

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

**Галалюк Антон Владимирович**, аспирант,  
филиал РУП «Институт БелНИИС» –  
«Научно-технический центр», г. Брест

## **АНИЗОТРОПИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ СЖАТИИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ КЛАДОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

### **ANISOTROPY OF THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF CLAYDITE-CONCRETE BRICKS MASONRY IN COMPRESSION**

#### **Аннотация**

*Приведены результаты экспериментальных исследований анизотропии прочностных и деформационных характеристик при сжатии каменной кладки из керамзитобетонных кладочных элементов на растворе общего назначения. Показано, что степень анизотропии указанных характеристик не зависит от прочности кладочного раствора.*

#### **Abstract**

*The article contains the results of the experimental researches of masonry compression strength and deformation characteristics' anisotropy. Masonry specimens were made of claydite-concrete masonry elements with general-purpose mortar. It is shown that the anisotropy of these characteristics is independent on the strength of masonry mortar.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Кладка из керамзитобетонных кладочных элементов зачастую используется в качестве стенового заполнения каркасных зданий. При перекосе панелей каркаса в плоскости заполнения, которые вызываются ветровыми воздействиями или неравномерными деформациями основания, могут иметь место ситуации, при которых каменная кладка оказывается сжатой вдоль и поперек горизонтальных растворных швов [1]. В этом случае для оценки предельного

состояния каменного заполнения требуется знание прочностных характеристик каменной кладки при сжатии в направлениях главных осей анизотропии ( $f_x; f_y$ ), которые совпадают с горизонтальными и вертикальными растворными швами. Расчет напряжений и деформаций в заполнении при перекосе может быть выполнен при наличии данных о деформационных характеристиках каменной кладки в направлении главных осей анизотропии: модулей упругости ( $E_x; E_y$ ) и коэффициентов Пуассона ( $\nu_{xy}; \nu_{yx}$ ).

В действующих нормах [2, 3] указанные значения прочностных и деформационных характеристик в полном объеме отсутствуют.

### МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Определение прочностей и деформационных характеристик каменной кладки производилось на образцах, изготовленных из керамзитовых полнотелых кладочных элементов. Размеры и форма образцов приняты в соответствии с EN 1052-1 [4].

Были испытаны три серии образцов с приложением нагрузки перпендикулярно и параллельно плоскости горизонтальных растворных швов. Каждая серия включала в себя три испытываемых образца и была изготовлена с применением кладочного раствора различной прочности при неизменной нормализованной прочности кладочных элементов, определенной в соответствии с [6] и равной  $f_b = 6,2$  МПа при сжатии перпендикулярно «постели» и  $f_b = 5,6$  МПа при сжатии перпендикулярно «тычку». Серия КРЗУ-1 изготавливалась на растворе прочностью  $f_m = 10,34$  МПа; КРЗУ-2 – на растворе прочностью  $f_m = 6,13$  МПа; КРЗУ-3 – на растворе прочностью  $f_m = 2,59$  МПа. Общий вид образцов, геометрические характеристики и схема расстановки измерительных приборов представлены на рис. 1 и 2.

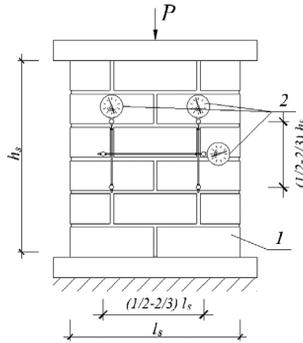
Нагружение опытных образцов производилось при помощи гидравлического пресса П-125. Усилие возрастало равномерно, при этом скорость нагружения выбиралась такой, чтобы достичь разрушения образца в пределах 15–30 минут от начала приложения нагрузки. Во время снятия отсчетов по приборам нагрузка поддерживалась на постоянном уровне.

Измерения производились до появления сквозных трещин в зоне установки индикаторов.

