кернов, выбуренных из ложков кирпичей, был поставлен опыт с шестью марками кирпича, наиболее часто применяемых при строительстве: М150-М500. По результатам испытаний разброс значений прочности характеризовался коэффициентами вариации  $V=6-16\%$ .

Таким образом, и стандартная методика и испытание кернов, в случае с современным кирпичом, дают относительно небольшой разброс значений. Однако альтернативный метод определения прочности современного кирпича является предпочтительнее стандартного, ввиду его меньшей трудоемкости, большей выборки, меньшего повреждения конструкций и возможности отбора проб из нагруженных участков.

## **5. Связь между значениями прочности кирпича по двум методикам**

Основной задачей, решение которой позволит применять метод испытания кернов на практике является установление связи между прочностью образцов - кернов и прочностью, полученной по стандартной методике. Решение данной задачи и является целью научных исследований, выполняемых авторами.

В 2012 г. авторами поставлен эксперимент, описанный в работе [1], по выявлению связи между прочностью кернов и прочностью кирпича, полученной по стандартной методике, на трех марках керамического кирпича М150, М20, М250. В результате эксперимента установлена тесная связь между прочностью, определенной по различным методикам, характеризующаяся коэффициентом 0,77.

В 2013 г. авторы поставили схожий эксперимент, но с большей выборкой. Для опыта было приобретено на заводе 80 керамических кирпичей одной марки. Из них в лабораторных условиях изготовлено 240 образцов-кернов, выбуренных ортогонально ложковым граням кирпичей, и изготовлено 40 образцов для испытания по стандартной методике. Все образцы высушены до постоянной массы, чтобы избежать влияния влажности на конечный результат, что обосновано в работе [21].



Рисунок 6. Часть выбуренных образцов-кернов



Рисунок 7. Образцы для испытания по стандартной методике



Рисунок 8. Испытание стандартного образца

В ходе обработки результатов испытания установлено, что средняя прочность образцов, испытанных по стандартной методике, составила 40 МПа. В то же время выявлен большой разброс значений прочности, которая варьируется в пределах 28,7-50,9 МПа. Среднее значение прочности цилиндрических образцов составило 28,5 МПа с разбросом значений от 17,9 до 55,3 МПа.

Таким образом, отношение среднего значения прочности цилиндрических образцов к среднему значению прочности образцов, испытанных по стандартной методике составляет 0,72. Связь между прочностью, полученной по разным методам испытания, близка к результату прошлых испытаний (0,77). Однако, учитывая отличие полученных коэффициентов, можно сделать вывод о недопустимости оперирования только средними значениями прочности. Необходимо проведение статистической обработки полученных результатов, а также оценка влияния неучтенных в эксперименте дополнительных факторов.

## 6. Заключение

В результате выполненных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Результаты испытания кирпича, отобранного из кладки зданий исторической застройки, на сжатие по стандартной методике и результаты испытания цилиндрических образцов характеризуются значительным разбросом значений. Это связано с высокой неоднородностью материала в пределах одного кирпича, а также применением в кладке разных видов кирпичей.
2. Наиболее достоверным способом определения прочности кирпичной кладки исторической застройки представляется непосредственное испытание участка кладки. Однако выбор участка кладки, подлежащего испытанию и впоследствии расчету, не всегда очевиден, ввиду разнородности применяемого материала. Для выявления разброса прочности и участков непосредственного испытания конструкции метод отбора кернов представляется оптимальным.

3. Прочность современного кирпича характеризуется значительно меньшим разбросом значений и низким коэффициентом вариации от 6 до 16%.
4. Наблюдается связь между прочностью кирпича по стандартной методике и прочностью цилиндрических образцов, выбуренных из современного кирпича. Тем не менее, для установления зависимости между двумя параметрами необходимо учесть иные, помимо влажности, факторы, влияющие на конечный результат. Кроме того, требуется провести качественную статистическую обработку результатов исследования.

Данными вопросами и планируют заниматься в дальнейшем авторы в своих научных исследованиях.

