Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий

Д.т.н., профессор Р.Б. Орлович*,
Западно-Померанский технологический университет;
К.т.н., докторант В.Н. Деркач**,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: каменная кладка; кладочный раствор; прочность при сжатии и срезе

Получение достоверных механических характеристик каменной кладки, как композиционного материала, состоящего из кладочных элементов и раствора, является одной из главных задач, которую необходимо решить при обследовании каменных зданий. Проблема заключается в различии прочностных и деформационных характеристик растворов и кладочных элементов, применяемых в разные периоды возведения зданий. Каменная кладка старых зданий выполнялась главным образом из керамического кирпича на известковом или глиняном растворе. В настоящее время нет универсальной и достоверной методики по определению физико-механических характеристик таких растворов. Как следствие, статистические данные по испытаниям материалов старых кладок, в частности растворов, практически отсутствуют. Оценка прочности растворов в старых кладках является достаточно сложной и в настоящее время не решенной в полной мере задачей.

При обследовании каменных зданий и разработке проектов по их реконструкции или модернизации прочность каменной кладки определяется в соответствии с действующими нормативными документами на основании прочностных показателей кладочных элементов и раствора, установленных по стандартным методикам. Прочность кладочного раствора определяется, как правило, неразрушающими методами или испытаниями образцов, отобранных непосредственно из тела каменной кладки. Форма, метод отбора и испытаний образцов могут быть различными, однако при этом необходимо знать поправочные коэффициенты между прочностью кладочных растворов, определенных по используемым методикам, и прочностью, полученной на основании стандартных испытаний. Кроме этого во внимание следует принимать и другие факторы, влияющие на прочность кладочного раствора в процессе его длительной эксплуатации (выветривание, химическая коррозия и т.д.).

Нормативные требования к определению прочности каменной кладки

В соответствии с действующими нормами [1, 2] прочность каменной кладки можно установить на основании результатов испытаний ее отдельных составляющих (кладочных элементов и раствора).

В Еврокоде 6 [1] нормативное сопротивление сжатию каменной кладки на растворе общего назначения определяют по формуле (1):

$$f_k = K \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3}, \qquad (1)$$

где f_k – нормативное сопротивление сжатию каменной кладки в Н/мм^2;
K – константа, зависящая от вида кладочного элемента (для полнотелого керамического кирпича K=*0.5*);
f_b – приведенное (нормализованное) сопротивление сжатию камня (блока) в направлении нагрузки в Н/мм^2, определяемое согласно [3];
f_m – прочность кладочного раствора при сжатии в Н/мм^2 согласно [4].

Формула (1) получена на основании анализа результатов исследований по большому количеству образцов каменной кладки, подготовка и испытание которых выполнялись в соответствии с требованиями [5]. Основным недостатком формулы (1) является нестабильность константы *K,* связывающей нормативное сопротивление каменной кладки со средними значениями прочностных показателей камней и раствора.

В отечественных нормах [2] прочность кладки при сжатии определяется по эмпирической зависимости (2), предложенной Л.И. Онищиком, для различных сочетаний прочностных характеристик кладочных элементов и раствора:

$$R_u = AR_1\left(1 - \frac{a}{b + R_2/2R_1}\right)\gamma\,, \qquad (2)$$

где R_u, R_1, R_2 – пределы прочности при сжатии в МПа кладки, кладочного элемента, раствора соответственно;
γ – поправочный коэффициент, который определяется по формуле (3), если $R_2<0.04R_1$:

$$\gamma = \frac{0.03 + 2.25\,R_2/R_1}{0.04 + 2\,R_2/R_1} \qquad (3)$$

В случае, когда $R_2 \geq 0.04R_1$, $\gamma=1$;
A – конструктивный коэффициент, зависящий от вида кладочного элемента и определяемый из выражения (4):

$$A = \frac{100 + R_1}{100m + nR_1}\,. \qquad (4)$$

Если прочность кладочного элемента меньше установленной в стандарте, то A определяется по формуле (5):

$$A = \frac{1.2}{1 + R_1/3R_{ub}}\,; \qquad (5)$$

R_{ub} – предел прочности кладочного элемента при изгибе в МПа;
a, b, m, n – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида кладки.

