

Демчук Игорь Евгеньевич, аспирант,
РУП «Институт БелНИИС», младший научный
сотрудник, филиал РУП «Институт БелНИИС» –
«Научно-технический центр», г. Брест

Деркач Валерий Николаевич, канд. техн. наук,
заместитель директора,
филиал РУП «Институт БелНИИС» –
«Научно-технический центр», г. Брест

ПРОЧНОСТЬ НА РАСТЯЖЕНИЕ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ИЗ КЕРАМЗИТОВОГО КИРПИЧА

TENSION STRENGTH IN THE CLAYDITE BRICKS MASONRY

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований прочности на растяжение при изгибе кладки из полнотелого керамзитового кирпича. Показаны механизмы разрушения опытных образцов каменной кладки. Произведено сравнение полученных результатов с данными действующих нормативных документов.

Abstract

The experimental tests results of the flexural strength of solid claydite bricks masonry are presented. The mechanisms of the specimens' failure is shown. The comparison of results received with the data of current standard documents is made.

ВВЕДЕНИЕ

Кладка из керамзитобетонных кладочных элементов широко применяется при возведении стенового ограждения каркасных зданий. Практика эксплуатации таких зданий показывает, что стеновое ограждение зачастую подвергается трещинообразованию, что нормативными документами квалифицируется как нарушение предельного состояния эксплуатационной пригодности [3], [5]. Важнейшими характеристиками, определяющими трещиностойкость каменного заполнения, являются сопротивление каменной кладки растяжению при изгибе

по неперевязанному (f_{xk1}) и перевязанному (f_{xk2}) сечениям, которые учитываются при проектировании стен, подверженных переменной (ветровой) нагрузке, действующей перпендикулярно их плоскости.

Анализ национальных приложений к Еврокоду 6 (ЕС6) [3] стран – участниц СЕН показывает, что в большинстве национальных приложений значения f_{xk1} и f_{xk2} приняты равными значениям, рекомендованным [4].

Исключение составляют национальные приложения Великобритании [2] и Эстонии [1], значения прочности кладки на растяжение в которых в 4–2,5 раза выше, чем в ЕС6.

Принятие большинством стран СЕН низких значений f_{xk1} и f_{xk2} , рекомендуемых ЕС6, объясняется отсутствием собственных исследований данных параметров. В то же время существенная разница в значениях f_{xk1} и f_{xk2} , установленных в национальных приложениях Великобритании [2], Эстонии [1] и в СТБ EN 1996-1-1-2008 [4], свидетельствует о необходимости проведения испытаний каменных кладок, выполненных из отечественных материалов, для получения достоверных прочностных показателей.

В настоящей статье приведены результаты определения характеристической прочности на растяжение при изгибе каменных кладок, выполненных из керамзитобетонных кладочных элементов на стандартных растворных швах, и проведено сопоставление полученных результатов с данными норм [4] и [6].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Испытания проводились на образцах каменной кладки, изготовленных из полнотелых керамзитовых кирпичей КРЗУ на растворе общего назначения различной прочности, которая определялась одновременно с испытанием образцов в соответствии с методикой [8].

Согласно СТБ EN 1052-2 [7] характеристическую прочность каменной кладки на растяжение при изгибе по перевязанному или неперевязанному сечению определяли на образцах прямоугольного сечения, которые испытывались по балочной схеме с двумя опорами на всю ширину стенки и двумя полосовыми равномерно распределенными нагрузками q между ними. Схемы испытаний образцов-стенок на растяжение при изгибе приведены на рис. 1а и 2а.

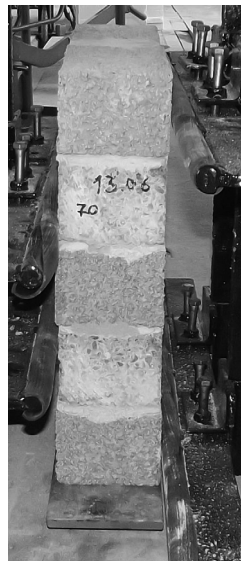
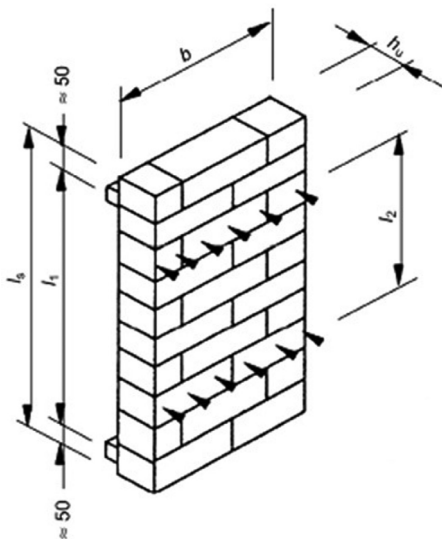


