

Таблица 3. Сопоставление экспериментальных и численных исследований

№ серии	Начальное сопротивление сдвигу, МПа		Угол внутреннего трения		Предельное касательное сцепление, МПа		Максимальное сопротивление при сдвиге, МПа	
	$\frac{f_{vo,obs}}{f_{vo,cal}}$	%	$\frac{tg\alpha_{obs}}{tg\alpha_{cal}}$	%	$\frac{f_{vlt,obs}}{f_{vlt,cal}}$	%	$\frac{f_{v,max,obs}}{f_{v,max,cal}}$	%
МЦС	1.22	-1%	0.61	+39%	3.58	+5%	7.00	-2%
	1.21		0.85		3.75		6.89	
МЦП	1.47	-2%	0.49	+20%	3.20	+0.5%	4.00	-6%
	1.44		0.59		3.21		3.78	

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Mann, W. Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben. Die Bautechnik / W. Mann, H. Müller. – Heft 12. – Berlin: Ernst & Sohn, 1973. – S. 421–425.
- Mauerwerk nach Eignungsprüfung; Berechnung und Ausführung: DIN 1053. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 1984. – Teil 2. – 13 p.
- Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81*; с изм. №1 и №2. – Введ. 01.01.1983. – М: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР: ФГУП ЦПП, 2004. – 40 с.
- 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. – 128 с.
- Демчук, И.Е. Предельные значения прочности каменной кладки при сдвиге в Национальном приложении к Еврокоду 6 / И.Е. Демчук // Актуальные проблемы инновационной подготовки инженерных кадров при переходе строительной отрасли на европейские стандарты: сборник Международных научно-технических статей: материалы научно-метод. конф., г. Минск, 26–27 мая 2015 г. / БНТУ; редкол.: В.Ф. Зверев, С.М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2015. – С. 77–89.
- Методы испытаний изделий для каменной кладки: СТБ EN 772-1-2014. – Введ. 01.01.2015. – Часть 1. Определение прочности при сжатии. – Минск: Госстандарт. – 14 с.
- Методы испытаний растворов для каменной кладки. Определение прочности затвердевшего раствора при изгибе и сжатии: СТБ EN 1015-11-2012. – Введ. 01.09.2013. – Часть 11. – Минск: Госстандарт. – 12 с.
- Методы испытания каменной кладки. Определение начальной прочности при сдвиге: СТБ EN 1052-3-2008 – Введ. 20.02.2008. – Часть 3. – Минск: Госстандарт. – 12 с.

Материал поступил в редакцию 03.02.16

DEMCHUK I.E. Experimental and theoretical studies of masonry in shear with pre-compression

Experimental and numerical studies of shear strength of masonry from concrete masonry units were carried out. Based on the results of experimental studies the dependences of the shear strength of the masonry from the level of compressive stresses were identified. The obtained data was compared with the results of numerical calculations. The reasonability of application of the developed numerical model for further studies with a lack of experimental data was revealed.

УДК 69.022

Царук О.Г.

ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ИЗ КРУПНОФОРМАТНЫХ СИЛИКАТНЫХ БЛОКОВ С ПАЗОГРЕБНЕВЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШВОВ

Введение. Каменные кладки из крупноформатных силикатных блоков находят широкое применение в современном строительстве благодаря их технологичности и невысокой стоимости. Такие кладки применяются при возведении несущих и ненесущих стен, стен, являющихся заполнением монолитных железобетонных каркасов, внутренних межквартирных и межкомнатных перегородок. Благодаря высоким прочностным и звукоизоляционным характеристикам, стены и перегородки из силикатных блоков могут возводиться небольшой толщины, при этом необходимые теплотехнические характеристики наружных стен обеспечиваются слоем теплоизоляции. Кладки из силикатных блоков возводятся на тонкослойных растворных швах с пазогребневым соединением вертикальных швов без заполнения их раствором.

Необходимо отметить, что в 2011 году в Республике Беларусь в СЗАО «Кварцмелпром» введен в эксплуатацию завод по производству крупноформатных силикатных изделий, которые могут применяться для возведения кладок на тонкослойных швах. При этом, в действующих отечественных нормах отсутствуют данные о прочностных и деформационных характеристиках указанных кладок, что делает невозможным их применение при проектировании каменных конструкций.

На данном этапе работы в задачи исследований входило:

- выявление механизмов деформирования и разрушения камен-

ных кладок при сжатии;

- определение характеристических значений прочности кладок при сжатии – f_k ;
- определение деформационных характеристик каменных кладок (секущего модуля упругости E и коэффициента поперечной деформации ν).

Методика экспериментальных исследований. Определение прочностных и деформационных характеристик каменной кладки при сжатии производилось на образцах, изготовленных из крупноформатных силикатных полнотелых кладочных элементов на тонкослойном растворе.