Пределы прочности камня при сжатии и изгибе определяются в соответствии с требованиями [6].

В формулах (1), (2) прочность кладочного раствора устанавливается на основании испытаний образцов, представляющих собой половины стандартных растворных балочек размерами 40×40×160мм. Очевидно, что данная методика неприемлема в случае определения прочности кладочного раствора в существующих зданиях. Для этих целей применяются неразрушающие методы или методы, основанные на испытаниях образцов раствора, отобранных непосредственно из тела кладки.

Методы оценки прочности растворных швов каменной кладки при сжатии

Отбор проб раствора из тела каменной кладки для последующих их испытаний очень трудоемок. Поэтому при определении прочности кладочного раствора в существующих конструкциях часто применяются приборы неразрушающего контроля, принцип действия которых основан на методе ударного импульса. В частности, для определения прочности раствора используется измеритель прочности бетона ИПС-МГ4.01 с энергией удара 0.16 Нм или тестовый молоток Шмидта с энергией удара 0.833Нм [7]. В зависимости от вида испытуемых материалов молотки снабжаются соответствующими шкалами измерений и специальными плунжерами. Для этих же целей применяются специальные устройства, принцип действия которых основан на вбивании в растворный шов стального острия с определенной энергией удара. Мерой прочности раствора при сжатии является глубина погружения острия в раствор с поправкой на величину сжимающих напряжений в растворном шве. Кроме того, для оценки прочности раствора может использоваться ультразвуковой метод или метод, основанный на измерении энергии при сверлении растворного шва [8].

Следует отметить, что вышеприведенные методики позволяют получить скорее качественные, чем количественные показатели прочности растворных швов. Недостатком данных методик является еще и то, что ими оцениваются прочностные показатели поверхностного слоя раствора, который в наибольшей степени подвержен деградации, при этом по толщине конструкции прочность раствора может существенно разниться.

При возведении каменных конструкций старых зданий основным вяжущим кладочных растворов была известь, иногда гипс или глина, а во второй половине XIX века цемент. Анализ химического состава растворов позволяет определить их составляющие, на основе которых можно изготовить стандартные образцы раствора и выполнить их испытание по определению прочности при изгибе и сжатии. При этом необходимо иметь в виду, что полученные результаты могут значительно отличаться от истинных значений прочности по следующим причинам:

- при твердении образцов раствора приготовленных на основе химического состава старых растворов не учитывается технологии выполнения последних, количество воды, применяемые добавки, атмосферные воздействия во время выполнения каменной кладки, реологические явления;
- на прочность растворов большое влияние оказывает их деградация вызванная выветриванием, химической коррозией, засолением и другими факторами, имеющими место при длительной эксплуатации каменной кладки.

В технической литературе содержится много различных предложений, касающихся методов лабораторных испытаний образцов растворов, отобранных из швов кладки. В соответствии с [9] испытываемые образцы готовятся из двух пластинок кладочного раствора квадратной формы, склеенных между собой и выровненных по контактным поверхностям гипсовым раствором (рис. 1).

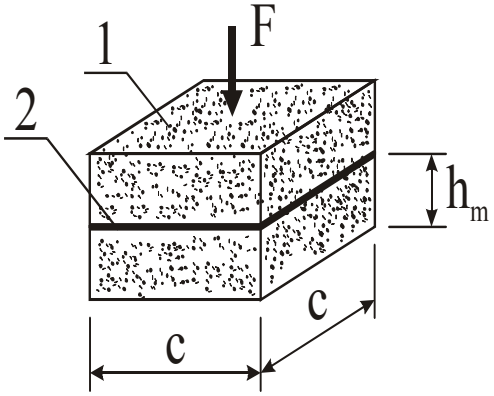


Рисунок 1. Схема испытания раствора, отобранного из горизонтальных швов, толщиной h_m согласно [9]: 1 – раствор, 2 – соединительный шов

