

doi: 10.5862/MCE.60.3

## Исследование механических свойств кирпичной кладки методом плоских домкратов

## Assessment of the mechanical properties of brick masonry by a flat-jack method

**Инженер С.В. Зубков,**  
**канд. техн. наук, доцент А.В. Улыбин,**  
**инженер С.Д. Федотов,**  
Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, г. Санкт-  
Петербург, Россия

**S.V. Zubkov,**  
**A.V. Ulybin,**  
**S.D. Fedotov,**  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic  
University, St. Petersburg, Russia

**Ключевые слова:** испытание кладки; плоский домкрат; кирпичная кладка; датчик фиксации деформации; жесткость домкрата; модуль упругости; прочность кладки

**Key words:** masonry testing; flat jack; brick masonry; deformation sensor; stiffness of the jack; elastic modulus; strength of masonry

**Аннотация.** Применяемые в настоящее время в России методы определения механических характеристик кирпичной кладки основаны на определении прочности компонентов, составляющих кладку, с последующими расчетами по эмпирическим зависимостям, которые не позволяют полноценно учесть качество возведения кладки, наличие повреждений и другие факторы. Актуальность определения деформационных свойств кирпичной кладки обусловлена все большим применением вычислительных комплексов для расчета каменных конструкций, в частности, 3D моделирование сводов, куполов, а также тонких облицовочных слоев, при расчете, в том числе, на температурные деформации. Наиболее перспективным методом определения является непосредственное испытание фрагмента кладки в конструкции при помощи плоских домкратов. В статье освещены результаты практического применения данного метода при исследовании деформационных свойств кирпичной кладки. Определены факторы, влияющие на результаты испытаний, в том числе экспериментально установлены коэффициенты жесткости домкратов.

**Abstract.** The modern Russian methods for defining the mechanical characteristics of brick masonry are based on finding the strength of masonry components (brick and mortar). After getting the results of laboratory tests of components, mechanical characteristics of masonry are calculated using empirical formulae. Those formulae, however, cannot take into consideration the presence of damages and other factors. Obtaining the characteristics (strength and deformation) by a direct flat-jack test of masonry fragments on-site looks promising. A widespread use of FEM requires setting accurate deformation features for modeling domes, arches and thin brick outside layer in multilayer walls. Also accurate deformation characteristics are used for calculating temperature loads. The paper gives the results of practical use for the masonry deformation research by the flat-jack test method. The correlation factors are defined and rigidity coefficients of flat-jacks are obtained in the study.

### Введение

При обследовании зданий и сооружений, вне зависимости от целей работ, будь то определение возможности надстройки, переоборудование производства или осуществление капитального ремонта, одной из наиболее важных задач является сбор данных для поверочного расчета конструкций [1, 2]. В случае каменных зданий основным является определение прочностных и деформационных характеристик кирпичной кладки.

В нашей стране, согласно действующим нормативным документам, в частности СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции», прочность каменной кладки определяется по формуле профессора Л.И. Онищика [3] исходя из известных данных о прочности компонентов кладки:

$$R_u = A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2} \cdot R_1}\right) \cdot \gamma,$$

где  $R_u$  – предел прочности кладки;

$R_1, R_2$  – прочность на сжатие камня и раствора соответственно;

$A$  – конструктивный коэффициент, характеризующий максимально возможную, так называемую «конструктивную», прочность кладки;

$a, b, m, n$  – коэффициенты, зависящие от применяемого материала;

$\gamma$  – коэффициент, применяемый при низких растворах.

Деформационные свойства кладки, в частности модуль упругости, определяются из предела прочности путем умножения его значения на упругую характеристику, зависящую от вида примененных материалов.

При обследовании зданий производится отбор образцов кирпича и раствора с последующими лабораторными испытаниями по ГОСТ 8462–85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе» с дополнениями по ГОСТ «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» и ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний».

