

Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке

К.т.н., докторант В.Н. Деркач,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Ключевые слова: каменная кладка; кладочный раствор; сдвиг; прочность сцепления; коэффициент 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. Данные характеристики в значительной степени влияют на наступление предельных состояний при сейсмических воздействиях на здания и сооружения, а также ветровых, крановых и других нагрузках, вызывающих перекося панелей каркаса в каркасных зданиях, стеновое заполнение которых выполнено из каменной кладки [1-5]. Сюда же следует отнести случаи прогибов дисков перекрытий и неравномерной осадки оснований фундаментов [6-9].

В СНиП II-22-81 [10] прочность сцепления зависит от прочности кладочного раствора, вида кладочного элемента (полнотелый или пустотелый) и его материала (керамический или силикатный). При этом принимается, что прочность сцепления при повышении марки раствора выше 50 не изменяется. В ГОСТ 24992-81 содержится методика оценки прочности сцепления в каменной кладке, основанная на испытании на осевое растяжение кладочных элементов, склеенных раствором. Данный метод испытаний позволяет установить прочность нормального сцепления раствора с кладочными элементами. Методика оценки прочности касательного сцепления в отечественных стандартах отсутствует.

В соответствии с требованиями Еврокода 6 [11], прочность сцепления раствора с кладочными элементами зависит от вида применяемых растворов (общего назначения, для тонких швов, легких растворов) и материала кладочных элементов, для которых предназначены данные растворы. При этом прочность сцепления раствора общего назначения зависит как от материала кладочных элементов, так и от прочности раствора, а прочность сцепления растворов, укладываемых тонким слоем, и легких растворов – только от материала кладочных элементов. В отличие от норм [10], в [11] не содержится коэффициентов, учитывающих повышение прочности касательного сцепления для кладок, выполненных из дырчатого или щелевого кирпича.

Согласно Еврокоду 6, значения начальной характеристической прочности при сдвиге (касательного сцепления) определяются на основании испытаний в соответствии с EN 1052-3 или EN 1052-4. При отсутствии результатов испытаний стандарт EN 998-2 разрешает принимать значения характеристической прочности касательного сцепления равными:

- 0.15 МПа для кладок на растворах общего назначения и легких растворах;
- 0.3 МПа для кладок на тонкослойных растворах.

На прочность сцепления влияет множество факторов, среди которых можно выделить следующие:

- абсорбционные свойства камня и состояние его поверхности;
- прочность, состав и качество составляющих, консистенция и водоудерживающая способность раствора;
- режим твердения раствора;
- характер воздействий на каменную кладку в период ее твердения [12-14].

Учитывая данное обстоятельство, в настоящей статье не ставится задача осветить все стороны рассматриваемого вопроса. Целью исследований является получение фактических значений прочности касательного сцепления цементного раствора с различными типами кладочных элементов, и оценка влияния прочности кладочных цементных растворов на прочность их сцепления в каменной кладке.

Методика экспериментальных исследований

Определение прочности нормального сцепления в каменной кладке производилось на образцах, состоящих из трех кладочных элементов, соединенных между собой раствором швом. Форма и геометрические размеры кладочных элементов, из которых готовились опытные образцы кладки, показаны на рисунке 1.