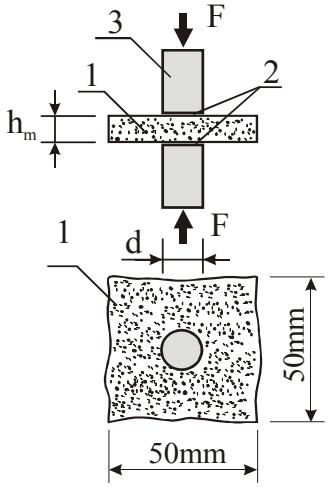


Рисунок 2. Схема испытания раствора, отобранного из горизонтальных швов, толщиной h_m согласно [10]: 1 – раствор, 2 – войлок или гипс, 3 – стальной стержень Ø 20-25мм

Механические свойства соединительного шва должны быть близки к свойствам испытываемого раствора. В соответствии с данным методом испытаний прочность раствора при сжатии определяется по формуле (6).

$$f_m = k_m \frac{F}{A}, \qquad (6)$$

где F – разрушающая нагрузка;
$A=c\times c$ – поперечное сечение;
k_m – коэффициент корреляции между прочностью испытанных образцов и прочностью стандартных образцов (половин балочек размерами 40×40×160мм). Коэффициенты кореляции в зависимости от размеров образцов-кубов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициент корреляции k_m для определения прочности раствора

Вид раствора	Размер ребра куба (см)		
	2	3	4
Летний	0,56	0,68	0,80
Зимний	0,46	0,65	0,75

На рис. 2 показана схема испытаний кладочного раствора согласно требованиям стандарта DIN 18555-9:1999 [10]. Прочность раствора определяется по формуле (3), в которой A – поперечное сечение стального стержня. Кроме масштабного фактора, на прочность раствора в

данном случае оказывает влияние эффект Баушингера, так как сжимаемый между стальными стержнями раствор работает вместе с остальной незагруженной областью образца. Коэффициент корреляции k_m для данного вида испытаний ориентировочно принимается равным 0.4-0.5.

Подобная методика испытаний была приведена в СН 290-64 и названа «методом инженера Сенюты» [11]. В соответствии с данной методикой из отобранного раствора готовят образцы в виде квадратных пластинок, сторона которых превышает толщину пластинки примерно в 1.5 раза. Нагрузка на образец передается через 30-40 мм металлический стержень, установленный по центру пластинки. Сторона основания или диаметр стержня должны быть примерно равны толщине растворного шва. Прочность раствора при сжатии определяется делением разрушающей нагрузки на площадь поперечного сечения стержня. Для перехода к прочности стандартных образцов результаты испытаний пластинок умножают на коэффициент корреляции 0.5.

Образцы раствора могут также иметь форму цилиндров, изготовленных из высверленных из раствора 3-4 круглых пластин диаметром 50-60мм и склеенных между собой гипсовым раствором (рис. 3).

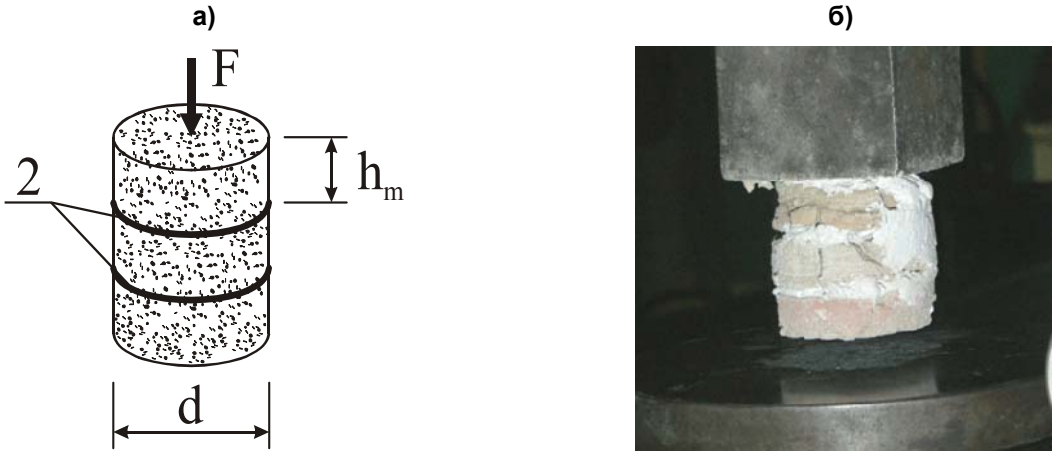


Рисунок 3. Схема (а) и общий вид (б) испытания образцов, изготовленных из круглых пластин раствора толщиной h_m: 1 – раствор, 2 – соединительный шов

Необходимо отметить, что объем приготовленных таким образом образцов близок к объему стандартных образцов раствора (половин балочек размерами 40×40×160мм).