### ***Методы определения прочностных параметров кладки***

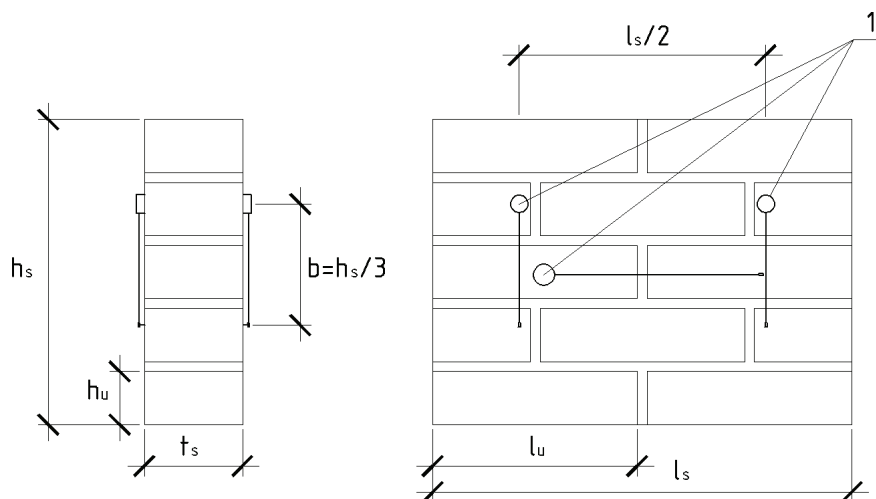
Рассмотренный выше метод отбора проб достаточно трудоемок и имеет ряд недостатков при практическом применении в рамках обследования [4], поэтому многие инженеры и ученые, как в России, так и за рубежом, ищут иные способы определения прочности кладки.

Одни стараются применять методы неразрушающего контроля [5–9], такие как метод пластической деформации, ультразвуковой метод и прочие, что, по мнению авторов, приведет к получению неоднозначных результатов в случае керамического кирпича. Другие исследуют возможность испытания фрагментов кладки в виде кернов диаметром 150...200 мм, выбуренных из кладки [10–11], в специальных обоймах. При этом по результатам исследований описаны сложности, возникающие с кладкой на низкопрочных растворах.

Авторами статьи исследуется альтернативный способ определения прочности кладки [12] путем выбуривания кернов диаметром 58 мм из кирпича с последующим испытанием на сжатие и расчетом по той же формуле профессора Л.И. Онищика. Однако исследования возможности применения данного метода до сих пор продолжаются.

При этом вышеописанные методы сводятся лишь к определению прочностных характеристик компонентов кладки без учета качества ее возведения и наличия повреждений [13]. В ряде источников наличие дефектов возведения кладки и повреждений, возникших при эксплуатации, учитывают применением понижающих коэффициентов, что в практике обследования осуществляется крайне редко.

В 2012 г. вступил в действие ГОСТ 32047–2012 «Кладка каменная. Метод испытания на сжатие», регламентирующий испытание образцов-призм каменной кладки нагрузкой, приложенной перпендикулярно горизонтальным швам, до ее разрушения, и тем самым определение ее прочности на сжатие. Данный норматив подготовлен с учетом требований Еврокода EN 1052–1–2009 «Methods of test for masonry. Part 1. Determination of compressive strength» (Методы испытаний кладки. Часть 1. Определение предела прочности при сжатии), а также EN 772–1 «Methods of test for masonry units. Part 1. Determination of compression strength» (Методы испытания элементов кладки. Часть 1. Определение предела прочности при сжатии) и EN 1015–1 «Methods of test for mortar for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution» (Методы испытания кладочного раствора. Часть 1. Определение предела прочности отвердевшего раствора при изгибе и сжатии). Согласно ГОСТ 32047–2012, необходимо изготовить фрагмент кладки из материалов, аналогичных применяемым при строительстве, и испытать на сжатие (рис.1) в лабораторных условиях.



**Рисунок 1. Испытание фрагмента кладки по ГОСТ 32047–2012: 1 – приборы для измерения деформаций;  $b$  – база измерений деформаций;  $h_s$  – высота образца;  $h_u$  – высота элемента кладки;  $t_s$  – толщина образца;  $l_s$  – длина образца;  $l_u$  – длина элемента кладки**

Таким образом, данный метод скорее предназначен для контроля прочности кладки при возведении здания. Очевидно, что его применение при обследовании зданий и сооружений весьма затруднительно. Во-первых, зачастую отсутствует техническая и юридическая возможность отобрать участок кладки непосредственно из здания. Во-вторых, лабораторий, имеющих техническую возможность провести испытание целого фрагмента кладки, немного. В частности, согласно нормативу требуется, чтобы подушки прессы были больше образца кладки.