Рисунок 1. Испытание образца на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению: а – схема испытания; б – опытный образец в испытательной установке

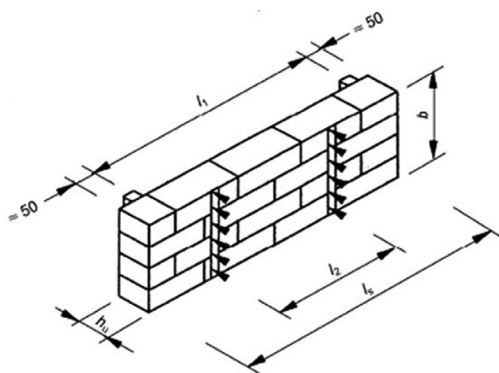


Рисунок 2. Испытание образца на растяжение при изгибе по перевязанному сечению: а – схема испытания; б – опытный образец в испытательной установке

Прочность на растяжение при изгибе f_{xi} , Н/мм² для каждого испытываемого образца рассчитывают по формуле (1):

$$f_{xi} = \frac{3 \cdot F_{i,max} \cdot (l_1 - l_2)}{2 \cdot b \cdot l_u^2}, \quad (1)$$

где $F_{i,max}$ – максимальная нагрузка, воспринимаемая испытываемым образцом, Н;

l_1 – расстояние между наружными опорами, мм;

l_2 – расстояние между внутренними опорами, мм;

b – ширина испытываемого образца кладки, измеренная перпендикулярно направлению действующих напряжений, мм;

l_u – ширина изделия (кладочного элемента) для каменной кладки, мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ ПО НЕПЕРЕВЯЗАННОМУ СЕЧЕНИЮ

Были изготовлены две серии опытных образцов кладки. Образцы серии КРЗУ-1ин выполнялись на растворе прочностью при сжатии $f_m = 6,81$ МПа, КРЗУ-2ин – $f_m = 2,09$ МПа. Каждая серия включала по пять образцов кладки.

В результате проведенных испытаний было отмечено три типа разрушения образцов: на границе между строительным раствором и кладочным элементом и при растяжении в пределах кладочного элемента вблизи границы; на границе между строительным раствором и кладочным элементом и при растяжении в пределах слоя раствора; на границе между строительным раствором и кладочным элементом (рис. 3).

С увеличением прочности раствора прочность на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению возрастала. Для образцов, выполненных на растворе прочностью при сжатии $f_m = 6,81$ МПа, среднее значение прочности на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению f_{xl} составило 1,00 МПа. Образцы, изготовленные на растворах прочностью при сжатии $f_m = 2,09$ МПа, показали прочность на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению $f_{xl} = 0,34$ МПа. Результаты испытаний приведены в табл. 1.



a



б



в

Рисунок 3. Характер разрушения образцов:
а – на границе между строительным раствором и кладочным элементом и при растяжении в пределах кладочного элемента вблизи границы;
б – на границе между строительным раствором и кладочным элементом и при растяжении в пределах слоя раствора;
в – на границе между строительным раствором и кладочным элементом

Таблица 1

**Результаты испытаний по определению прочности
на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению**

№ серии	№ образца	Прочность кладочного раствора при сжатии f_m (МПа)	Нормализованная прочность кирпича f_b (МПа)	Геометрические параметры				Разрушающая нагрузка $F_{i,max}$ (Н)	Прочность на растяжение при изгибе f_{xt} (МПа)
				b (мм)	t_u (мм)	l_1 (мм)	l_2 (мм)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КРЗУ-1ин	1	6,81	6,15	515	125	379	138	23340	1,05
	2			517	119	379	138	23200	1,15
	3			512	121	379	138	16620	0,80
	4			516	122	379	138	18920	0,89
	5			517	119	379	138	22810	1,13
Среднее значение								20978	1,00
Среднеквадратичное отклонение								3045	0,151
Коэффициент вариации								0,145	0,150
КРЗУ-2ин	1	2,09	6,15	511	118	379	138	7630	0,39
	2			517	117	379	138	4650	0,24
	3			516	120	379	138	8290	0,40
	4			515	119	379	138	5100	0,25
	5			512	119	379	138	7910	0,39
Среднее значение								6716	0,34
Среднеквадратичное отклонение								1704	0,083
Коэффициент вариации								0,254	0,246

Графическая интерпретация полученных результатов в сравнении с соответствующими значениями, установленными нормами [4] и [6], представлена на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что экспериментальные данные оказались значительно выше соответствующих значений [4] и [6] при любых прочностях кладочного раствора.