### Литература

1. Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 3. С. 29-34.
2. 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.
3. Тележкин В.Ф., Угаров П.А. Ультразвуковая система для экспресс-анализа технических характеристик кирпича // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2000. № 1. С. 171-180.
4. Multi-technique approach for the assessment of historical masonry constructions / Fernandes F.M., Ramos L.F., Manning E., Ferreira J., Mendes P // 10<sup>th</sup> International Conference on Damage Assessment of Structures. Dublin, Ireland. 2013. Vol. 569-570. Pp.1249-1256.
5. Mechanical characterization of rubble stone masonry walls using non and minor destructive tests / Lombillo I., Thomas C., Villegas L., Fernández-Álvarez J.P., Norambuena-Contreras J. // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 43. Pp. 266-277.
6. Житушкин В.Г., Кучеров В.Н. Определение прочности кладки из кирпича в натуральных условиях // Жилищное строительство. 2001. № 9. С. 11-12.
7. 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.
8. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. М.: ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 1988. 36 с.
9. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений. М.: ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 1984. 36 с.
10. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб: Издательский Дом KN+, 2001. 140 с.
11. Улыбин А.В., Зубков С.В. Результаты обследования жилого корпуса в составе «Комплекса зданий Студенческого городка политехнического университета» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 5. С. 6-16.
12. 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.
13. 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. №23 (8). Pp. 2813-2820.
14. Ramos, L.F., Sharafi, Z. Tube-jack testing for irregular masonry walls: First studies // Advanced Materials Research. 2010. №133. Pp.229-234.
15. 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.
16. 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. Zurich, 1999. № 5. Pp.449-472.
17. Gregorczyk P., Lourenco P.B. A review on Flat-jack testing // Engenharia Civil. 2000. № 9. Pp. 39-50.
18. Bartoli, G., Betti, M., Giordano, S. In situ static and dynamic investigations on the "Torre Grossa" masonry tower // Engineering Structures. 2013. Vol. 52. Pp. 718-733.
19. Белов В.В., Деркач В.Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7(17). С.14-20.

20. Micro-destructive flat-jack test for the diagnosis of historic masonry / Nobile L., Gentilini C., Bartolomeo V., Bonagura M. // *Key Engineering Materials*. 2010. Vol. 417-418. Pp. 741-744.
21. Andreini M., De Falco A., Giresini L., Sassu M. Mechanical characterization of masonry walls with chaotic texture: Procedures and results of in-situ tests // *International Journal of Architectural Heritage*. 2014. Vol. 8. Pp. 376-407.
22. Lombillo I.A., Villegas L.A., Fodde E.B., Thomas C. In situ mechanical investigation of rammed earth: Calibration of minor destructive testing // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 51. Pp. 451-460.
23. HM of historic damaged churches / Boscato G., Dal Cin A., Russo S., Sciarretta F. S. // 2<sup>nd</sup> Global Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering, GCCSEE 2013; Shenzhen; China. Vol. 838-841. Pp. 2071-2078.
24. Улыбин А.В., Старцев С.А., Зубков С.В. Контроль влажности при обследовании каменных конструкций // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 7(42). С.32-39.



## Standard and alternative methods of determination of the strength of brick at inspection of buildings and structures

A.V. Ulybin<sup>1</sup>, S.V. Zubkov<sup>2</sup>, O.U. Sudar<sup>3</sup>, E.A. Laptev<sup>4</sup>

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.*

### ARTICLE INFO

### Article history

Received 6 December 2013  
Received in revised form 18 March 2014  
Accepted 20 March 2014

### Keywords

strength of brick;  
inspection of stone structures;  
test of masonry;  
coring;  
dispersion of strength of a brick

### ABSTRACT

Methods of determining the strength of bricks at inspection of stone buildings and structures are considered in this article. Their advantages and disadvantages are described. Results of determination of the strength of a brick by various methods on real objects are presented. The assessment of dispersion of strength of a brick tested by a standard method and cylindrical samples drilled from masonry is executed. Results of experiments on brick test by various methods, executed on the samples selected from structures and acquired at brick factory, are presented.

The connection between the strength of samples, coring from stretcher face of bricks, and strength, received by a standard method, is revealed as a result of research of a modern brick.