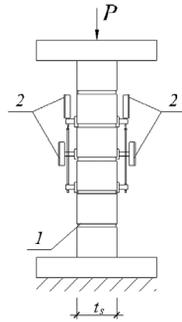
Прочность при сжатии отдельного испытываемого образца кладки рассчитывалась с точностью до  $0,1$  Н/мм<sup>2</sup> по формуле (1):



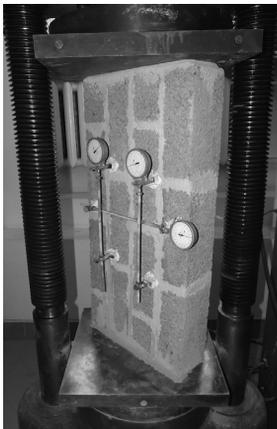
*a*



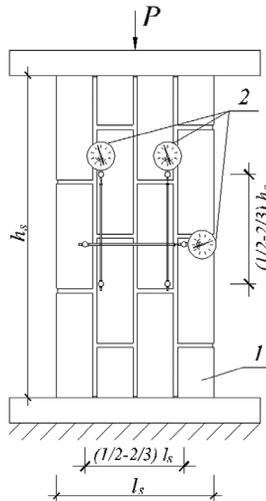
*б*



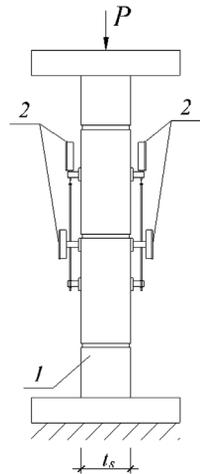
**Рисунок 1.** Схема испытаний опытных образцов при сжатии поперек горизонтальных растворных швов: а – общий вид; б – схема расстановки приборов (1 – опытный образец; 2 – индикаторы перемещений часового типа ИГП-1 с ценой деления 0,001 мм;  $h_s = 580$  мм;  $l_s = 510$  мм;  $t_s = 120$  мм)



*a*



*б*



**Рисунок 2.** Схема испытаний опытных образцов при сжатии вдоль горизонтальных растворных швов: а – общий вид; б – схема расстановки приборов (1 – опытный образец; 2 – индикаторы перемещений часового типа ИГП-1 с ценой деления 0,001 мм;  $h_s = 770$  мм;  $l_s = 380$  мм;  $t_s = 120$  мм)

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

где  $F_{i,\max}$  – максимальная нагрузка воспринимаемая образцом каменной кладки;  
 $A_i$  – площадь поперечного сечения образца.

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

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

где  $F_{i,\max}$  – максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом каменной кладки;  
 $A_i$  – площадь поперечного сечения образца;  
 $\varepsilon$  – относительные продольные деформации.

Коэффициент поперечной деформации  $\nu$  (коэффициент Пуассона) определялся по формуле (3):

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon}{\varepsilon'} \right|, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – относительные продольные деформации;  
 $\varepsilon'$  – относительные поперечные деформации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При сжатии каменной кладки в направлении, перпендикулярном горизонтальным растворным швам, наблюдалось разрушение образцов по двум характерным схемам.

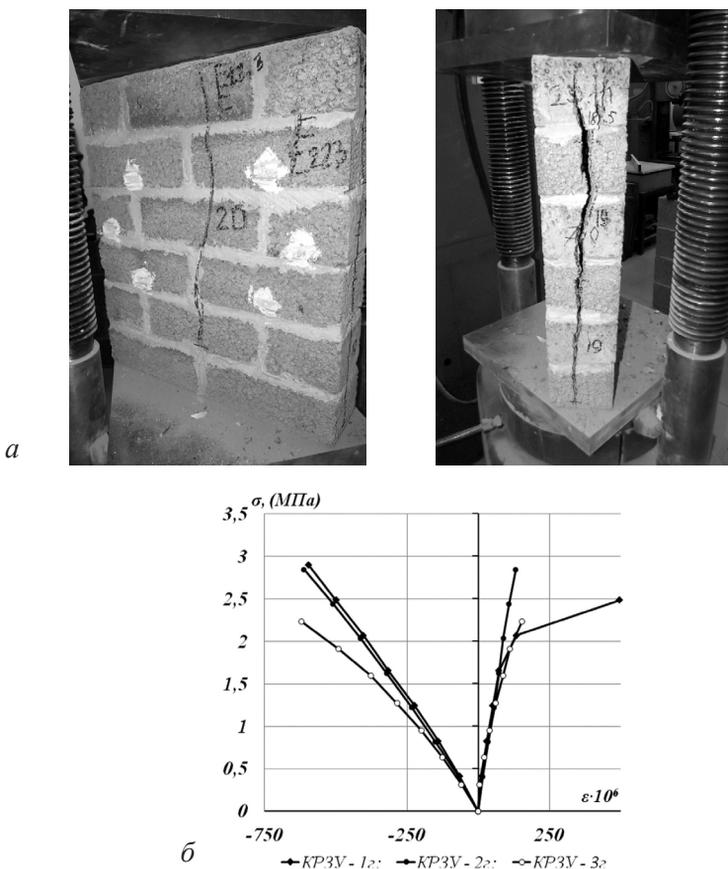
При разрушении образцов по первой схеме первые трещины образовывались в торце образца, проходя через 1...5 рядов кладки (при нагрузке, равной 0,8–0,9  $F_{\max}$ ). Далее с увеличением нагрузки образовались трещины в зоне установки индикаторов, пересекая одновременно 4...5 рядов кладки, разделяя образец на две равные части; одновременно происходило увеличение ширины раскрытия ранее образовавшихся трещин в торцах образцов.