В европейских странах, в особенности в Италии, для испытания кладки активно используется метод плоских плит-домкратов (Flat-Jack Testing) [14–22], который наиболее приближен к методу, регламентированному в ГОСТ 32047–2012, однако адаптированному непосредственно для обследования в полевых условиях. Метод плоских домкратов пришел из области механики горных пород. В начале 80–х гг. группой итальянских исследователей данный метод был приспособлен к каменной кладке [23–25], а в начале 90–х в США появились стандарты ASTM C1196 «Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements» и ASTM C1197 «Standard Test Method for In Situ Measurement of Masonry Deformability Properties Using the Flatjack Method».

Однако в России на настоящий момент данный метод не был апробирован, и, соответственно, отсутствуют какие-либо нормативные указания по его применению. Подробная методика испытания методом плоских домкратов представлена в прочих публикациях авторов. Актуальность его применения обусловлена, в частности, повсеместным применением программного 3D-моделирования конструкций из каменной кладки (своды, купола, облицовочные слои и прочие конструкции [26–28]), где одними из важнейших параметров являются прочность кладки и ее модуль упругости.

### Постановка задачи

К задачам данного исследования относятся определение возможности применения метода плоских домкратов в условиях Российской Федерации, а также выявление связи или ее отсутствия между характеристиками кладки, полученными прямыми испытаниями фрагмента кладки непосредственно на конструкции методом Flat Jack Testing и определенными испытанием ее отдельных компонентов по стандартной методике.

### Приборная база

Для достижения указанных задач авторами сконструирована установка для испытания кирпичной кладки методом плоских домкратов в соответствии с ASTM и по аналогии с зарубежными образцами. Изготовлены плоские домкраты по индивидуальному заказу (рис. 2), собрана гидравлическая система, при активной помощи компании ООО «НПП Интерприбор» разработаны датчики фиксации деформаций на основе регистратора для мониторинга трещин с программным обеспечением (рис. 3). База датчиков составляет 290 мм, диапазон измерения – 20 мм, измерения производятся с точностью 1 мкм.

Зубков С.В., Улыбин А.В., Федотов С.Д. Исследование механических свойств кирпичной кладки методом плоских домкратов

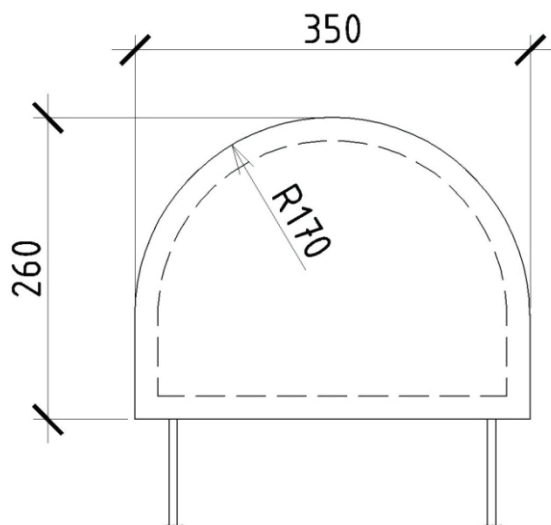


Рисунок 2. Плоский домкрат



Рисунок 3. Датчики фиксации деформаций

Участки расположения крепления датчиков фиксации деформаций приняты в соответствии с требованиями ASTM 1197, руководством по эксплуатации зарубежного аналога и примерами зарубежного использования. В действительности же расположение точек крепления датчиков фиксации деформаций, а именно их база, шаг и пр., может влиять на конечный результат измерений, например, всплеск деформаций на крайних рядах кладки (принцип Сен-Венана), что будет исследовано в дальнейших работах авторов.

### *Исследование жесткости домкратов*

В процессе испытания кладки плоскими домкратами давление, передаваемое на кладку, в действительности будет отличаться от показателей в гидравлической системе. Одной из причин этого явления является жесткость самого домкрата.

При этом необходимо отметить, что несмотря на тот факт, что полная площадь домкрата, исходя из его габаритов, составляет  $760 \text{ см}^2$ , его максимальная активная площадь, то есть та, которой возможна передача давления на кладку, составляет  $\sim 600 \text{ см}^2$  (на рисунке 2 зона выделена пунктиром), что было доказано в процессе калибровки домкрата.

Для оценки жесткости домкратов и ее влияния на результаты испытания был проведен эксперимент. Плоский домкрат зажимался между неподвижной плитой прессы и эталонным динамометром (рис. 4). При помощи насоса в систему подавалось давление, которое фиксировалось электронным манометром. Одновременно с этим фиксировалась нагрузка, передаваемая на динамометр.



