

УДК 69.022

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА КАМЕННОЙ КЛАДКИ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ КЛАДОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

RESEARCH OF THE SHEAR MODULUS IN THE MASONRY FROM CLAY MASONRY UNITS

Деркач В.Н., заместитель директора, канд. техн. наук, (филиал РУП «Институт БелНИИС» - «Научно-технический центр», г.Брест)

Демчук И.Е., инженер-конструктор (филиал РУП «Институт БелНИИС» - «Научно-технический центр», г.Брест)

АННОТАЦИЯ

Приведена методика и результаты экспериментальных исследований модуля сдвига каменной кладки, выполненной из полнотелого кирпича на цементном растворе различной прочности. Показаны механизмы разрушения опытных образцов каменной кладки. Произведено сравнение полученных результатов с данными действующих нормативных документов.

ABSTRACT

There are presented technique and the results of experimental research of the shear modulus in the masonry, which are executed from solid ceramic masonry units and cement various strength mortar. There are shown mechanisms of failure of the specimens. There is made comparison of received results with the data of current standard documents.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в домостроении доминируют каркасные здания с каменным заполнением внутренних и наружных стен. При расчете таких зданий совместная работа стен с каркасом обычно не учитывается. Выполненные ранее исследования, однако, выявили существенное влияние каменного заполнения на несущую способность и деформативность каркасных зданий. Например, согласно [1] жесткость высотных зданий с каменным заполнением при действии ветровых нагрузок может в 10-20 раз превосходит жесткость каркаса. В настоящее время расчет каркасно-монолитных зданий совместно со стеновым заполнением можно выполнять, используя существующее программное обеспечение. При этом требуется знание деформационных характеристик каменной кладки, рассматриваемой на макроуровне, как сплошной, однородный, ортотропный материал, связь между напряжениями и деформациями для которого в условиях плоского напряженного состояния записывается в виде (1)

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}} \begin{bmatrix} E_x & \mu_{yx}E_x & 0 \\ \mu_{xy}E_y & E_y & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \mu_x\mu_y)G_{xy} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Для того, чтобы оценить напряженно-деформированное состояние кладки необходимо знание пяти ее деформационных характеристик: модулей упругости E_x, E_y и коэффициентов Пуассона μ_{xy}, μ_{yx} вдоль и поперек горизонтальных растворных швов, а также модуля сдвига G .

Модуль сдвига является важнейшей характеристикой, определяющей жесткость здания в целом и отдельных его конструктивных элементов при горизонтальных ветровых нагрузках и сейсмических воздействиях. В нормах [2, 3] при расчете каменных конструкций модуль сдвига G допускается принимать равным 40% модуля упругости E , который определяется путем испытания образцов каменной при сжатии перпендикулярно горизонтальным растворным швам. Следует отметить, что в нормах [2] модуль упругости E является секущим модулем, его величина равна тангенсу угла наклона секущей проходящей через точки кривой соответ-

вующие ординатам $\sigma=0$ и $\sigma=0.33f$ (f - предел прочности каменной кладки при сжатии). В нормах [3] модуль упругости равен тангенсу угла наклона касательной к кривой зависимости « σ - ϵ » в точке соответствующей $\sigma=0$. Следовательно, европейские нормы [2] дают более низкое значение модуля сдвига G , чем отечественные нормы [3].

С целью определения фактического модуля сдвига каменной кладки и сравнения его с данными норм [2, 3] были проведены экспериментальные исследования образцов каменной кладки, выполненной из полнотелого керамического кирпича на цементном растворе.

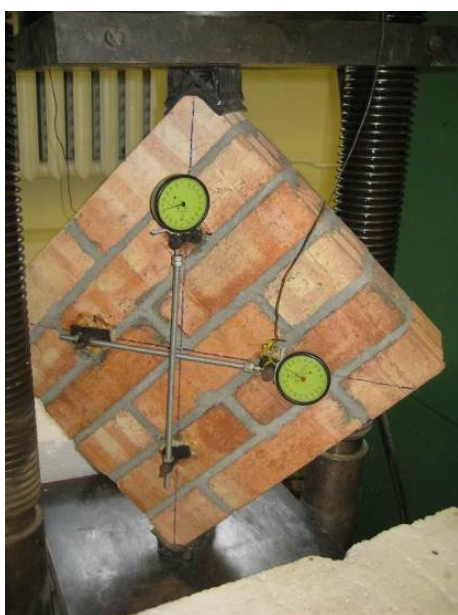
Поскольку в настоящее время отсутствуют единый европейский стандарт, устанавливающий требования к методам определения деформационных характеристик каменной кладки при сдвиге, для проведения исследований была использована методика американского стандарта [4].