При разрушении образцов по второй схеме первые трещины образовывались в зоне установки индикаторов перемещений,

разделяя образцы на равные столбы (при нагрузке  $0,4 - 0,8 F_{\max}$ ). С увеличением нагрузки образовывались новые трещины в торцах образцов и увеличивалась ширина раскрытия ранее образовавшихся трещин.

Разрушение образцов сопровождалось значительным расширением ранее образовавшихся трещин и смятием верхних рядов испытываемой кладки.

На рис. 3 показаны характерные виды разрушения и диаграммы деформирования опытных образцов.



**Рисунок 3.** Характерный вид разрушения опытных образцов (а); диаграммы деформирования каменной кладки на растворах различной прочности при сжатии (б)

По диаграммам деформирования были определены значения секущего модуля упругости ( $E$ ) по зависимости (2) и коэффициента Пуассона ( $\nu$ ) по зависимости (3) (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты испытаний каменной кладки сжимающей нагрузкой перпендикулярно горизонтальным раствором швам**

№ серии испытываемых образцов	Прочность каменной кладки при сжатии $f_{y,obs}$ (МПа)		Модуль упругости при сжатии $E_{y,obs}$ (МПа)		Коэффициент поперечного расширения $\nu_{xy,obs}$	
	одного образца $f_{y,obs i}$	среднее значение по серии $f_{y,obs mv}$	одного образца $E_{y,obs i}$	среднее значение по серии $E_{y,obs mv}$	одного образца $\nu_{xy,obs i}$	среднее значение по серии $\nu_{xy,obs mv}$
Образцы выполнены из КРЗУ- $f_b = 6,2$ МПа на растворе $f_m = 10,34$ МПа						
КРЗУ-1(г)-1	4,07	4,23	5074	5418	0,19	0,23
КРЗУ-1(г)-2	4,16		5269		0,24	
КРЗУ-1(г)-3	4,47		5910		0,25	
Образцы выполнены из КРЗУ- $f_b = 6,2$ МПа на растворе $f_m = 6,13$ МПа						
КРЗУ-2(г)-1	3,59	3,95	5030	5177	0,24	0,23
КРЗУ-2(г)-2	3,93		5352		0,27	
КРЗУ-2(г)-3	4,33		5149		0,20	
Образцы выполнены из КРЗУ- $f_b = 6,2$ МПа на растворе $f_m = 2,59$ МПа						
КРЗУ-3(г)-1	3,93	3,92	3993	4562	0,23	0,24
КРЗУ-3(г)-2	4,50		5355		0,25	
КРЗУ-3(г)-3	3,31		4340		0,22	

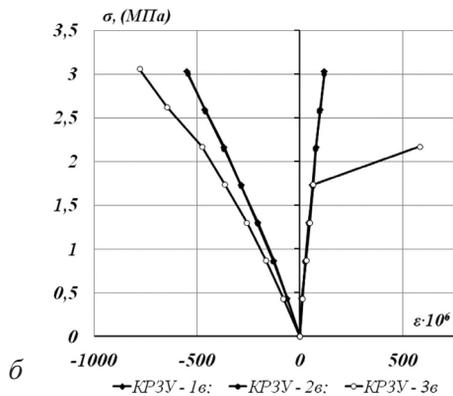
При сжатии каменной кладки в направлении, параллельном горизонтальным раствором швам, практически во всех образцах первые трещины образовывались при нагрузке равной  $0,5-0,9 F_{max}$  в торцах и проходили через  $0,5-2,5$  ряда кладки. Далее с увеличением нагрузки в растворных швах возникали единичные трещины длиной, равной  $0,5 \dots 1,5$  высоты кладочного элемента. Разрушение образцов сопровождалось раскрытием трещин в торцах, значительным

расширением ранее образовавшихся трещин и смятием верхних рядов испытываемых образцов.

На рис. 4 показаны характерные виды разрушения и диаграммы деформирования опытных образцов.