1

*Corresponding author:*

+7 (921) 777 4516, ulybin@mail.ru (Aleksey Vladimirovich Ulybin, Ph.D., Associate Professor)

2

+7 (921) 387 7034, svzubkov@mail.ru (Sergey Vladimirovich Zubkov, Engineer)

3

+7 (906) 241 0130, sudarolga@mail.ru (Olga Yurevna Sudar, Student)

4

+7 (981) 879 5540, egor.gorchak@gmail.com (Egor Aleksandrovich Laptev, Student)

## 1. Introduction

The main objective at inspection of stone buildings and structures in the process of collecting initial data for the check calculation is the determination of the strength characteristics of materials from which they are constructed. Only one method of determination of the strength of brick in our country before January 1, 2014 had regulated according to normative documents with GOST 8462-85 «Materials wall. Methods of determination the compressive strength and transverse strength» with additions in accordance with GOST 530-2012 «Brick and stones ceramic. General specifications». This method taking into account additions consists in test for compression of two full bricks laid on flat at each other with alignment of beds by grinding. The indirect ultrasonic method regulated for determination of the strength of a silicate brick by state standard specification 24332-88 "Brick and stones silicate. The ultrasonic method of determination of the strength at compression" isn't considered here.

The specified method has some drawbacks. Process of leveling a surface is time-consuming, especially old bricks of pre-revolutionary production. When this method uses during inspection of buildings the situation significantly becomes complicated by the need of selection of the full bricks from a laying. Besides, to select the damaged brick, for example, undergone to defrosting, extremely difficult and it is almost impossible without essential weakening of the construction. Selection, as a rule, is made from the least loaded area of the construction. There are also other disadvantages.

## 2. Literature review

The GOST 32047-2012 «Masonry stone. Test Method for Compress» was introduced in January 1, 2014. This standard has been prepared to meet the requirements Evrokod EN 1052-1-2009 «Test methods masonry. Part 1. Determination of compressive strength», as well as EN 772-1 «Test methods masonry elements. Part 1. Determination of compressive strength». EN 1015-1 «Test methods for masonry mortar. Part 1. Determination of tensile strength of cured solution flexural and compression». The essence of the standard is to test samples of masonry load applied perpendicular to the horizontal seams, before its destruction, and the definition of its compressive strength. This standard was developed in connection with the wide introduction in practice of construction of many new types of masonry materials, including produced by foreign technologies, as well as due to the need for harmonization of test methods with European norms. Application of this standard at the examination of buildings and structures directly rather difficult. Difficulties arise with the equipment for the testing masonry directly on the object, foreign devices are not implemented sufficiently, and there is no domestic production. Also difficult to implement on-site individual test requirements. For example, the requirement that the press were more pillows sample masonry.

Today, besides the standard method, different methods of determination of strength of brick compression, including non-destructive testing, are investigated and applied in practice by a number of organizations.

Non-destructive testing the strength of bricks in our country aren't regulated (besides mentioned before GOST 24332-88), and the error of their measurement is very high [1-2], especially at such an inhomogeneous material as ceramic brick of plastic forming. Application of non-destructive testing methods is admissible only for qualitative assessment of the strength of bricks [1,3] in aggregate with destructive methods and direct test of structures [4-5]. Despite it a number of authors consider possibility of independent use of non-destructive testing methods of the strength of ceramic brick [6-7].

There is other method of determination of the strength of the brick, mentioned in recommendations [8-9], work [10] and investigated by authors [1]. It consists in sampling of a cylindrical form (cores). The method consists in a coring of samples from stretcher face of briks, trimming, abrasive machining and compression testing. The possibility of considerable selection of samples, at the expense of less labor-intensive process of selection, processing and insignificant destruction of construction, is indisputable advantage before a standard method. However, the application of this method at inspection of historical buildings causes a number of questions, connected with heterogeneity of a material even within one brick, caused by its segregation, different degree of brick burning and other things.

### 3. The purpose of work

The analysis and comparison of standard and alternative (test cores) methods for determining the strength of bricks during the examination of stone buildings, as well as determining the possibility and conditions of the test method cores in practice, is the purpose of this work.

The following tasks were set to achieve this goal:

4. Identify advantages and disadvantages of the applied methods.
5. Determine the accuracy and limits of application methods.
6. Identify the presence or absence of a link between the strength of brick, obtained by various methods.

### 4. Dispersion of strength of a brick at inspection of buildings and constructions

It would be desirable to stop on one of disadvantages of a standard method, especially characteristic for bricks of historical buildings - a wide dispersion of strength. The analysis of test results is aggravated, as a rule, with small selection of samples, in view of labor input of their extraction, and, as a result, big coefficient of a variation ( $V$ ) received results.