Недостатком вышеперечисленных методов испытаний является сложность отбора образцов раствора и изготовление опытных образцов-цилиндров. Касается это, в первую очередь, слабых известковых растворов прочностью ниже 1.0 МПа или растворов, имеющих хорошее сцепление с камнем. В этом случае может быть использована предлагаемая авторами настоящей статьи и запатентованная за рубежом методика испытаний кладочного раствора на образцах цилиндрической формы, отобранных из тела каменной кладки. Образец выбуривается перпендикулярно плоскости кладки таким образом, что бы его сечение включало два сегмента кладочных элементов с растворным швом между ними. Испытание образцов проводится в жестких стальных обоймах внутренним диаметром, равным диаметру цилиндрического образца (рис. 4).

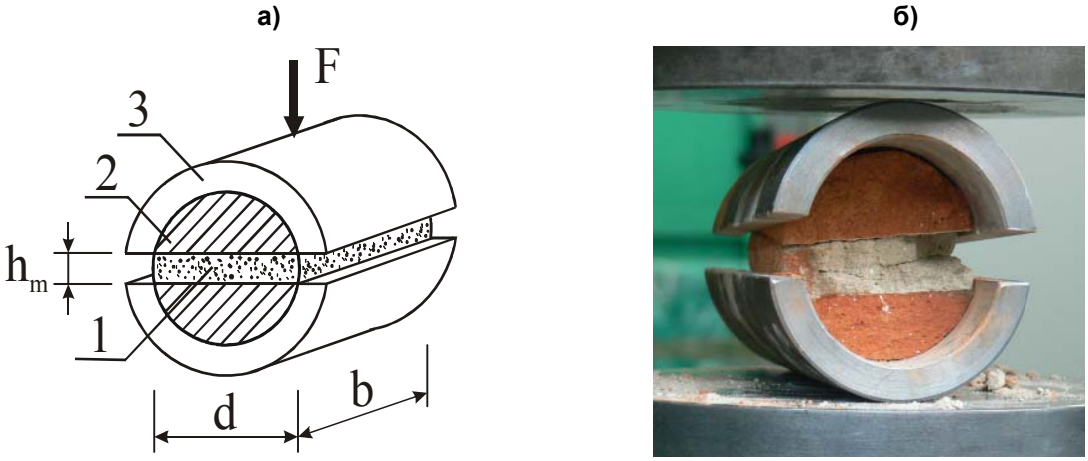


Рисунок 4. Схема (а) и общий вид (б) испытания раствора на выбуренных из кладки образцах-цилиндрах: 1 – раствор толщиной h_m, 2 – кирпич, 3 – стальная обойма

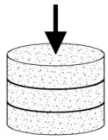
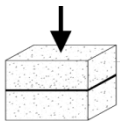
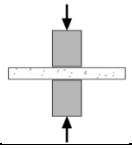
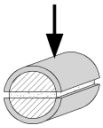
Прочность кладочного раствора при сжатии f_m определяется по формуле (6), в которой $A = d \cdot b$ (d – диаметр образца, b – его длина).