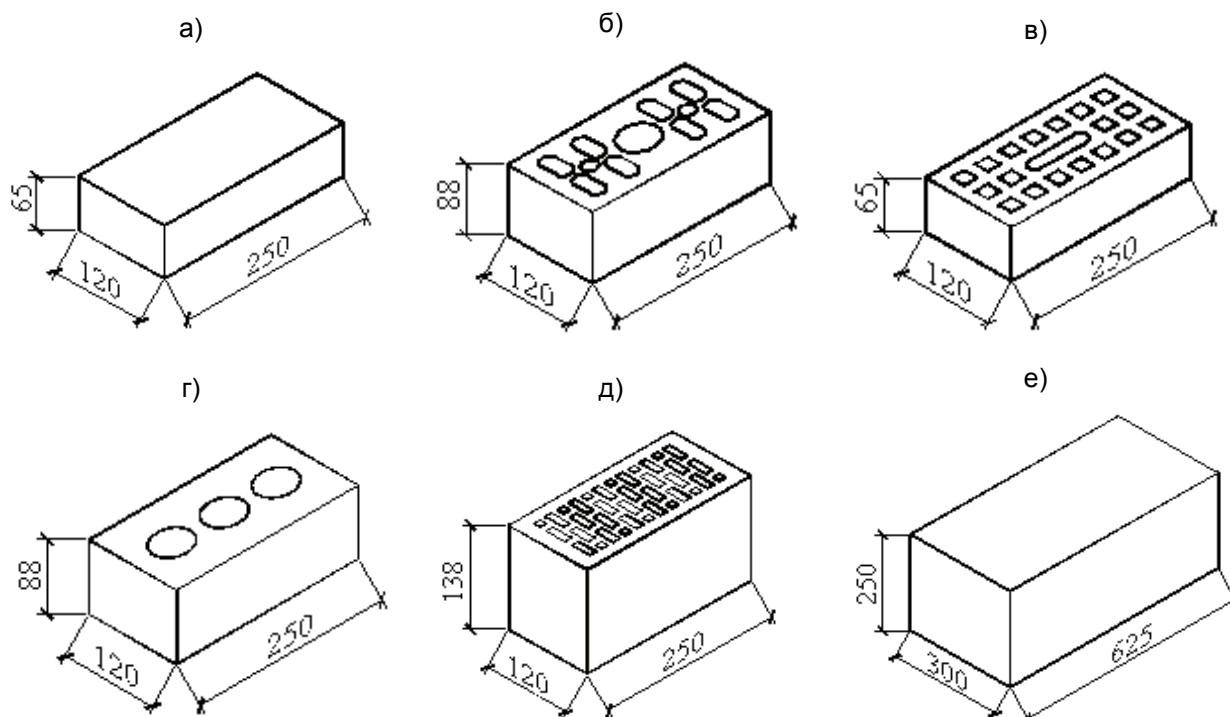


Рисунок 1. Форма и геометрические размеры кладочных элементов: а – полнотелый керамический кирпич КРО; б – пустотелый керамический кирпич КРПУ пустотностью $V=18\%$; в – пустотелый керамический кирпич КРПО пустотностью $V=30\%$; г – силикатный кирпич СУР пустотностью $V=18\%$; д – керамический поризованный камень КПП пустотностью $V=42.3\%$; е – ячеистобетонный блок

Для приготовления кладочных растворов общего назначения использовалась сухая растворная смесь М100 заводского изготовления. Из данной растворной смеси путем изменения пропорций составляющих готовилась растворная смесь других прочностных показателей. Опытные образцы выполнялись на растворах прочностью на сжатие $f_m = 10.9 \text{ МПа}$, $f_m = 7.9 \text{ МПа}$, $f_m = 3.1 \text{ МПа}$ с толщиной шва 10 мм. Для выполнения образцов на тонкослойных швах применялась заводская клеевая растворная смесь М75. Образцы на тонких растворных швах изготавливались из ячеистобетонных блоков D500 прочностью В2.5. Всего было испытано 14 серий образцов каменной кладки. Каждая серия включала в себя не менее 10 опытных образцов.

Начальное сопротивление кладки сдвигу f_{v0} (касательное сцепление) и угол внутреннего трения устанавливались на основании испытаний образцов кладки, подверженных одновременному действию сжимающих и скалывающих напряжений в соответствии со стандартом EN 1052-3 (рис. 2).

При испытаниях уровень обжатия f_{pi} зависел от прочности кладочного элемента при сжатии. Например, при прочности камня большей, чем 10 МПа, значения f_{pi} принимались равными 0.2, 0.6, и 1.0 МПа, а при прочности камня, меньше либо равной 10 МПа, – 0.1, 0.3, 0.5 МПа. Нагрузка на образец прикладывалась при помощи испытательной машины УМЭ-10М.