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Испытания выполнялись на образцах каменной кладки, имеющих близкую к квадрату форму и включающих в себя шесть-семь слоев керамического кирпича. Образцы каменной кладки изготавливались из полнотелых керамических кирпичей КРО-150/25 СТБ-1160-99. Согласно требованиям [2], по своим геометрическим характеристикам кирпич, из которого готовились образцы каменной кладки, относился к I группе кладочных элементов. Для приготовления кладочных растворов использовалась сухая растворная смесь №111/11 М100 по СТБ1307-2002 производства ОАО «Красносельскстройматериалы». Из данной растворной смеси путем изменения пропорций составляющих готовилась растворная смесь других прочностных показателей. Прочность раствора определялась одновременно с испытанием образцов в соответствии с методикой [5].

Было изготовлено три серии опытных образцов кладки. Образцы серии КРО-1с выполнялись на растворе прочностью при сжатии $f_m=10.9$ МПа, КРО-2с $f_m=7.9$ МПа, КРО-3с - $f_m=3.1$ МПа. Каждая серия включала 3-5 образцов кладки. Нагружение опытных образцов производилось при помощи гидравлического пресса П-125. Установленные в прессе образцы центрировались таким образом, чтобы при пробном нагружении показания по индикаторам перемещений, расположенным на противоположных гранях образца отличались не более чем на 20%. Испытываемые образцы подвергались сжатию сосредоточенной силой, приложенной под углом 45° к горизонтальным растворным швам (рис.1) и доводились до разрушения.

а)



б)

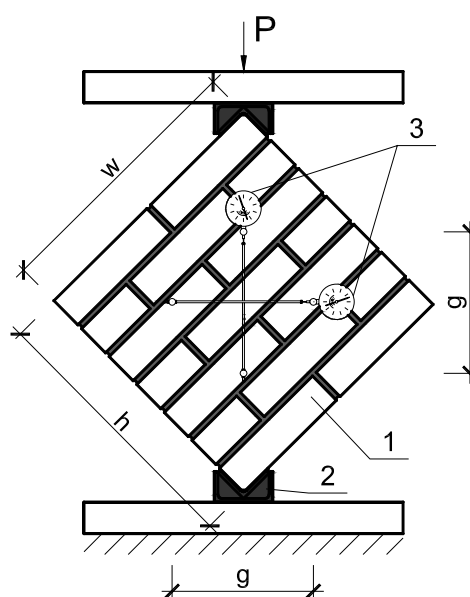


Рисунок 1 - Испытания образца кладки на диагональное сжатие: а- общий вид образца, б- схема испытаний (1 – кладочный элемент; 2 – передаточный опорный башмак; 3 – индикаторы перемещений часового типа ИГП-1 с ценой деления 0.001 мм)

Определение деформаций кладки в вертикальном и горизонтальном направлении производилось с помощью индикаторов перемещений часового типа с ценой деления 10^{-3} мм. При этом скорость нагружения выбиралась такой, чтобы до разрушения образца имелась возможность снятия не менее 10 отсчетов.

На основании испытаний определялись разрушающие касательные напряжения S_s (МПа) по формуле (2):

$$S_s = \frac{0.707 \cdot P}{A_n} \quad (2)$$

где:

P - разрушающая нагрузка (Н),

A_n - площадь образца (мм^2), определяемая по формуле (3):

$$A_n = \left(\frac{w+h}{2} \right) \cdot t \cdot n \quad (3)$$

где:

w - ширина образца (мм),

h - высота образца (мм),

t - суммарная толщина образца (мм),

n - коэффициент, учитывающий пустотность кладочных элементов (для полнотелого кирпича $n=1$).

Относительные сдвигающие деформация γ определялись по формуле (4):

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g} \quad (4)$$

где:

ΔV - деформации сжатия по вертикали (мм),

ΔH - деформации растяжения по горизонтали (мм),

g - расстояние по вертикали между индикаторами перемещений (мм).