Результаты собственных исследований прочности кладочных растворов

С целью сравнения прочности кладочных растворов при сжатии, полученных по различным методикам, и определения коэффициентов корреляции для перехода к прочности стандартных образцов были выполнены исследования растворов вновь возведенной кладки и кладки стен, эксплуатировавшихся более 100 лет и подлежащих разборке. В образцах растворов, отобранных из старой кладки, определялись вид и содержание вяжущего и заполнителей, объемная плотность, массовая влажность. Было установлено, что в качестве вяжущего в растворе старых кладок использовалась гидравлическая известь, объемная плотность раствора составила около 1600 кг\м^3. Так как раствор имел малую прочность сцепления с камнями, была возможность извлечь из каменной кладки достаточно большие его фрагменты. Впоследствии из фрагментов раствора выбуривались круги диаметром 50 мм. Часть из них была испытана на сжатие в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2. Из остальных кружков были изготовлены образцы в виде цилиндров высотой 40-50мм (рис. 3). Кроме того из извлеченного из швов кладки раствора были изготовлены квадратные плитки с размером стороны 40 мм, из которых впоследствии готовились образцы-кубики (рис. 1). Кроме того, из кладки отбирались образцы-цилиндры диаметром 50 мм, которые включали два сегмента кирпича с растворным швом между ними (рис. 4). Отбор образцов производился без нарушения структуры раствора и его сцепления с камнями. Такие же образцы были изготовлены из раствора вновь возведенной кладки. Указанная кладка была выполнена на цементном растворе, в состав которого входили: цемент – 25%, заполнители – 75%, добавки – 0.02%. Его прочность при сжатии, определенная по стандартной методике [4], составила 16.5 МПа.

Полученные средние значения прочности кладочного раствора при сжатии с коэффициентами вариации приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний прочности раствора, отобранного из вновь выполненной и старой (в скобках) кладок

№п\п	Метод испытаний	Количество образцов	Средняя прочность (МПа)	Коэффициент вариации %
1		**9** (12)	**17,8** (0,6)	**30** (28)
2		**25** (28)	**23,5** (0,9)	**28** (55)
3		**30** (33)	**32,6** (2,6)	**28** (103)
4		**10** (10)	**72** (2,8)	**18** (21)

Прочность кладочных растворов, определенная на образцах, показанных на рис. 1 и 2, в таблице 2 приведена без учета коэффициентов корреляции k_m.

По результатам испытаний была построена гистограмма и кривые распределения плотности прочностных показателей раствора (рис. 7). Статистическая обработка полученных результатов показала, что они подчиняются логнормальному закону распределения.

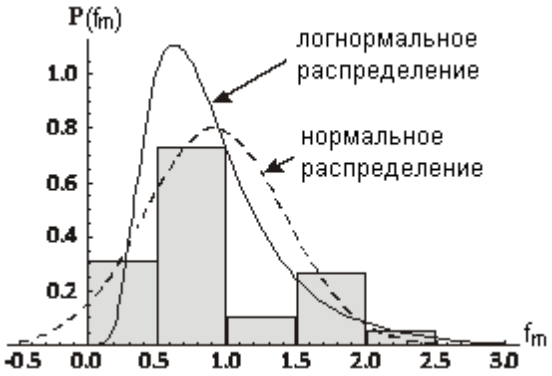


Рисунок 5. Закон распределения плотности прочности кладочного раствора

Анализ результатов испытаний, приведенных в таблице 2, показывает, что прочность кладочного раствора при сжатии, полученная на различных образцах, существенно разнится. Следует отметить, что наиболее близкие к стандартным испытаниям значения прочности раствора получены для образцов, показанных на рис. 3. Наибольшую прочность раствора показали выбуренные из кладки образцы-цилиндры (рис. 4). При испытании данных образцов растворный шов так же, как и в кладке, работает в условиях трехосного сжатия, принимая во внимание его сцепление с камнем и силы трения. При этом полученная прочность раствора при сжатии для старой и новой каменных кладок была в среднем в 4.3 раза выше, чем при испытаниях, показанных на рис. 3 (1 строка таблицы 2). Прочность раствора, определенная по образцам-кубам (рис. 1) была в среднем в 1.4 раза выше, чем прочность цилиндрических образцов, приведенных на рис. 3. Следует отметить, что данные выводы являются справедливыми для раствора, отобранного из новой и старой кладки.