В соответствии с Еврокодом 6 [1] прочностные и деформационные характеристики каменных кладок определяются на основании аналитических зависимостей или испытаний опытных образцов согласно стандартам серии СТБ EN 1052.

Форма и размеры образцов кладок назначались в соответствии с СТБ EN 1052-1-2015 [2]. Средняя приведенная прочность силикатных блоков при сжатии f_B составила 22.5 МПа, средняя прочность раствора $f_m=10.3$ МПа. Было испытано две серии образцов из кладочных элементов различных размеров:

Царук Ольга Григорьевна, младший научный сотрудник филиала РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр. Беларусь, 224023, г. Брест, ул. Московская, 267/2.



1 – образец кладки, 2 – индикаторы перемещений часового типа ИГП-1 с ценой деления 0,001 мм; $h_s = 750 \dots 1500$ мм; $l_s = 750$ мм; $t_s = 248$ мм
 а, б – общий вид образцов серий b250, bb250, в – схемы расстановки приборов

Рис. 1. Общий вид и схемы испытаний опытных образцов

- серия b250 – образцы, выполненные из кладочных элементов размерами 498x248x249 мм;
- серия bb250 – образцы, выполненные из кладочных элементов размерами 498x248x498 мм.

Каждая серия включала в себя 5 испытываемых образцов кладки.

Сжимающая нагрузка передавалась на кладку с помощью гидравлических домкратов через жесткую стальную траверсу. Для измерения деформаций кладки использовались механические индикаторы часового типа с ценой деления 0.001 мм, установленные на базе от 250 до 500 мм в зависимости от размеров опытного образца (см. рис. 1).

Общий вид, геометрические характеристики образцов кладки и схема расстановки измерительных приборов представлены на рисунке 1.

Прочность при сжатии отдельного испытываемого образца рассчитывалась по формуле (1):

$$f_{obs,i} = \frac{F_{i,max}}{A_i} \quad (1)$$

Модуль упругости кирпичной кладки (E_i) определялся как секущий модуль при среднем значении относительной деформации, измеренной в двух точках ϵ_i , и нагрузке, равной одной трети разрушающей нагрузки $F_{i,max}$ (2).

$$E_i = \frac{F_{i,max}}{3 \cdot \epsilon_y \cdot A_i} \quad (2)$$



а) – серии b250, б) – серии bb250

Рис. 2. Характер разрушения опытных образцов кладки при сжатии

Таблица 1. Прочностные характеристики каменных кладок

№ серии	№ п/п	Нагрузка трещинообразования F_{cr} , кН	Разрушающая нагрузка $F_{i,max}$, кН	Прочность при сжатии f , МПа	Характеристическая прочность при сжатии f_{ik} , МПа
b250	1	750	2200	11.9	9.9
	2	1800	2540.5	13.8	11.5
	3	1600	2343.6	12.7	10.6
	4	1200	2459.2	13.2	11.0
	5	1000	2400	12.9	10.8
Среднее значение		1270	2390	12.9	10.8
Коефф. вариации, %		-	5	5	5
bb250	1	1200	1666.2	9.0	7.5
	2	1800	1976.2	10.7	8.9
	3	1800	2024	10.9	9.1
	4	1400	1838.2	9.9	8.3
	5	1400	1878	10.2	8.5
Среднее значение		1520	1880	10.1	8.4
Коефф. вариации, %		-	7	7	7

Кoeffициент поперечной деформации ν (коэффициент Пуассона) определялся как отношение поперечной относительной деформации к продольной (3).

$$\nu = \left| \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} \right|, \quad (3)$$

где $F_{i,max}$ – максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом каменной кладки;

A_j – площадь поперечного сечения образца;

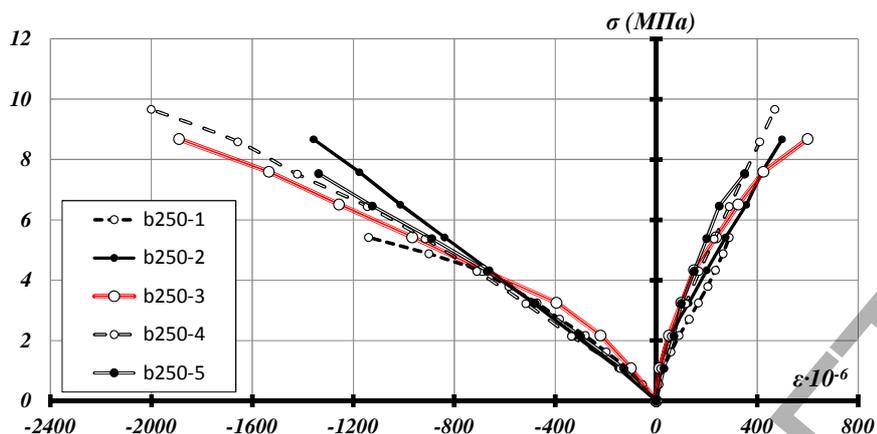
A_i – площадь поперечного сечения образца.