Рисунок 4. Определение жесткости домкрата

Калибровка была выполнена для двух домкратов по два раза на каждом. Ее результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты испытаний домкрата в калибровочном прессе**

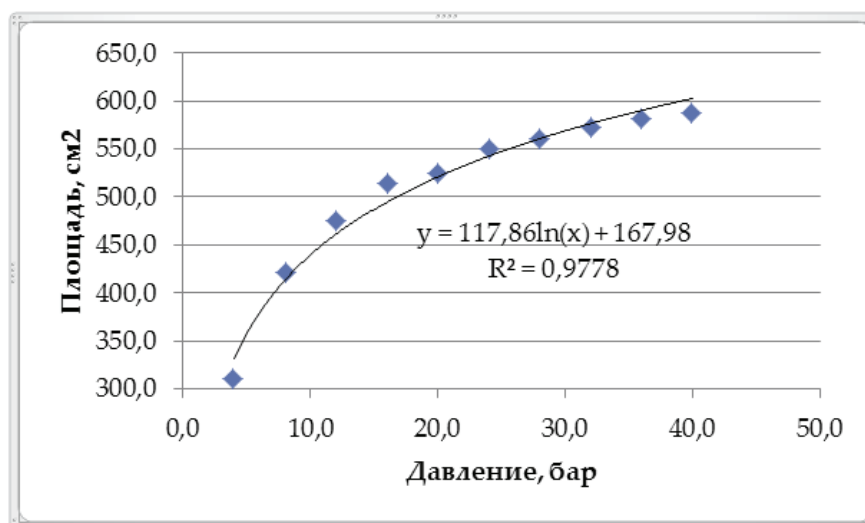
Домкрат №1						Домкрат №2					
Испытание №1			Испытание №2			Испытание №1			Испытание №2		
P, бар	F, кН	S, см <sup>2</sup>	P, бар	F, кН	S, см <sup>2</sup>	P, бар	F, кН	S, см <sup>2</sup>	P, бар	F, кН	S, см <sup>2</sup>
4.0	12.4	310.0	4.0	15.2	380.0	4.0	13.9	347.5	4.0	13.1	327.5
8.1	33.8	419.9	8.2	38.2	468.7	8.1	36.1	448.4	8.2	33.4	409.8
12.0	57.0	475.0	12.2	61.0	500.0	12.1	60.0	495.9	12.2	57.1	468.0
16.0	82.4	515.0	16.0	83.8	523.8	16.0	82.7	516.9	16.0	81.7	510.6
20.0	104.8	524.0	20.0	107.0	535.0	20.0	107.2	536.0	20.0	105.6	528.0
24.0	131.9	549.6	24.0	132.8	553.3	24.0	131.2	546.7	24.0	129.6	540.0
28.0	157.1	561.1	28.0	156.8	560.0	28.0	158.1	564.6	28.0	155.8	556.4
32.0	183.2	572.5	32.0	181.7	567.8	32.0	182.2	569.4	32.0	180.5	564.1
36.0	209.0	580.6	36.0	205.9	571.9	36.0	207.0	575.0	36.0	206.1	572.5
40.0	234.8	587.0	40.0	234.5	586.3	40.0	234.7	586.8	40.0	231.8	579.5

P – давление в системе, бар;

F – нагрузка в динамометре, кН;

S – площадь передачи нагрузки, см<sup>2</sup>

В результате эксперимента установлено, что с увеличением давления площадь домкрата, передающая нагрузку, увеличивается по логарифмической зависимости. В качестве примера представлен график зависимости площади от давления при испытании домкрата №1 (рис. 5). Это связано с наличием у домкрата собственной жесткости.



**Рисунок 5. График зависимости площади передачи нагрузки от давления в системе**

Учитывая вышеописанное, были выведены коэффициенты жесткости домкратов исходя из того, что активная площадь передачи нагрузки должна быть 600 см<sup>2</sup>. Результаты анализа представлены в таблице 2. График влияния жесткости домкрата на результаты представлен на рисунке 6.