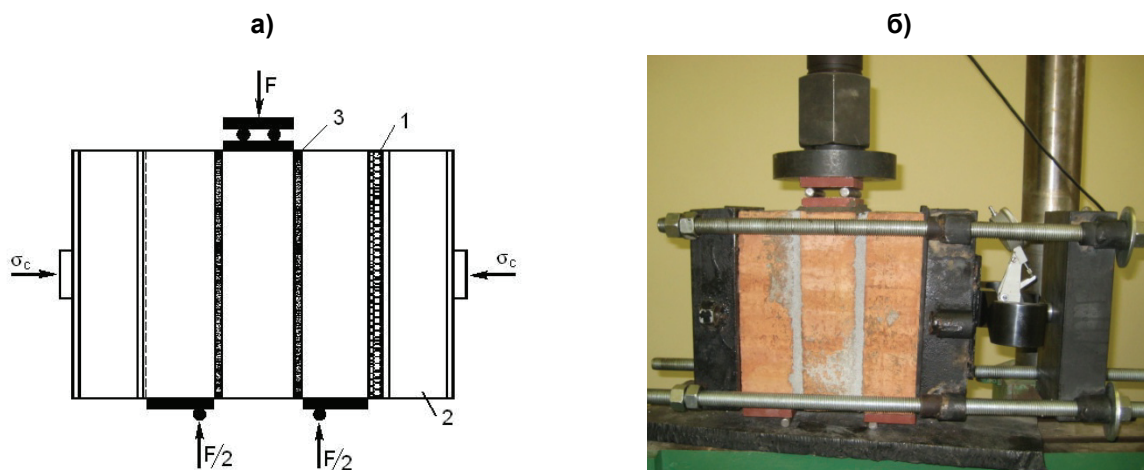


Рисунок 2: (а) схема и (б) общий вид испытаний опытного образца каменной кладки.
1 – резиновая прокладка; 2 – стальная траверса; 3 – растворный шов

Прочность при сдвиге f_{vi} , (Н/мм²) и напряжения обжатия f_{pi} , (Н/мм²), рассчитывались по каждому испытываемому образцу с точностью до 0,01 Н/мм² по формулам (1), (2):

$$f_{vi} = \frac{F_{i,max}}{2A_i}, \quad (1)$$

$$f_{pi} = \frac{F_{pi}}{A_i}, \quad (2)$$

где $F_{i,max}$ – максимальное значение усилия сдвига, Н;
 F_{pi} – сжимающее усилие предварительной нагрузки, Н;
 A_i – площадь сечения испытываемого образца кладки параллельно горизонтальным швам, мм².

То, что величина сжимающих напряжений f_{pi} была переменной, давало возможность построения графика зависимости « $f_{vi}-f_{pi}$ ». Прочность на «чистый» срез (касательное сцепление) f_{v0} устанавливалась путем экстраполяции графика до ординаты $f_{pi}=0$. Угол наклона графика к оси абсцисс являлся углом внутреннего трения α .

Результаты собственных исследований

Разрушение образцов, изготовленных из полнотелого керамического кирпича, при всех уровнях обжатия происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и одной либо двумя поверхностями кладочных элементов (рис. 3). Трещины в кирпичах не образовывались. Величина разрушающей нагрузки при всех уровнях сжимающего напряжения для образцов, изготовленных на растворе прочностью $f_m=10.9$ МПа, была выше примерно на 25%, чем на растворе прочностью $f_m=7.9$ МПа, и на 50% выше, чем на растворе прочностью $f_m=3.1$ МПа.

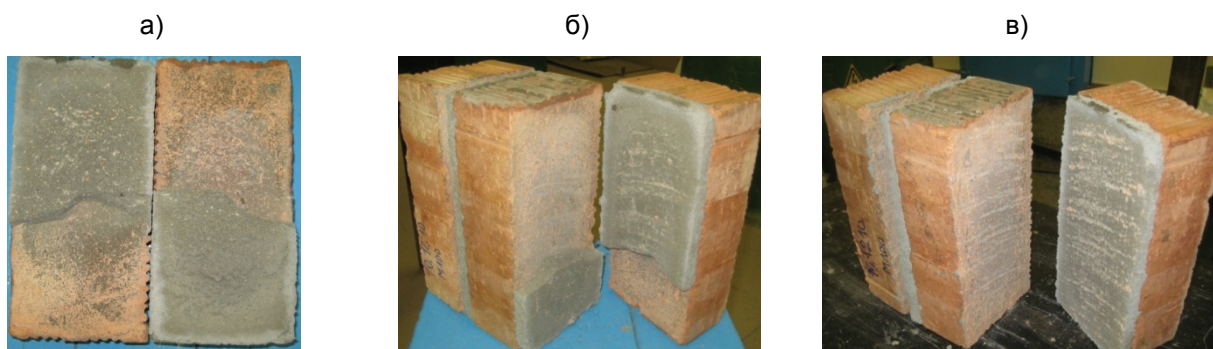


Рисунок 3. Характер разрушения образцов из полнотелого кирпича на растворе прочностью 10.9 МПа при уровне сжимающих напряжений: а) $f_p = 0.2$ МПа; б) $f_p = 0.6$ МПа; в) $f_p = 1$ МПа

Деркач В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке

Разрушение образцов, изготовленных из пустотелого керамического кирпича с объемом пустот 18%, на растворе прочностью $f_m = 3.1$ МПа при уровне сжимающих напряжений $f_p = 0.2$ и 0.6 МПа происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора (рис. 4а). При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и поверхностями кладочных элементов. С увеличением уровня обжатия до 0.8-1 МПа характер разрушения менялся. Разрушение образцов наступало вследствие разрыва раствора и кладочных элементов (рис. 4б).