Модуль сдвига G (МПа) определяется по формуле (5):

$$G = \frac{S_s}{\gamma} \quad (5)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

При испытаниях опытных образцов имели место следующие механизмы их разрушения:

- раскалывание по диагонали, при котором траектория критической трещины в меньшей или большей степени отклоняясь от линии действия сжимающего усилия, проходит по камням и отдельным вертикальным и горизонтальным швам кладки (рис.2,а);
- сдвиг по горизонтальным растворным швам (рис.2,б).
- раскалывание по диагонали, при котором критическая трещина имеет ступенчатую траекторию и проходит только по горизонтальным и вертикальным швам кладки (рис.2,в);

Во всех случаях разрушение опытных образцов носило хрупкий характер.

В образцах, выполненных на растворных швах прочностью при сжатии 7.9÷10.1МПа, как правило, реализовывались механизмы разрушения, показанные на рис.2,а и рис.2,в. Разрушение образцов на растворе прочностью 3.1МПа происходило вследствие сдвига кладки по растворному шву (рис.2,б), либо диагонального раскалывания по зигзагообразной траектории (рис.2,в)

а)



б)



в)



Рисунок 2 - Характерные механизмы разрушения образцов кладки: а – раскалывание по диагонали, б – сдвиг вдоль горизонтальных растворных швов, в – раскалывание по зигзагообразной траектории по границе контакта камней и растворных швов

В таблице 1 приведены значения разрушающих касательных напряжений S_s и модулей сдвига G_{obs} , установленных при уровне касательных напряжений в кладке $\tau_{obs} \approx 0.5S_s$. Среднее значение модуля сдвига $G_{obs,mv}$ для образцов кладки, изготовленных на растворе прочностью $f_m=10.9\text{МПа}$, составило 3378МПа , $f_m=7.9\text{МПа}$ – 2744МПа , $f_m=3.1\text{МПа}$ – 1612МПа .

Таблица 1 – Экспериментальные значения модуля сдвига с указанием разрушающей нагрузки и напряжения сдвига

№ серии	№ образца	Прочность кладочного раствора при сжатии $f_m(\text{МПа})$	Разрушающая нагрузка $F_{i,max}(\text{Н})$	Разрушающее касательное напряжение, $S_{si}(\text{МПа})$	Модуль сдвига, $G_{obs,i}(\text{МПа})$	Среднее значение модуля сдвига, $G_{obs,mv}(\text{МПа})$
КРО-1с	1	10.9	17500	0.217	3186.23	3378
	2		77400	0.956	3804.10	
	3		61800	0.710	3896.52	
	4		57600	0.663	2624.25	
КРО-2с	1	7.9	74500	0.881	3830.67	2744
	2		47200	0.569	2417.24	
	3		66200	0.803	3253.56	
	4		59700	0.688	1386.89	
	5		63300	0.730	2831.64	
КРО-3с	1	3.1	27500	0.331	1614.58	1612
	2		37900	0.439	1479.37	
	3		32800	0.380	1741.22	

Сравнение экспериментальных значений модуля сдвига $G_{obs,mv}$ с расчетными значениями, определенными согласно требованиям норм [2, 3], приведено в таблице 2. В таблице 2 модуль упругости каменной кладки E_{obs} принимался по результатам экспериментальных исследований образцов кладки на сжатие перпендикулярно горизонтальным растворным швам [6]. Данные образцы были изготовлены из тех же кладочных материалов, что и образцы, испытанные на диагональное сжатие.

Таблица 2 – Сравнение экспериментальных значений модуля сдвига с расчетными значениями согласно [2] и [3]

№ серии	Модуль упругости согласно [2], $E_{obs [1]}$ (МПа)	Модуль упругости согласно [3], $E_{obs [2]}$ (МПа)	Модуль сдвига, $G_{obs,mv}$ (МПа)	Модуль сдвига в соответствии с [2], $G_{[1]}$ (МПа)	Модуль сдвига в соответствии с [3], $G_{[2]}$ (МПа)	Отношение $\frac{G_{obs,mv}}{G_{[1]}}$	Отношение $\frac{G_{obs,mv}}{G_{[2]}}$
КРО-1с	12900	22000	3378	5160	8800	0.65	0.38
КРО-2с	11000	17330	2744	4400	6932	0.62	0.40
КРО-3с	7500	10000	1612	3000	4000	0.54	0.40

Из таблицы 2 следует, что экспериментальные значения модуля сдвига $G_{obs,mv}$ ниже расчетных значений $G_{[1]}$, полученных согласно нормам [2] в 1.5-2 раза, и примерно ниже в 2.5 раза, чем расчетные значения $G_{[2]}$, установленные в соответствии с требованиями норм [3].