Таблица 2. Результаты определения коэффициентов жесткости домкратов

Домкрат №1						Домкрат №2					
Испытание №1			Испытание №2			Испытание №1			Испытание №2		
P, бар	S, см <sup>2</sup>	K	P, бар	S, см <sup>2</sup>	K	P, бар	S, см <sup>2</sup>	K	P, бар	S, см <sup>2</sup>	K
4.0	310.0	0.52	4.0	380.0	0.63	4.0	347.5	0.58	4.0	327.5	0.55
8.1	419.9	0.70	8.2	468.7	0.78	8.1	448.4	0.75	8.2	409.8	0.68
12.0	475.0	0.79	12.2	500.0	0.83	12.1	495.9	0.83	12.2	468.0	0.78
16.0	515.0	0.86	16.0	523.8	0.87	16.0	516.9	0.86	16.0	510.6	0.85
20.0	524.0	0.87	20.0	535.0	0.89	20.0	536.0	0.89	20.0	528.0	0.88
24.0	549.6	0.92	24.0	553.3	0.92	24.0	546.7	0.91	24.0	540.0	0.90
28.0	561.1	0.94	28.0	560.0	0.93	28.0	564.6	0.94	28.0	556.4	0.93
32.0	572.5	0.95	32.0	567.8	0.95	32.0	569.4	0.95	32.0	564.1	0.94
36.0	580.6	0.97	36.0	571.9	0.95	36.0	575.0	0.96	36.0	572.5	0.95
40.0	587.0	0.98	40.0	586.3	0.98	40.0	586.8	0.98	40.0	579.5	0.97

P – давление в системе, бар;

S – площадь передачи нагрузки, см<sup>2</sup>;

K – коэффициент жесткости домкрата

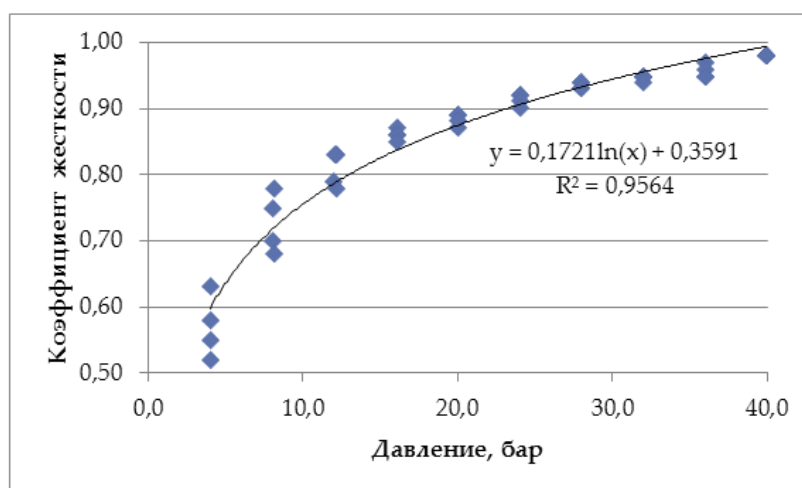


Рисунок 6. График зависимости коэффициента жесткости домкрата от давления в системе

Таким образом, в ходе калибровки установлено, что жесткость домкратов оказывает значительное влияние только при низких давлениях. Получены переходные коэффициенты жесткости домкратов, оценено их влияние на результат испытаний.

### Практическое применение и результаты испытаний

Разработанная установка была апробирована на четырех реальных объектах. При этом перед проведением испытаний из конструкций были отобраны образцы кирпича и раствора для определения прочностных и деформационных характеристик кирпичной кладки по стандартной методике.

Испытание методом плоских домкратов проводилось следующим образом. В кладке друг над другом осуществлялись два пропила, в которые впоследствии устанавливались плоские домкраты. На участке между домкратами монтировались датчики для фиксации деформаций кладки. После этого увеличивалось давление в системе с параллельной фиксацией деформаций кладки.

Фотографии проведения испытания представлены на рисунках 7–8, результаты испытаний сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты испытания кладки

Объект	R камня, кгс/см <sup>2</sup>	R р-ра, кгс/см <sup>2</sup>	E, МПа (СП 15.13330.2012)	E, МПа (Flat-jack)
№1	71	119	2910	5810
№2	188	46	4130	3200
№3	76	115	3070	3040
№4	296	81	6270	7600



Рисунок 7. Испытание кирпичной кладки



Рисунок 8. Процесс трещинообразования

В результате испытаний получены значения деформационных характеристик кирпичных кладок, а именно модули упругости, определенные как расчетом по стандартной методике, так и прямым испытанием методом плоских домкратов.