Образцы, выполненные на растворе прочностью $f_m = 7.9$ МПа, при уровнях обжатия $f_p = 0.2$ МПа и 0.6 МПа разрушились вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При этом в образцах с уровнем обжатия $f_p = 0.6$ МПа наблюдалось образование единичных трещин в камнях. Трещины возникали в перегородках пустот и развивались в горизонтальном направлении. Разрушение образцов с уровнем обжатия $f_p = 1$ МПа наступало вследствие разрыва камней горизонтальными трещинами, пересекающими перегородки между пустотами.

Разрушение из-за потери сцепления между камнем и раствором в образцах, выполненных на растворе прочностью $f_m = 10.9$ МПа, имело место только при уровнях обжатия $f_p = 0.2-0.4$ МПа. С увеличением уровня обжатия от 0.6 до 1 МПа разрушение опытных образцов происходило вследствие возникновения горизонтальных трещин, пересекающих перегородки пустот кладочных элементов.

Величина разрушающей нагрузки возрастала с увеличением прочности кладочного раствора испытанных образцов.



Рисунок 4. Характер разрушения образцов из пустотелого кирпича V=18%: а) потеря сцепления между камнем и раствором; б) разрыв камня и раствора

Разрушение образцов, изготовленных из пустотелого керамического кирпича пустотностью 30% на растворе прочностью $f_m = 3.1$ МПа, происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и поверхностями кладочных элементов (рис. 5а). Разрушение образцов, уровень обжатия которых составлял 1 МПа, сопровождалось образованием трещин пересекающих перегородки между пустотами (рис. 5б).

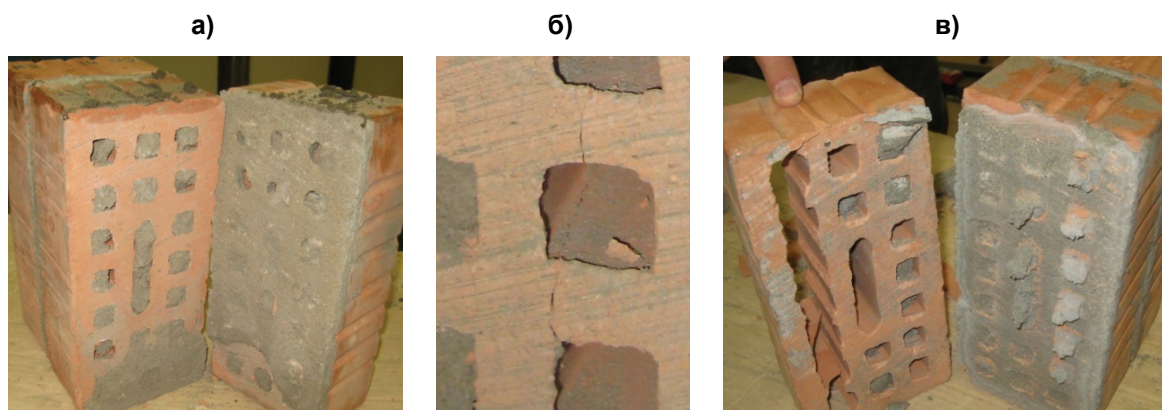


Рисунок 5. Характер разрушения образцов из пустотелого кирпича V=30%: а) на растворе прочностью $f_m = 3.1$ МПа при уровне сжимающих напряжений $f_p = 0.2$ МПа; б) при $f_p = 0.2$ МПа; в) на растворе прочностью $f_m = 10.9$ МПа при $f_p = 0.4$ МПа

В образцах, изготовленных на прочном растворе $f_m=10.9$ МПа, в отличие от образцов на растворе прочностью $f_m=3.1$ МПа, образование трещин в камнях наблюдалось даже при низких уровнях обжатия: $f_p=0.2-0.4$ МПа, (рис. 5в). Разрушающая нагрузка с ростом сжимающих напряжений от 0.2 МПа до 0.4 МПа оставалась практически постоянной.

Разрушение образцов из керамических поризованных камней на растворе прочностью $f_m=3.1$ МПа при уровнях обжатия $f_p=0-0.2$ МПа происходило вследствие потери сцепления по границе камней и раствора (рис. 6а). При увеличении уровня обжатия до 0.4 МПа сдвиг по границе «камень-раствор» сопровождался образованием трещин в теле камня (рис. 6б).