ϵ_x – относительные поперечные деформации;

ϵ_y – относительные продольные деформации.

Результаты экспериментальных исследований. Испытания показали, что при действии сжимающей нагрузки на образцы кладки из силикатных блоков, в образцах серии b250 первые трещины возникали в средней по высоте части опытных образцов или в блоках, контактирующих с плитами пресса. Величина нагрузок трещинообразования F_{cr} составляла 0.4–0.7 от разрушающей нагрузки F_{max} . Образование первых трещин в кладке из блоков bb250 происходило при более высоких нагрузках $\approx 0.7-0.9F_{max}$. Увеличение нагрузки приводило к развитию трещин в вертикальном направлении по швам кладки и телу силикатных блоков и образованию новых трещин, разделяющих массив кладки на отдельные вертикальные фрагменты. Разрушение опытных образцов происходило хрупко в результате раздробления выделившихся фрагментов кладки и сопровождалось образованием на торцевых гранях вертикальных трещин, разрывающих кладку в поперечном направлении (рис. 2).

а)



б)

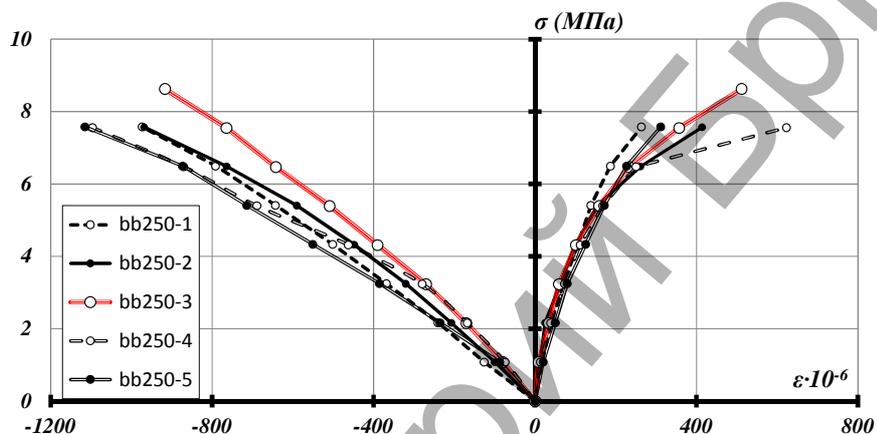


Рис. 3. Диаграммы деформирования кладки: а) серия b250; б) серия bb250

Таблица 2. Деформационные характеристики каменных кладок

№ серии	№ п/п	Начальный модуль упругости E_{0i} , МПа	Кратковременный модуль упругости, E , МПа	Коэффициент поперечной деформации, ν
b250	1	10100	6400	0.34
	2	7200	6500	0.31
	3	10900	6400	0.22
	4	7600	6000	0.24
	5	8400	6400	0.22
Среднее значение		8800	6300	0.27
Кoeff. вариации, %		18	3	21
bb250	1	8600	8800	0.19
	2	10800	10000	0.21
	3	13600	11600	0.24
	4	14600	11400	0.26
	5	12400	8300	0.21
Среднее значение		12000	10000	0.22
Кoeff. вариации, %		20	15	13

Прочностные характеристики кладки при сжатии и значения нагрузки трещинообразования приведены в таблице 1.

На рисунке 3 приведены диаграммы деформирования опытных образцов кладки, на основании которых определены значения секущего модуля упругости и коэффициента поперечных деформаций (таблица 2).

Заключение. При проектировании каменных конструкций с применением кладок из силикатных крупноформатных блоков с пазогребневым соединением вертикальных швов на тонкослойном клеевом растворе рекомендуется принимать следующие прочностные и деформационные характеристики кладок:

- характеристические значения прочности при сжатии:
 - для кладки из блоков размерами 498x248x249 мм – $f_k=12.9\text{МПа}$;
 - для кладки из блоков размерами 498x248x498 мм – $f_k=10.1\text{МПа}$;
- значения кратковременного модуля упругости и коэффициента поперечной деформации:
 - для кладки из блоков размерами 498x248x249 мм – $E=6300\text{МПа}$, $\nu=0.27$;
 - для кладки из блоков размерами 498x248x498 мм – $E=10000\text{МПа}$, $\nu=0.22$.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций: СТБ EN 1996-1-1-2008 – Введ. 1.07.2009. – Минск: Госстандарт, 2009. –

Часть 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций – 128 с.