Collecting and the analysis of the available data, obtained by a standard test of bricks, selected from layings of several historical buildings of St. Petersburg at their technical inspection, was executed by authors. During the analysis it is established that selection of samples, as a rule, didn't exceed 10 bricks, and the received dispersion of strength on compression was characterized by coefficient of variation which amount 45%. As an example, it is possible to give the data obtained at inspection of the Shuvalovsky palace in St. Petersburg. The compressive strength of ten selected bricks (fig. 1) varies ranging from 1.11 to 9.92 MPa and is characterized by a coefficient of variation  $V = 45,8\%$ . The same is observed at test of the bricks which have been selected at inspection of one of cases of Smolny University ( $R=7,9-38,2\text{MPa}$ ,  $\% V=44,6$ ), and also the public building on 17th Line of Vasilyevsky island ( $R=6,2-12,8\text{MPa}$ ,  $V=31\%$ ). It is obvious that it is required to increase selection of samples considerably for obtaining adequate value of durability of masonry in historical buildings. It is in most cases difficult, including in view of minimization of damages of structure, especially on the objects being monuments of architecture.



Figure 1. Bricks for test by a standard technique

As for the spread of values in an alternative method of determining the strength of bricks, by testing drilled cores, this method was introduced by authors in the scientific purposes on some objects [11], including at inspection of the above-mentioned Shuvalovsky palace. The 37 cores were selected and tested for compression at inspection of the arches (figure 2, 3).



Figure 2 The cores selected from the arch



Figure 3 Test of samples

The dispersion of the received values was characterized by coefficient of a variation of 32,5% that was lower, than at test by a standard method, but, nevertheless, to rather high.

The dispersion of the received values was characterized by coefficient of a variation of 32,5% that was lower, than at test by a standard method, but, nevertheless, to rather high. Thus, the strength of the bricks which have been selected from buildings of historical building, in any case is characterized by a wide spread of values that affects reliability of determination of design strength of masonry as a whole. In this regard direct test of a site of construction, for example, system "flat jacks" (Flat-Jack Testing), widespread abroad [12-22] can be the most reliable way to determine the strength of masonry of buildings of historical building. Today this method didn't find widespread introduction in Russia and not worked in the necessary extent. Besides, not each customer of inspection will be agrees to test conditions, namely, to cost of the work and destruction (damage) of a tested site of a wall [23] which needs to be strengthened subsequently to some extent.

Despite the advantage of a method of flat jacks from the point of view of an integrated assessment of the strength of masonry there is one shortcoming, besides stated above. Test is made selectively within a tested site of a wall. Furthermore, it is difficult to identify unambiguously the test area. For example, the masonry of the smallest pier on the section, as a rule, subject to calculation, won't be obligatory has the lowest strength. It is connected with that the masonry of buildings of historical building is often executed from diverse materials (both a stone and solution), including at the expense of existence of the reconstructed sites (strengthened) in the different periods. We will give two examples to substantiate this thesis.

Example №1. The selection of cores from brick masonry was made by authors at inspection of building to the address of Nevsky prospect 136 for the purpose of definition of possibility of a superstructure (figure 4). Selection is executed from all partitions of the first floor of a facial facade. At selection it is revealed that the masonry is executed from three types of a ceramic brick: two types of ceramic solid, allegedly pre-revolutionary production, and brick with the perforated emptiness, made during the Soviet period and used for strengthening of the damaged sites of masonry. It should be noted that the facade of the building is plastered and heterogeneity of a masonry material is revealed only at the expense of a large number of selected cores.

Example №2. The selection of 30 cores is executed from masonry of walls in level of the first floor at inspection of building to the address of Zhukov street 17 A, executed for check of its accident rate, established by the previous inspection (figure 5). Such selection of samples allowed to establish that as a whole strength of brick has a wide spacing within 15,3 – 59,2 MPa. However, it was revealed by the test results that the dispersion of strength is caused by existence of a brick of different manufacturers. The two groups of the bricks used in masonry are accurately allocated in the data analysis. The first group had average strength in the range 15,3-27,0 MPa, and the second 36,1-59,2 MPa.



Figure 4. Sampling sites from building walls to the address:  
Nevsky prospect 136



Figure 5. Sampling sites from building walls to the  
address: Zhukova street 17

These examples show that in addition to assessing the actual strength of masonry materials is very important to know the variation of its values, caused both by heterogeneity of the strength of bricks of the one look and the presence of different types of bricks in masonry. It is especially actual for masonry of old buildings. Besides there are structures, selection from which full bricks or masonry test in nature is extremely difficult or impossible. The arches, columns or piers with small dimensions of cross section are the examples of such structures. The method of selection of cores is represented optimum for the reasons, stated above, for identification the dispersion of strength and identification the test sites.