Полученные модули упругости по стандартной методике и непосредственным испытанием в полевых условиях во многом не совпадают. Разница между результатами, определенными путем испытания методом плоских домкратов, и результатами, полученными по стандартной методике, составляет: объект №1 – 99 %, объект №2 – 22.5 %, объект №3 – 0.9 %, объект №4 – 21 % (указаны проценты от значения модуля упругости, определенного в соответствии с нормами). Это может быть связано с несколькими причинами. Во-первых, при стандартной методике не учитывается качество и состояние швов кладки, что может привести к завышению значения модуля упругости. Во-вторых, при испытаниях методом плоских домкратов не было учтено влияние соседних участков кладки, что, в свою очередь, могло привести к завышению модуля упругости при данном виде испытаний.

Необходимо отметить, что в процессе испытания не удалось довести кладку до потери несущей способности, то есть до состояния, когда деформации увеличиваются при постоянной нагрузке. Это произошло, в частности, по причине достижения предельного значения максимального давления для конструкции домкрата данного типа. Поэтому для определения предела прочности и, следовательно, расчетного сопротивления кладки необходимо определение иных граничных критериев, например, связанных с образованием трещин.

Решение данных проблем и будет являться целью дальнейших исследований авторов.

## Заклучение

1. Применяемые в настоящее время в России методы определения механических характеристик кирпичной кладки основаны на определении прочности компонентов, слагающих кладку, с последующими расчетами по эмпирическим зависимостям, что не позволяет учесть качество возведения кладки и другие факторы. Действующий ГОСТ 32047–2012 на испытание фрагментов кладки практически не применим при обследовании зданий.

2. При обследовании зданий и сооружений наиболее перспективным методом определения механических характеристик каменной кладки в полевых условиях представляется непосредственное испытание кладки методом плоских домкратов.

3. Экспериментальным путем установлены жесткостные характеристики конструкций домкратов. Установлено, что влияние жесткости домкратов на передаваемую нагрузку описывается логарифмической зависимостью.

### Литература

1. Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д., Кукушкина Г.А., Черненко Е.В. Техническое обследование строительных конструкций комплекса производственных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №7(22). С. 194–217.
2. Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д., Закревский А.Ю. Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий // Инженерно-строительный журнал. 2014. №4(48). С. 17–27.
3. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. Москва–Ленинград: Главредстройлит, 1937. 292 с.
4. Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3(29). С. 29–34
5. 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.
6. Житушкин В.Г., Кучеров В.Н. Определение прочности кладки из кирпича в натуральных условиях // Жилищное строительство. 2001. №9. С. 11–12.
7. Руководство по определению прочности кирпичной кладки неразрушающим методом пластических деформаций. Краснодар, 1999. 15 с.
8. 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.
9. 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).
10. 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.
11. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 3–10.
12. Улыбин А.В., Зубков С.В., Сударь О.Ю., Лаптев Е.А. Стандартная и альтернативная методики определения прочности кирпича при обследовании зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №3(18). С. 9–24.