На рисунке 3 показаны графики изменения экспериментальных и расчетных значений модуля сдвига в зависимости от прочности кладочного раствора опытных образцов. На данных графиках видно, что более близкие к экспериментальным значениям дают расчеты модуля сдвига согласно нормам [2].

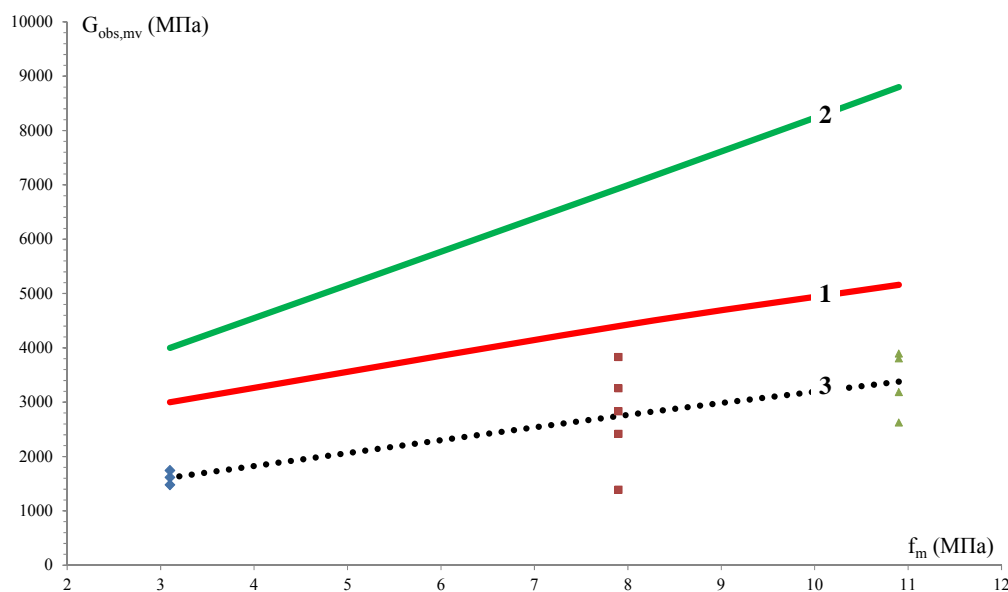


Рисунок 3 – Зависимость экспериментальных и расчетных значений модуля сдвига от прочности кладочного раствора: 1 - расчетные значения модуля сдвига в соответствии с [2], 2 - расчетные значения модуля сдвига в соответствии с [3], 3 – экспериментальные значения модуля сдвига.

На рисунке 4 приведены графики изменения модуля сдвига каменной кладки опытных образцов G_{obs} от уровня касательных напряжений τ_{obs} . Из данных графиков следует, что с ростом касательных напряжений происходит падение модуля сдвига. Более резкое падение его значений наблюдается в диапазоне касательных напряжений $\tau_{obs}=(0.1\div 0.3)\cdot S_s$, а в пределах $\tau_{obs}=(0.3\div 1)\cdot S_s$ величина модуля сдвига изменяется незначительно.