а



**Рисунок 4.** Характерный вид разрушения опытных образцов (а); диаграммы деформирования каменной кладки на растворах различной прочности при сжатии (б)

По диаграммам деформирования были определены значения секущего модуля упругости (E) и коэффициента Пуассона ( $\nu$ ) (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты испытаний каменной кладки сжимающей  
нагрузкой параллельно горизонтальным раствором швам**

№ серии испытываемых образцов	Прочность каменной кладки при сжатии $f_{x,obs}$ (МПа)		Модуль упругости при сжатии $E_{x,obs}$ (МПа)		Коэффициент поперечного расширения $\nu_{xy,obs}$	
	одного образца $f_{x,obs i}$	среднее значение по серии $f_{x,obsmv}$	одного образца $E_{x,obs i}$	среднее значение по серии $E_{x,obsmv}$	одного образца $\nu_{xy,obs i}$	среднее значение по серии $\nu_{xy,obsmv}$
Образцы выполнены из КРЗУ- $f_b = 5,6$ МПа на растворе $f_m = 10,34$ МПа						
КРЗУ-1(в)-1	4,56	4,80	6316	6137	0,25	0,22
КРЗУ-1(в)-2	4,60		5746		0,21	
КРЗУ-1(в)-3	5,24		6350		0,19	
Образцы выполнены из КРЗУ- $f_b = 5,6$ МПа на растворе $f_m = 6,13$ МПа						
КРЗУ-2(в)-1	3,65	4,22	6314	6223	0,24	0,21
КРЗУ-2(в)-2	4,78		6452		0,22	
КРЗУ-2(в)-3	4,22		5903		0,19	
Образцы выполнены из КРЗУ- $f_b = 5,6$ МПа на растворе $f_m = 2,59$ МПа						
КРЗУ-3(в)-1	4,23	3,90	4409	5083	0,24	0,22
КРЗУ-3(в)-2	3,61		5394		0,20	
КРЗУ-3(в)-3	3,86		5446		0,21	

Степень анизотропии каменной кладки при сжатии характеризуется отношением прочностных и деформационных характеристик в направлении главных осей анизотропии, совпадающих с направлением горизонтальных и вертикальных растворных швов (табл. 3).

**Степень анизотропии прочностных и деформационных характеристик каменной кладки из керамзитобетонных кладочных элементов**

Серия	Прочность раствора $f_m$ , МПа	$f_y$ , МПа	$f_x$ , МПа	$\frac{f_y}{f_x}$	$E_y$ , МПа	$E_x$ , МПа	$\frac{E_y}{E_x}$	$\nu_{xy}$	$\nu_{yx}$	$\frac{\nu_{xy}}{\nu_{yx}}$
КРЗУ-1	10,34	4,23	4,80	0,88	5418	6137	0,88	0,23	0,22	1,05
КРЗУ-2	6,13	3,95	4,22	0,94	5177	6223	0,83	0,23	0,21	1,1
КРЗУ-3	2,59	3,92	3,90	1,01	4562	5083	0,90	0,24	0,22	1,1

Из табл. 3 следует, что каменная кладка, выполненная из керамзитобетонных кладочных элементов, обладает слабо выраженной анизотропией прочностных и деформационных свойств, которая не зависит от прочности кладочного раствора.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных экспериментальных исследований можно заключить:

1) кирпичная кладка из керамзитобетонных кладочных элементов I группы на растворе общего назначения обладает слабо выраженной анизотропией прочностных и деформационных свойств при сжатии, которую при расчете напряжений и деформаций в каменном заполнении в условиях плоского напряженного деформированного состояния можно не учитывать;

2) степень анизотропии каменных кладок из керамзитобетонных кладочных элементов I группы на растворе общего назначения не зависит от прочности кладочного раствора.

### Список использованных источников

1. Деркач, В.Н. Учет работы каменного заполнения при статическом расчете каркасных зданий / В.Н. Деркач // Проблемы современного бетона и железобетона : Сб. науч. тр. / РУП «Институт БелНИИС». – Минск, 2012. – С. 30–39.

2. 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 : Госстандарт, 2009. – 128 с.
3. 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.
4. Методы испытаний каменной кладки. Часть 1. Определение прочности при сжатии: EN 1052-1. – Введ.07.10.98. – CEN/TC 125. – 10 с.
5. Методы испытаний строительных блоков. Часть 1. Определение прочности при сжатии: СТБ EN 772-1-2008. – Введ. 01.01.09. – Минск : Госстандарт. – 9 с.
6. 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*