2. Методы испытаний каменной кладки: СТБ EN 1052-1-2015 – Введ. 01.11.2015. – Минск: Госстандарт. – Часть 1. Определение прочности при сжатии – 10 с.

Материал поступил в редакцию 02.02.16

TSARUK O.G. Compressive strength of masonry from large-scale silicate blocks with groove connection system of vertical joints

Experimental studies of compressive strength of masonry specimens from large-scale silicate blocks with groove connection system of vertical joints on thin mortar joints were carried out. Based on the results of experimental studies the features of cracking and failure of masonry under the compressive force acting perpendicular to the plane of the horizontal mortar joints were identified. Stress-strain diagrams of masonry were obtained, and the initial and secant modulus of elasticity were calculated. The characteristic values of the compressive strength of masonry were obtained.

УДК 624.011.1

Захаркевич И.Ф., Шевчук В.Л.

АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИСЯЧИХ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОПИЛ

Введение. В современном строительстве широкое распространение получают скатные крыши с применением наслонных и висячих деревянных стропил. Висячие стропила пролетами до 12 м применяются в зданиях без средних опор (стен или колонн) с опиранием на наружные стены. Основными элементами висячих стропил являются стропильные ноги и затяжки.

Уклон кровли составляет $i = 0,5 - 1,0$ ($\alpha = 25^\circ - 45^\circ$), что соответствует отношению $h/l = \frac{1}{4} - \frac{1}{2}$.

В соответствии с [1] расчетная схема висячих стропил представлена на рис. 1.

С точки зрения статики такая система является геометрически неизменяемой и статически определимой.

В [1] приведены формулы для определения усилий в элементах при действии равномерно-распределенной нагрузки на горизонтальную проекцию стропил (с оговоркой, что это приближенные формулы).

Опорные реакции:

$$A = B = \frac{q \cdot l}{2}. \quad (1)$$

Изгибающий момент в стропильной ноге в месте примыкания затяжки:

$$M_c = \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot \left(\frac{h^2 - a^2}{h^2} \right). \quad (2)$$

Продольное усилие в затяжке:

$$H = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot a}. \quad (3)$$

Продольное усилие на нижнем участке стропильной ноги:

$$N_1 = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{S}{h}. \quad (4)$$

Продольное усилие на верхнем участке стропильной ноги:

$$N_2 = \frac{q \cdot l}{4} \cdot \frac{S}{a}. \quad (5)$$

Целью исследования явилось решение следующих задач:

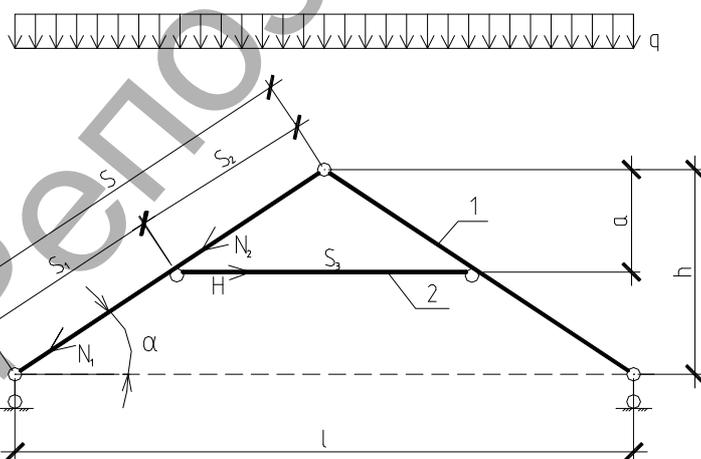
1. Установить достоверность приведенных выше формул.
2. Установить зависимость напряженного состояния элементов системы от следующих факторов:

- от расположения затяжки по высоте системы;
- от угла наклона стропильных ног;
- от способа закрепления опор.

Для установления достоверности приведенных формул выполнен тестовый пример для схемы стропил на рисунке 1 при следующих данных $l = 9$ м, $a = 1,5$ м, $h = 3$ м, $q = 1,5$ кН/м.

Расчет выполнялся с использованием программы "SIRIUS". Результаты расчета приведены на рисунке 2.

В результате анализа полученных данных (таблица 1) были



1 – стропильная нога, 2 – затяжка
Рис. 1. Расчетная схема висячих стропил

Здесь:

- l – пролет системы;
- a – расстояние от конька до затяжки;
- S – общая длина стропильной ноги;
- S_1 – длина нижнего участка стропильной ноги (от опоры до затяжки);
- S_2 – длина верхнего участка стропильной ноги (от затяжки до конька);
- S_3 – длина затяжки

Захаркевич Иван Филиппович, к.т.н., доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.