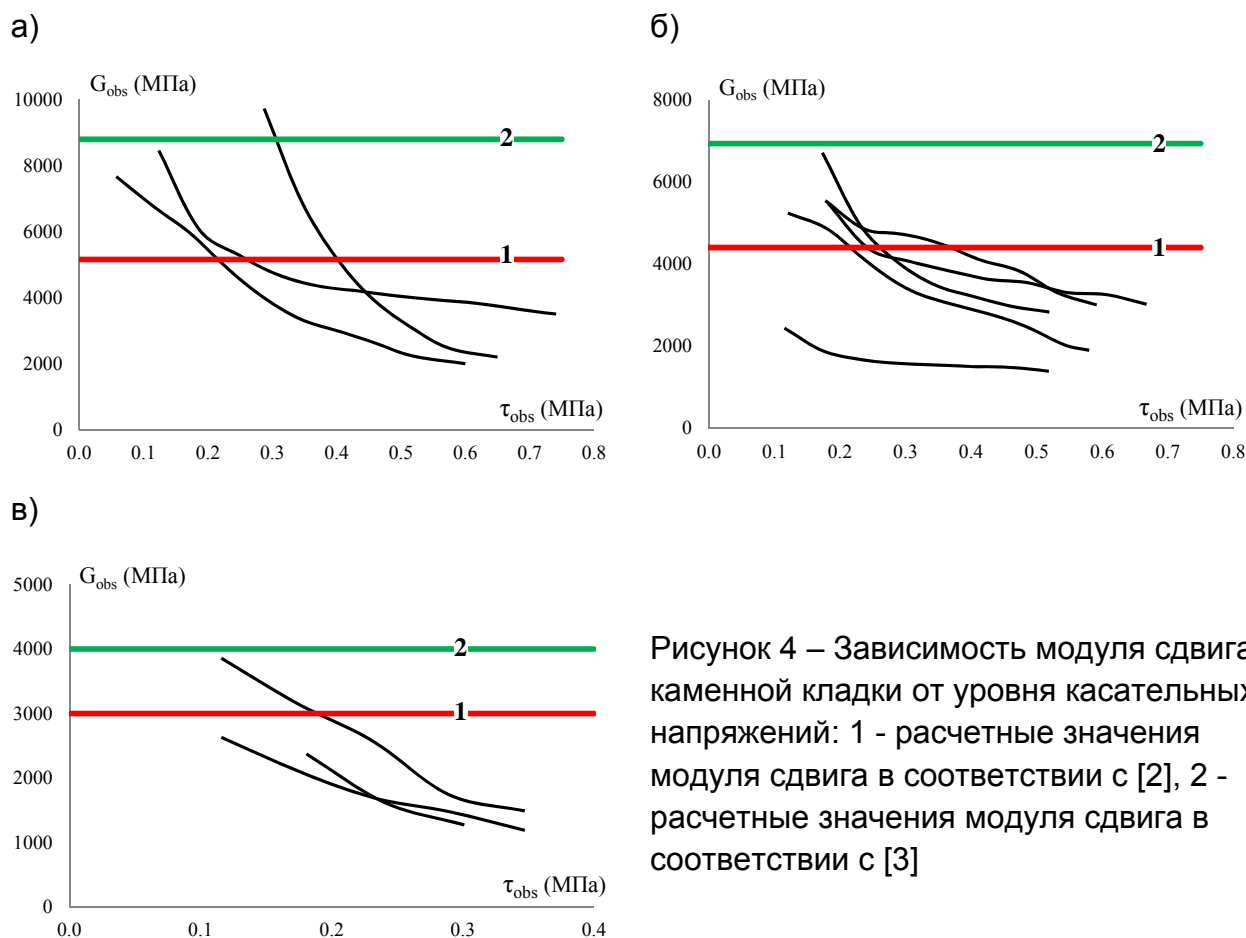


Рисунок 4 – Зависимость модуля сдвига каменной кладки от уровня касательных напряжений: 1 - расчетные значения модуля сдвига в соответствии с [2], 2 - расчетные значения модуля сдвига в соответствии с [3]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные значения модуля сдвига G , полученные для образцов каменной кладки, выполненной из полнотелого кирпича на цементном растворе, оказались ниже значений определенных в соответствии с требованиями норм [2, 3]. Более близкие к экспериментальным значениям дают расчеты модуля сдвига согласно нормам [2]. С ростом касательных напряжений в каменной кладке происходит падение ее модуля сдвига. По результатам экспериментальных исследований величину модуля сдвига G при расчете каменной кладки из керамических кладочных элементов I группы, на растворе общего назначения рекомендуется принимать равным 25% кратковременного модуля упругости E .

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Поляков, С.В. Каменная кладка в каркасных зданиях: Исследование прочности и жесткости каменного заполнения. – М.: Госстройиздат, 1956. – 192с.
2. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций: СТБ EN 1996-1-1-2008. – Введ.1.07.2009. – Минск: Госстандарт, 2009. – 127с.
3. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 40с.

4. ASTM E519-02. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages. – 5p.
5. Методы испытания раствора для каменной кладки. Часть 11. Определение прочности на растяжение при изгибе и прочности при сжатии затвердевшего раствора: EN 1015-11:1999+A1:2006. – Brussels: CEN/TC 125. – 18с.
6. Деркач, В.Н., Галалюк, А.В. Исследование модуля упругости каменной кладки из керамических и силикатных кладочных элементов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Строительство. Прикладные науки.- 2010.-№12. – С.77-81.

Источник: www.belniis.by