В табл. 2 представлено сопоставление значения нормативной прочности R^u на растяжение при изгибе в соответствии с [6]

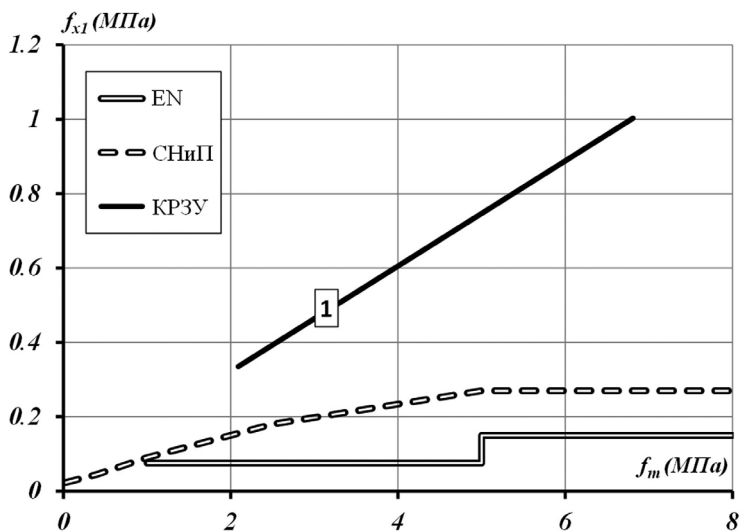


Рисунок 4. Зависимость значений прочности на растяжение при изгибе по непрерыванному сечению (f_{xk1}) от прочности раствора (f_m):
1 – экспериментальные значения

и характеристической прочности f_{xk1} на растяжение при изгибе по непрерыванному сечению в соответствии с [4] с экспериментально полученными значениями $f_{xk1,obs}$.

Таблица 2

Сравнение результатов испытаний по определению прочности на растяжение при изгибе по непрерыванному сечению

Прочность кладочного раствора при сжатии f_m (МПа)	Экспериментально полученная характеристическая прочность на растяжение при изгибе $f_{xk1,obs}$ (МПа)	Нормативная прочность на растяжение при изгибе R^b [6] (МПа)	Характеристическая прочность на растяжение при изгибе f_{xk1} [4] (МПа)	$\frac{f_{xk1,obs}}{R^b}$ [6]	$\frac{f_{xk1,obs}}{f_{xk1}}$ [4]
1	2	3	4	5	6
2,09	0,22	0,09	0,05	2,4	4,4
6,81	0,67	0,16	0,10	4,2	6,7

Из табл. 2 следует, что более близкие к $f_{xk1,obs}$ значения нормативной прочности R^u установлены в отечественных нормах [6]. Тем не менее нормативная прочность на растяжение при изгибе R^u была в 2,4–4,2 раза ниже, чем установленная экспериментально $f_{xk1,obs}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ ПО ПЕРЕВЯЗАННОМУ СЕЧЕНИЮ

Было изготовлено две серии опытных образцов кладки. Образцы серии КРЗУ-1ип выполнялись на растворе прочностью при сжатии $f_m = 6,81 \text{ МПа}$, КРЗУ-2ип – $f_m = 2,09 \text{ МПа}$. Каждая серия включала по пять образцов кладки.

В результате проведенных испытаний было отмечено два типа разрушения образцов:

- критическая трещина проходит по вертикальным растворным швам и кладочному элементу (рис. 5а);
- критическая трещина проходит только по кладочным элементам (рис. 5б).

Характер разрушения, показанный на рис. 5а, чаще всего реализовывался в образцах, выполненных на растворе прочностью $f_m = 2,09 \text{ МПа}$.