Значительно большая разница в прочности растворов (относительно образцов, показанных на рис. 3) наблюдалась при испытаниях по методике DIN 18555-9 (рис. 2). В данном случае прочность цементного раствора была в 1.8, а известкового в 4.3 раза выше прочности, полученной при испытании цилиндрических образцов, при этом коэффициент вариации прочности известковых растворов был самым высоким и составил 103%. Причиной этого могло быть существенное отличие в толщине извлеченных из кладки фрагментов цементного и известкового раствора. Толщина плиток цементного раствора составляла h_m=10±1мм, а известкового 12-20мм. Кроме того, механизм разрушения цементного раствора был хрупким, а известкового – пластичным.

Оценка прочности касательного сцепления кладочных растворов и угла внутреннего трения

Важными характеристиками, определяющими прочностные и жесткостные свойства каменной кладки при сдвиге, являются ее начальное сопротивление сдвигу (касательное сцепление) и угол внутреннего трения в плоскости горизонтальных растворных швов.

При одновременном действии сдвигающих и сжимающих напряжений прочность кладки при срезе определяется по формуле Кулона-Мора (7):

$$f_v = f_{v0} + \sigma_c tgc_j, \qquad (7)$$

где f_{v0} – начальное сопротивление кладки сдвигу в плоскости растворных швов при σ_c=0;

σ_c – сжимающие напряжения, действующие перпендикулярно горизонтальным растворным швам;

c_j – угол внутреннего трения для растворного шва.

В соответствии со стандартом [12], начальное сопротивление кладки сдвигу f_{v0} и угол внутреннего трения c_j получают на основании испытаний образцов кладки, подверженных одновременному действию сжимающих и скалывающих напряжений (рис. 6). Уровень обжатия зависит от прочности кирпича при сжатии. Например, при прочности камня большей, чем 10 МПа, значения σ_c принимаются равными 0.2, 0.6, и 1.0МПа, а при прочности камня ≤10 МПа σ_c=0.1, 0.3, 0.5 МПа.

а) б)

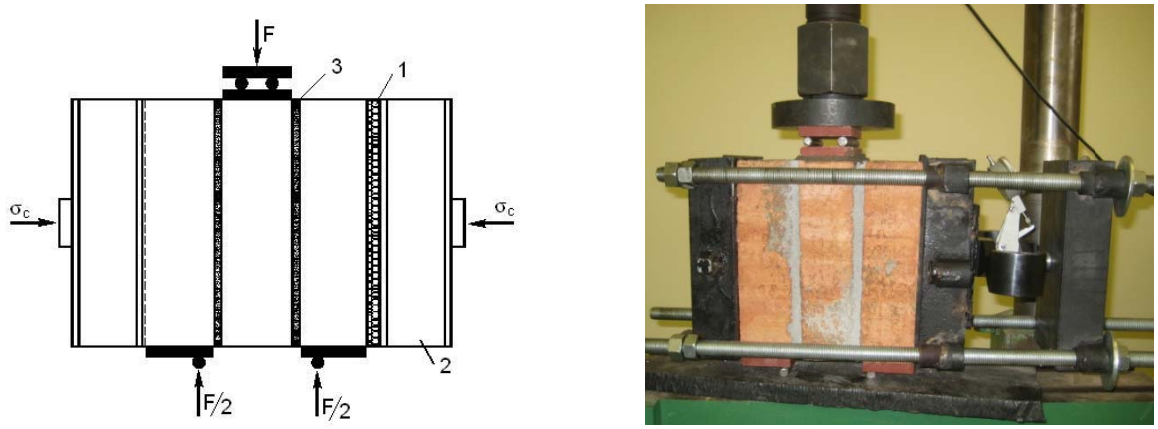


Рисунок 6. Схема (а) и общий вид (б) испытания опытного образца каменной кладки согласно [12]: 1 – резиновая прокладка, 2 – стальная траверса, 3 – растворный шов

Так как величина сжимающих напряжений σ_c является переменной, это дает возможность построения графика зависимости «$f_v - \sigma_c$» (рис. 7). Прочность на «чистый» срез f_{v0} устанавливается путем экстраполяции графика до ординаты σ_c=0.