In a case with test of a modern brick a situation a bit different. Authors put a number of experiments to test the modern bricks by a standard method and coring. Research was executed on samples both selected on objects, and acquired at brick factory.

The analysis of test results of bricks, which have been selected from various objects, was made for an assessment of the dispersion of strength received by a standard method. The received dispersion of strength was characterized by small coefficient of a variation within  $V=6-12\%$ .

The experience with six types of brick most often used in construction: M150-M500, was put to assess the dispersion of strength of cores drilled from a stretcher. On the basis of tests the dispersion of strength was characterized by coefficients of a variation of  $V=6-16\%$ .

Thus, both the standard test method and test of cores, in a case with a modern brick, give rather small dispersion of values. However the alternative method of determination the strength of a modern brick is more preferable standard, in view of its smaller labor input, bigger selection, smaller damage of structure and possibility of sampling from the loaded sites.

## 5. Communication between values of strength of a brick by two methods

The main objective which decision will allow to use a test method of cores into practice, is communication establishment between strength of samples - cores and strength obtained by standard method. The solution of this task also is the purpose of the scientific researches which are carried out by authors.

The experiment described in work [1] was made by authors in 2012 to establish a connection between core strength and strength of brick received by a standard method on three types of a ceramic brick of M150, M20, M250. Close connection between the strength determined by different method, characterized by a coefficient 0,77, was established as a result of experiment.

In 2013 authors made similar experiment, but with bigger selection. 80 ceramic bricks of one type was acquired at the factory for the experiment. 240 samples cores, drilled orthogonally to stretcher, and 40 samples for test by a standard method are made in laboratory condition. All samples were dried up to the constant weight to avoid influence of humidity on the final result that is proved in work [24].



Figure 6. Part-drilled core samples



Figure 7. Samples for testing by the standard method



Figure 8. The test of the standard sample

During processing of the test results revealed that the average strength of the samples tested by the standard method, was 40 MPa. At the same time the wide dispersion of strength which varies within 28,7-50,9 MPa is revealed. Average value of strength of cylindrical samples was 28,5 MPa with dispersion of strength from 17,9 to 55,3 MPa.

Thus, the ratio of the average strength values of cylindrical samples to the average strength of the samples tested by the standard method is 0.72. Communication between the strength obtained by different test methods, is close to the results of previous tests (0,77). However, considering difference of the received coefficients, it is possible to draw a conclusion about the inadmissibility of operating by only average values of strength. Carrying out statistical processing of the received results, and also assessment of influence of additional factors unaccounted in experiment, is necessary.

## 6. Conclusion

As a result of the executed researches it is possible to formulate the following conclusions:

1. The test results of the brick which has been selected from the masonry of historical buildings, on compression by a standard method and test results of cylindrical samples are characterized by considerable dispersion of values. It is connected with high heterogeneity of a material within one brick, and also application in the masonry different types of bricks.
2. The most reliable way to determine the strength of masonry of historical buildings direct test of a site of masonry is represented. However the choice of a site of the masonry which is subject to test and subsequently to calculation isn't always obvious, in view of heterogeneity of an applied material. For identification of dispersion of strength and sites of direct test of construction the method of selection of cores is represented optimum.
3. The strength of a modern brick is characterized considerably by smaller dispersion of values and low coefficient of a variation from 6 to 16%.
4. Communication between brick strength by a standard method and durability of cylindrical samples, drilled of a modern brick is observed. Those not less for dependence establishment between two parameters it is necessary to consider other factors, besides the humidity, influencing at the final result. Besides it is required to carry out high-quality statistical processing of research results.

Authors in the scientific researches plan to be engaged further in the matters.