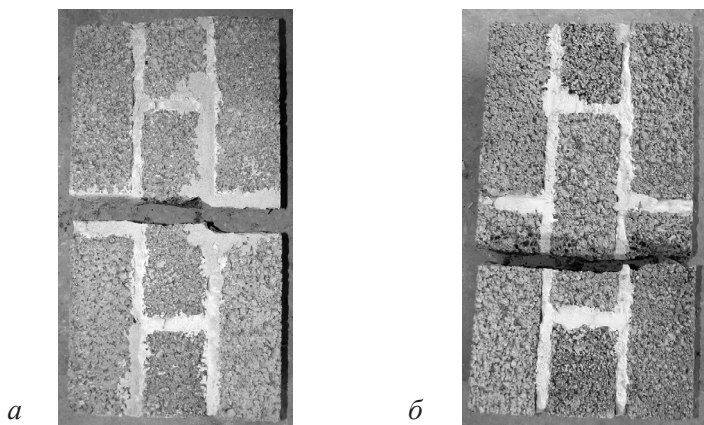


Рисунок 4. Характер разрушения образцов:

- а – при нарушении сцепления в соединении между кладочными элементами и раствором
- и в результате разрушения кладочного элемента;
- б – в результате разрушения кладочных элементов

С увеличением прочности раствора прочность на растяжение при изгибе по перевязанному сечению возрастала. Для образцов, выполненных на растворе прочностью при сжатии $f_m = 6,81$ МПа, среднее значение прочности на растяжение при изгибе по перевязанному сечению f_{x2} составило 1,25 МПа. Образцы, изготовленные на растворах прочностью при сжатии $f_m = 2,09$ МПа, показали прочность на растяжение при изгибе по перевязанному сечению $f_{x2} = 0,86$ МПа. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний по определению прочности на растяжение при изгибе по перевязанному сечению

№ серии	№ образца	Прочность кладочного раствора при сжатии f_m (МПа)	Нормализованная прочность кирпича f_b (МПа)	Геометрические параметры				Разрушающая нагрузка $F_{i,max}$ (Н)	Прочность на растяжение при изгибе f_{x2} (МПа)
				b (мм)	t_u (мм)	l_1 (мм)	l_2 (мм)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КРЗУ-1ип	1	6,81	6,15	288	120	410	177	15950	1,34
	2			286	117	410	177	13280	1,19
	3			281	120	410	177	14080	1,22
	4			283	119	410	177	14100	1,23
	5			286	120	410	177	15000	1,27
Среднее значение								14482	1,25
Среднеквадратичное отклонение								1022	0,061
Коэффициент вариации								0,071	0,049
КРЗУ-2ип	1	2,09	6,15	290	118	410	177	11270	0,98
	2			290	120	410	177	9270	0,78
	3			289	119	410	177	9800	0,84
	4			290	120	410	177	10900	0,91
	5			290	119	410	177	9400	0,80
Среднее значение								10128	0,86
Среднеквадратичное отклонение								905	0,083
Коэффициент вариации								0,089	0,096

Графическая интерпретация полученных результатов в сравнении с соответствующими значениями, установленными нормами [4] и [6], представлена на рис. 6.

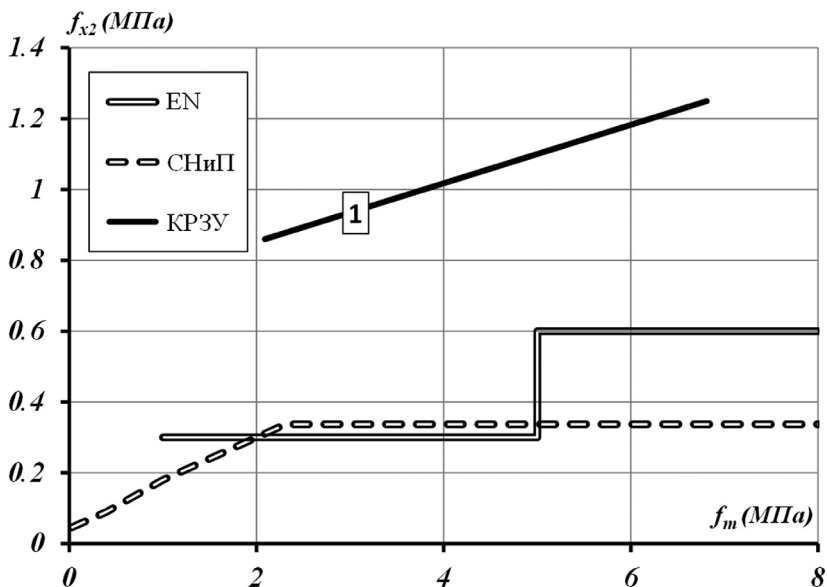


Рисунок 6. Зависимость значений прочности на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению (f_{x2}) от прочности раствора (f_m):
1 – экспериментальные значения

Из рис. 6 следует, что экспериментальные данные оказались значительно выше соответствующих значений [4] и [6] при любых прочностях кладочного раствора.