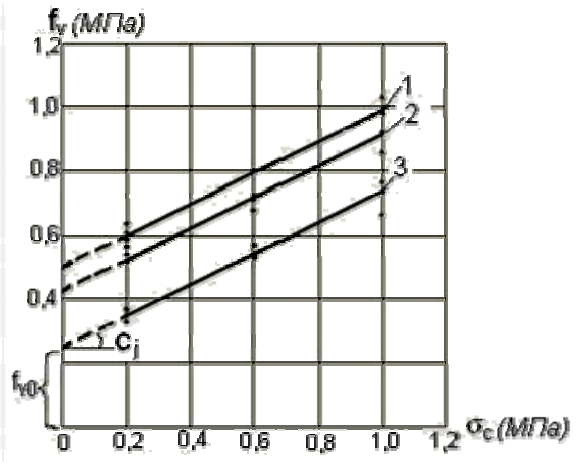


Рисунок 7. Экспериментальная зависимость «$f_v - \sigma_c$» для кладки из керамического полнотелого кирпича на цементном растворе при различной прочности раствора f_m: 1 – *10.2МПа*, 2 – *7.9 МПа,* 3 – *3.2*МПа

Совершенно очевидно, что применение методики [12] для оценки прочностных характеристик кладки при сдвиге в существующих конструкциях является затруднительным. В связи с этим авторами используется разработанная ими методика, основанная на испытании цилиндрических образцов, показанных на рис. 4. Отличие данной методики от метода оценки прочности раствора при сжатии заключается в том, что плоскость горизонтальных растворных швов располагается под углом $0^o<a<90^o$ к направлению действия сжимающего усилия *F* (рис. 8).

Варьируя величину угла а, мы получаем возможность изменять значения сдвигающих и сжимающих напряжений, которые определяются по формулам (8, 9).

$$f_v = \frac{F}{d \cdot b}\cos\alpha, \qquad (8)$$

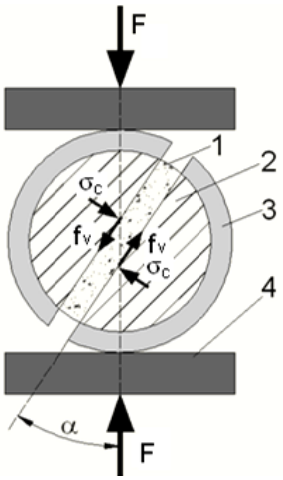


Рисунок 8. Схема испытаний образцов-цилиндров на сдвиг при действии сжимающего усилия под углом к растворному шву: 1 – растворный шов, 2 – кирпич, 3 -стальная обойма, 4 – плита пресса

$$\sigma_c = \frac{F}{d \cdot b} \sin \alpha \,, \qquad (9)$$

где F – разрушающая нагрузка;
d, b – соответственно диаметр и длина образца (рис. 4);
a – угол между направлением действия сжимающей нагрузки и растворным швом.

Зная величину касательных напряжений f_v при разрушающей нагрузке F и соответствующие ей значения сжимающих напряжений σ_c, можно построить график зависимости «$f_v - \sigma_c$», по которому определить начальное сопротивление сдвигу f_{vo} и угол внутреннего трения c_j (рис. 7).

Заключение

Среди рассмотренных методов оценки прочности кладочного раствора в существующих каменных конструкциях наиболее универсальным и информативным является метод, основанный на испытаниях, выбуренных из тела кладки образцов цилиндров. С помощью данного метода можно выполнить оценку прочностных показателей кладочных растворов не только при сжатии, но и при сдвиге, а также проанализировать степень деградации раствора по толщине каменной конструкции. Для получения коэффициентов корреляции между прочностными показателями растворов, определенными по предлагаемой методике, и прочностью стандартных образцов, в настоящее время авторами выполняются обширные исследования кладочных растворов как старых, так и вновь возводимых каменных конструкций.