## References

1. Ulybin A.V., Zubkov S.V. O metodah kontrolja prochnosti keramicheskogo kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzhenij [About the methods of monitoring the strength of a ceramic brick at inspection of buildings and structures] // Magazine of Civil Engineering. 2012. № 3. Pp.29-34. (rus)
2. Derkach V. N., Zhernosek N. M. Metody ocenki prochnosti kamennoj kladki v otechestvennoj i zarubezhnoj praktike obsledovanija zdaniy i sooruzhenij [Methods for assessing the strength of masonry in domestic and foreign practice at inspection of buildings and structures] // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta, 2010 № 3(28). Pp.135-143. (rus)
3. Telezhkin V.F., Ugarov P.A. Ul'trazvukovaja sistema dlja jekspress-analiza tehnicheskikh harakteristik kirpicha [Ultrasonic system for Express-analysis of technical characteristics of a brick] // Izvestija Cheljabinskogo nauchnogo centra UrO RAN. 2000. № 1. Pp. 171-180. (rus)
4. Fernandes, F.M., Ramos, L.F., Manning, E., Ferreira, J., Mendes, P. Multi-technique approach for the assessment of historical masonry constructions // 10<sup>th</sup> International Conference on Damage Assessment of Structures. Dublin, Ireland. 8 July 2013 through 10 July 2013. Vol. 569-570. Pp.1249-1256.
5. Mechanical characterization of rubble stone masonry walls using non and minor destructive tests / Lombillo I., Thomas C., Villegas L., Fernández-Álvarez J.P., Norambuena-Contreras J. // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 43, pp. 266-277.
6. Zhitushkin V.G., Kucherov V.N. Opredelenie prochnosti kladki iz kirpicha v naturnyh uslovijah [Determination of strength of brick masonry in natural conditions] // Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2001. № 9. Pp.11-12. (rus)
7. Guchkin I.S., Artjushin D.V. Opredelenie prochnosti (marki) keramicheskogo kirpicha v konstrukcijah nerazrushajushhim metodom [Determination of strength (mark) of a ceramic brick in the construction of non-destructive method] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvom. 2006. № 1. Pp. 103-104. (rus)
8. Rekomendacii po obsledovaniju i ocenke tehnicheskogo sostojanija krupnopanel'nyh i kamennyh zdaniy [Recommendations for the investigation and assessment of the technical condition of large-panel and stone buildings]. M.: CNIISK im V.A. Kucherenko, 1988. 36 p. (rus)
9. Rekomendacii po usileniju kamennyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Recommendations for strengthening the stone structures of buildings and structures]. M.: CNIISK im V.A. Kucherenko, 1984. 36 p. (rus)
10. Grozdov V.T. Tehnicheskoe obsledovanie stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Technical inspection of construction of buildings and structures]. SPb: Izdatel'skij Dom KN+, 2001. 140 p. (rus)
11. Ulybin A.V., Zubkov S.V. Results of inspection of residential housing in the "Complex Building Campus of Polytechnical University" // Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. № 5. Pp. 6-16. (rus)
12. 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.
13. 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. №23 (8). Pp. 2813-2820.
14. Ramos L.F., Sharafi Z. Tube-jack testing for irregular masonry walls: First studies // Advanced Materials Research. 2010. №133. Pp. 229-234.
15. 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.
16. 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, Zurich, 1999. № 5. Pp.449-472.
17. Gregorczyk P., Lourenco P.B. A review on Flat-jack testing // Engenharia Civil. 2000. № 9. Pp. 39-50.
18. Bartoli G., Betti M., Giordano S. In situ static and dynamic investigations on the "Torre Grossa" masonry tower // Engineering Structures. 2013. Vol. 52. Pp. 718-733.
19. Belov V.V., Derkach V. N. Jekspertiza i tehnologija usilenija kamennyh konstrukcij [The expertise and technology of strengthening of the stone structures] // Magazine of Civil Engineering. 2010. № 7(17). Pp.14-20. (rus)

20. Nobile L., Gentilini C., Bartolomeo V., Bonagura, M. Micro-destructive flat-jack test for the diagnosis of historic masonry // *Key Engineering Materials*. 2010. Vol. 417-418. Pp. 741-744.
21. Andreini M., De Falco A. , Giresini L., Sassu M. Mechanical characterization of masonry walls with chaotic texture: Procedures and results of in-situ tests // *International Journal of Architectural Heritage*. 2014. Vol. 8, pp. 376-407.
22. Lombillo I.A. , Villegas L.A., Fodde E.B., Thomas C. In situ mechanical investigation of rammed earth: Calibration of minor destructive testing // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 51. pp. 451-460.
23. Boscato G., Dal Cin A., Russo S., Sciarretta F. SHM of historic damaged churches. 2nd Global Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering, GCCSEE 2013; Shenzhen; China. Vol. 838-841. Pp. 2071-2078.
24. Ulybin A.V., Starcev S.A., Zubkov S.V. *Kontrol' vlazhnosti pri obsledovanii kamennyh konstrukcij* [Control of moisture at the examination of the stone structures] // *Magazine of Civil Engineering*. 2013.№ 7(42). Pp.32-39. (rus)