В табл. 4 представлены значения нормативной прочности R^H на растяжение при изгибе в соответствии с [6] и характеристической прочности f_{xk2} на растяжение при изгибе по перевязанному сечению в соответствии с [4] в сравнении с экспериментально полученными значениями $f_{xk2,obs}$.

**Сравнение результатов испытаний
по определению прочности на растяжение
при изгибе по перевязанному сечению**

Прочность кладочного раствора при сжатии f_m (МПа)	Экспериментально полученная характеристическая прочность на растяжение при изгибе $f_{xkl,obs}$ (МПа)	Нормативная прочность на растяжение при изгибе R^H [6] (МПа)	Характеристическая прочность на растяжение при изгибе f_{xkl} [4] (МПа)	$\frac{f_{xkl,obs}}{R^H}$ [6]	$\frac{f_{xkl,obs}}{f_{xkl}}$ [4]
1	2	3	4	5	6
2,09	0,57	0,19	0,2	3	2,9
6,81	0,83	0,20	0,4	4,2	2,1

В отличие от случая изгиба кладки по непереязанному сечению при изгибе по перевязанному сечению более близкие к экспериментальным значения прочности на растяжение установлены в нормах [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам испытаний каменных кладок из керамзитового кирпича можно сделать следующие заключения.

1. Характеристическая прочность на растяжение при изгибе по непереязанному сечению составляет:

– для образцов на растворе прочностью $f_m = 6,81$ МПа – $f_{xkl} = 0,67$ МПа, что в 6,7 раза выше значения f_{xkl}^H установленного в [4], и в 4,2 раза выше R^H , установленного в [6];

– для образцов на растворе прочностью $f_m = 2,09$ МПа – $f_{xkl} = 0,22$ МПа, что в 4,4 раза выше значения f_{xkl}^H установленного в [4], и в 2,4 раза выше R^H , установленного в [6].

2. Характеристическая прочность на растяжение при изгибе по перевязанному сечению составляет:

– для образцов на растворе прочностью $f_m = 6,81$ МПа – $f_{xkl_2} = 0,83$ МПа, что в 2,1 раза выше значения $f_{xkl_2}^H$ установленного в [4], и в 4,2 раза выше R^H , установленного в [6];

– для образцов на растворе прочностью $f_m = 2,09$ МПа – $f_{\text{ск2}} = 0,57$ МПа, что в 2,9 раза выше значения $f_{\text{ск2}}$, установленного в [4], и в 3 раза выше R^n , установленного в [6].

3. Для разработки национального приложения к ЕС6 требуется проведение системных экспериментальных исследований прочности на растяжение при изгибе каменных кладок из отечественных кладочных материалов.

Список использованных источников

1. Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. Estonian National Annex. EVS-EN 1996-1-1 / NA : 2008. – Rat. 20.03.08. – Tallinn : Estonian Centre for Standardisation, 2008.
2. UK National Annex to Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures: BS EN 1996-1-1 : 2005. – London : BSI, 2005.
3. Деркач, В.Н. О стеновом ограждении каркасных зданий / В.Н. Деркач // Строительная наука-2010: теория, практика, инновации Северо-Арктическому региону: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф., Архангельск, 2010 г. / Северный (Арктический) федеральный университет. – Архангельск, 2010. – С. 149–156.
4. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций: СТБ EN 1996-1-1-2008. – Введ. 01.07.09. – Минск : Мин-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь / Госстандарт, 2009. – 128 с.
5. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки / М.К. Ищук. – М. : Стройматериалы, 2009. – 360 с.
6. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81* (с изм. № 1 и № 2). – Введ. 01.01.83. – М. : ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР: ФГУП ЦПП, 2004. – 40 с.
7. Методы испытания каменной кладки. Часть 2. Определение прочности на растяжение при изгибе: СТБ EN 1052-2-2009 – Введ. 01.01.10. – Минск : Мин-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь / Госстандарт, 2009. – 22 с.
8. 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, 2006. – 18 с.

Статья поступила в редколлегию 14.10.2013