Литература

1. EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6. Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. 127 p.
2. СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции. М. : Стройиздат, 1983. 40 с.
3. EN 772-1:2000 Prüfvervahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. 9 p.
4. EN 1015-11:1999 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel. 16 p.
5. EN 1052-1:1998 Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. 14 p.
6. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. М. : Госстрой СССР. 7 с.
7. Белов В. В., Деркач В. Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7. С. 14-20.
8. Jasieńko J., Engel L., Kondolewicz A. Problemy konstrukcyjno-konserwatorskie w stabilizacji i ekspozycji ruin obiektów kamiennych na przykładzie Zamku „Lenno” we Wleniu // Wiadomości Konserwatorskie. 2009. № 26. Pp.12-18.
9. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. М. : ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, 1988. 57 с.
10. DIN 18555-9:1999 Testing of mortars containing mineral binders – Part 9: Determination the compressive strength of hardened mortar. 12 p.
11. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Каменные и армокаменные конструкции / под ред. С.А. Семенцова, В.А. Камейко. М. : Стройиздат, 1968. 174 с.
12. EN 1052-3:2002 Prüfverfahren für mauerwerksbau – Teil 3: Bestimmung der anfangsscherfestigkeit. 11p.

**Роман Болеславович Орлович, г. Щецин, Польша*

Тел. раб.: +48-661-868850; эл. почта: orlowicz@mail.ru

***Валерий Николаевич Деркач, г. Брест, Беларусь*

Тел. раб.: +375-296-411962, эл. почта: v-derkatch@yandex.ru

doi: 10.5862/MCE.25.1

Estimation of masonry mortars strength during stone buildings investigation

R.B. Orlovich*,
West Pomeransky technological university, Szczecin, Republic Poland;
V.N. Derkach,
BelNIIS, Minsk, Belarus
+375-296-411962, e-mail: v-derkatch@yandex.ru

Key words

a masonry; a masonry mortar; compressive strength; shearing strength

Abstract

In this article the analysis of estimation methods of the masonry mortars strength applied in Russia and other countries during stone buildings and constructions investigation was carried out. Advantages and disadvantages of these methods are considered.

The new technique of masonry mortars strength estimation is offered. It is based on trials of bored from a masonry body cylindrical samples. It is pointed, that this method is the most universal and informative from all methods considered in this article.

The offered testing procedure allows to gain not only a compression strength, but also a shearing strength along horizontal masonry seams. Results of experimental researches of masonry mortars compression strength executed on various techniques are presented.

References

1. EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6- Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. 127p.
2. SNIP II-22-81* Kamennye i armokamennye konstruktsii [Masonry and reinforced masonry constructions]. Moscow : Stroyizdat, 1983. 40 p. (rus)
3. EN 772-1:2000 Prüfvervahren für Mauersteine - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. 9p.
4. EN 1015-11:1999 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel. 16p.
5. EN 1052-1:1998 Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. 14p.
6. GOST 8462-85. Materialy stenovye. Metody opredeleniya predelov prochnosti pri szhatii i izgibe [Wallings. Determination methods of strength limits under compression and bending]. Moscow : Gosstroy SSSR. 7 p. (rus)
7. Belov V. V., Derkach V. N. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 7. Pp. 14-20. (rus)
8. Jasieńko J., Engel L., Kondolewicz A. Wiadomości Konserwatorskie. 2009. No. 26. Pp. 12-18.
9. *Rekomendacii po obsledovaniyu i ocenke tehnicheskogo sostoyaniya krupnopanelnyh i kamennyh zdaniy* [Recommendations about examination and estimation of a technical condition of large-panel and stone buildings]. Moscow: CNIISK V. A. Kucherenko, 1988. 57p. (rus)
10. DIN 18555-9:1999 Testing of mortars containing mineral binders - Part 9: Determination the compressive strength of hardened mortar. 12p.
11. Semencova S. A., Kameyko V. A. Spravochnik proektirovshchika promyshlennyh, zhilyh i obshchestvennyh zdaniy i sooruzheniy. Kamennye i armokamennye konstrukcii. [Designers handbook regarding industrial, residential and public buildings and constructions. Stone and reinforced constructions]. Moscow: Stroyizdat, 1968. 174p. (rus)
12. EN 1052-3:2002 Prüfverfahren für mauerwerksbau - Teil 3: Bestimmung der anfangsscherfestigkeit. 11p.

Full text of this article in Russian: pp. 3-10