### References

1. Ulybin A.V., Zubkov S.V., Fedotov S.D., Kukushkina G.A., Chernenko Ye.V. Tekhnicheskoye obsledovaniye stroitelnykh konstruksiy kompleksa proizvodstvennykh zdaniy [Technical inspection of building structures of the complex of industrial buildings]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 7(22). Pp. 194–217. (rus).
2. Ulybin A.V., Zubkov S.V., Fedotov S.D., Zakrevskiy A.Yu. Obsledovaniye svaynykh fundamentov pri nadstroyke zdaniy [A survey of pile foundations in the superstructure of buildings]. *Magazine of Civil Engineering*. 2014. No. 4. Pp. 17–27. (rus).
3. Onishchik L.I. *Prochnost i ustoychivost kamennykh konstruksiy* [The strength and stability of masonry structures]. Moscow-Leningrad. Glavredstroylit. 1937. 292 p. (rus).
4. Ulybin A.V., Zubkov S.V. O metodakh kontrolya prochnosti keramicheskogo kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy [On the methods of monitoring the strength of ceramic bricks in the survey of buildings and structures]. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 3. Pp. 29–34. (rus)
5. Guchkin I.S., Artyushin D.V. Opredeleniye prochnosti (marki) keramicheskogo kirpicha v konstruksiyakh nerazrushayushchim metodom [Determination of (brand) of ceramic bricks in the construction of non-destructive method]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2006. No. 1. Pp. 103–104. (rus).
6. Zhitushkin V.G., Kucherov V.N. Opredeleniye prochnosti kladki iz kirpicha v naturnykh usloviyakh [Determining the strength of brick masonry in natural conditions]. *Zhishchnoye Stroitel' stvo*. 2001. No. 9. Pp. 11–12. (rus).
7. *Rukovodstvo po opredeleniyu prochnosti kirpichnoy kladki nerazrushayushchim metodom plasticheskikh deformatsiy* [Guidelines for determining the strength of masonry non-destructive method of plastic deformation]. Krasnodar. 1999. 15 p. (rus).
8. Telezhkin V.F., Ugarov P.A. Ultrazvukovaya sistema dlya ekspress-analiza tekhnicheskikh kharakteristik kirpicha [Ultrasonic system for rapid analysis of the technical characteristics of brick]. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra UrO RAN*. 2000. No. 1. Pp. 171–180. (rus).
9. Brozovsky J., Zach J. Non-destructive Testing of Solid Brick Compression Strength in Structures. *IV Conferencia Panamericana de END*. Buenos Aires. 2007 [Electronic resource]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/1.pdf> (accessed: 15.04.2012).
10. Derkach V.N., Zhernosek N.M. Metody otsenki prochnosti kamennoy kladki v otechestvennoy i zarubezhnoy praktike obsledovaniya zdaniy i sooruzheniy [Methods for evaluating

Zubkov S.V., Ulybin A.V., Fedotov S.D. Assessment of mechanical properties of brick masonry by flat-jack method



13. Улыбин А.В., Старцев С.А., Зубков С.В. Контроль влажности при обследовании каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7(42). С. 32–39.
14. Nobile L., Gentilini C., Bartolomeo V., Bonagura M. Micro-destructive flat-jack test for the diagnosis of historic masonry // *Key Engineering Materials*. 2010. Vols. 417–418. Pp. 741–744.
15. 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.
16. 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.
17. Binda L., Saisi A., Zanzi L. Sonic tomography and flat-jack tests as complementary investigation procedures for the stone pillars of the temple of S. Nicolò l'Arena (Italy) // *NDT and E International*. 2003. Vol. 36. №4. Pp. 215–227.
18. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacedogna G. Numerical simulation of brick-masonry subjected to the double flat-jack test // *Proceedings of the 6th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*. 2007. Pp. 1623–1630.
19. Gregorczyk P., Lourenco P.B. A review on Flat-jack testing // *Engenharia Civil*. 2000. №9. Pp. 39–50.
20. Boscatto 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. Vols. 838–841. Pp. 2071–2078.
21. Bartoli G., Betti M. Cappella dei Principi in Firenze, Italy: Experimental analyses and numerical modeling for the investigation of a local failure // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2013. Vol. 27. №1. Pp. 4–26.
22. Lombillo I., Villegas L., Fodde E., 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. Rossi P.P., Binda L.M., Landriani G.S. Diagnostic analysis of masonry building [Электронный ресурс] // *IASBE Symposium*. Venice. September. 1983. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://www.rteknos.it/area\\_clienti/pdf\\_file/ismes/189.pdf](http://www.rteknos.it/area_clienti/pdf_file/ismes/189.pdf) (дата обращения: 02.12.2015).
24. Faiella D., Manfredini G., Rossi P.P. In situ flat jack tests: analysis of results and critical assessment // *Symposium International - Reconnaissance des Sols et des Roches par Essais en Place*. Paris. 1983. Pp. 507–512.
25. Rossi P.P. Analysis of Mechanical Characteristics of Brick Masonry Tested by Means of Nondestructive In-situ Tests. ISMES Publication. Bergamo, Italy. 1982. Pp. 77–85.
26. Зимин С.С., Беспалов В.В., Казиминова А.С. Расчетная модель каменной арочной конструкции // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2015. №3(113). С. 33–37.
27. Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. №8(43). С. 14–23.
28. Пангаев В.В. Развитие расчетно-экспериментальных методов исследования прочности кладки каменных конструкций, Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.т.н. Спец. 05.23.01. 2009.
- the strength of masonry in domestic and foreign practice survey of buildings and structures]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*. 2010 No. 3(28). Pp. 135–143. (rus).
11. Orlovich R.B., Derkach V.N. Otsenka prochnosti kladochnykh rastvorov pri obsledovanii kamennykh zdaniy [Evaluation of the strength mortars when examining stone buildings]. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 7. Pp. 3–10. (rus).
12. Ulybin A.V., Zubkov S.V., Sudar O.Yu., Laptev Ye.A. Standartnaya i alternativnaya metodiki opredeleniya prochnosti kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy [Standard and alternative methods for determining the strength of the bricks in the survey of buildings and structures]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No 3(18). Pp. 9–24. (rus).
13. Ulybin A.V., Startsev S.A., Zubkov S.V. Kontrol vlazhnosti pri obsledovanii kamennykh konstruksiy [Humidity control during the examination of masonry structures]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 7. Pp. 32–39. (rus).
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Binda L., Saisi A., Zanzi L. Sonic tomography and flat-jack tests as complementary investigation procedures for the stone pillars of the temple of S. Nicolò l'Arena (Italy). *NDT and E International*. 2003. Vol. 36. No. 4. Pp. 215–227.
18. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacedogna G. Numerical simulation of brick-masonry subjected to the double flat-jack test. *Proceedings of the 6th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*. 2007. Pp. 1623–1630.
19. Gregorczyk P., Lourenco P.B. A review on Flat-jack testing. *Engenharia Civil*. 2000. No. 9. Pp. 39–50.
20. Boscatto 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.
21. Bartoli G., Betti M. Cappella dei Principi in Firenze, Italy: Experimental analyses and numerical modeling for the investigation of a local failure. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2013. Vol. 27. No. 1. Pp. 4–26.
22. Lombillo I., Villegas L., Fodde E., 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. Rossi P.P., Binda L.M., Landriani G.S. Diagnostic analysis of masonry building [online]. *IASBE Symposium*. Venice. September. 1983. URL: [http://www.rteknos.it/area\\_clienti/pdf\\_file/ismes/189.pdf](http://www.rteknos.it/area_clienti/pdf_file/ismes/189.pdf) (assessed: 02 December 2015).
24. Faiella D., Manfredini G., Rossi P.P. In situ flat jack tests: analysis of results and critical assessment. *Symposium International – Reconnaissance des Sols et des Roches par Essais en Place*. Paris. 1983. Pp. 507–512.
25. Rossi P.P. Analysis of Mechanical Characteristics of Brick Masonry Tested by Means of Nondestructive In-situ Tests. ISMES Publication. Bergamo Italy. 1982. Pp. 77–85.
26. Zimin S.S., Bespalov V.V., Kazimirova A.S. Raschetnaya model kamennoy arochnoy konstruksii [The computational model stone arch]. *Proceeding of the DonNACEA*. 2015. No. 3(113). Pp. 33–37. (rus).

27. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. *Primeneniye kamney s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnom sloye mnogosloynnykh sten* [The use of stones with high emptiness in a facing layer of multi-layer walls]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 8. Pp. 14–23. (rus).
28. Pangayev V.V. *Razvitiye raschetno-eksperimentalnykh metodov issledovaniya prochnosti kladki kamennykh konstruksiy* [The development of computational and experimental methods to study the strength of masonry stone structures: doctoral theses]. 2009. (rus).

Сергей Владимирович Зубков,  
+7(921)3877034; эл. почта: svzubkov@mail.ru

Sergey Zubkov,  
+7(921)3877034; svzubkov@mail.ru

Алексей Владимирович Улыбин,  
+7-921-777-45-16; эл. почта: ulybin@mail.ru

Aleksey Ulybin,  
+7-921-777-45-16; ulybin@mail.ru

Сергей Дмитриевич Федотов,  
+7(911)9167802; эл. почта:  
sergey.d.fedotov@gmail.com

Sergey Fedotov,  
+7(911)9167802; sergey.d.fedotov@gmail.com

© Зубков С.В., Улыбин А.В., Федотов С.Д., 2015



открытый «Каталог энергосберегающих технологий»

статьи по энергосбережению и энергоэффективности

нормативно-правовые документы в области энергосбережения

новости, интервью, обзоры и много другой полезной информации

Бесплатная подписка на ежемесячный электронный журнал  
по энергосбережению «ЭНЕРГО СОВЕТ».

Журнал направляется  
в администрации регионов и муниципальных образований РФ,  
центры энергосбережения,  
коммерческие предприятия и организации.

<http://www.energsovet.ru>