При использовании прочного раствора $f_m=10.9$ МПа, даже при нулевом уровне обжатия, разрушение образцов сопровождалось появлением трещин. Трещины обычно образовывались в перегородках пустот среднего камня в верхней его части. При уровне сжимающих напряжений $f_p \geq 0.2$ МПа сдвиг сопровождался выколом боковых стенок среднего камня (рис. 6в). Образцы с уровнем сжимающих напряжений $f_p=0.6$ МПа разрушались вследствие откола боковых стенок среднего камня в зоне приложения нагрузки, без потери сцепления камня с раствором (рис. 6г).

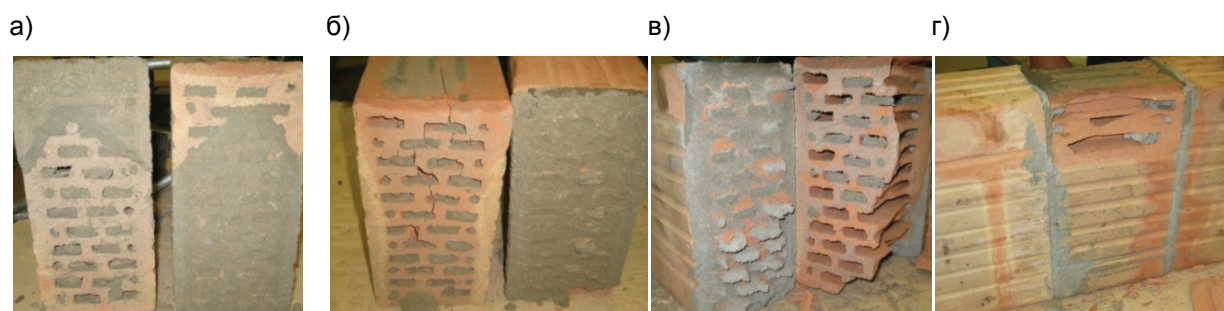


Рисунок 6. Характер разрушения образцов из поризованных керамических камней: а) на растворе прочностью $f_m=3.1$ МПа при уровне сжимающих напряжений $f_p=0-0.1$ МПа; б) при $f_p=0.2$ МПа; в) на растворе прочностью $f_m=10.9$ МПа при $f_p=0.2$ МПа; г) при $f_p=0.6$ МПа

Разрушение образцов, изготовленных из силикатного кирпича, независимо от прочности раствора происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и поверхностями кладочных элементов. При высоком уровне обжатия в образцах на прочном растворе сдвиг сопровождался разрывом растворного шва. Трещины в кирпичах не образовывались. С увеличением прочности кладочного раствора величина разрушающей нагрузки возрастала. Характер разрушения образцов показан на рис. 7.

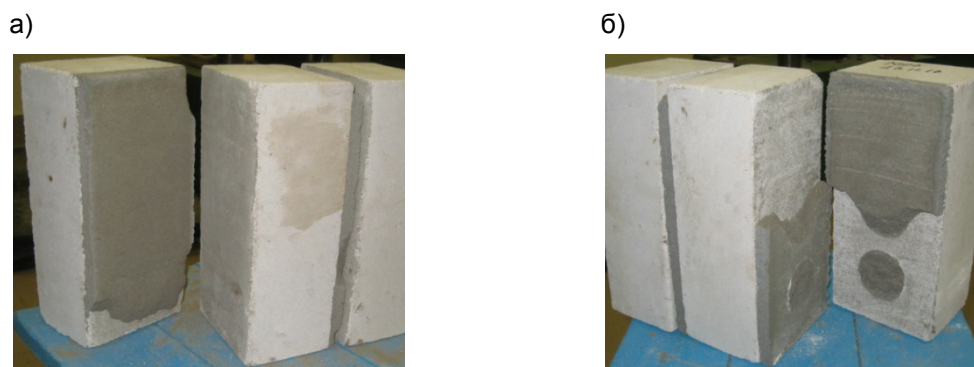


Рисунок 7. Характер разрушения образцов из силикатного кирпича: а) на растворе прочностью $f_m=3.1$ МПа и $f_m=10.9$ МПа при уровне сжимающих напряжений $f_p < 1$ МПа; б) на растворе прочностью $f_m=10.9$ МПа при $f_p=1$ МПа

Образцы, выполненные из ячеистобетонных блоков, на тонкослойном клеевом шве при уровнях обжатия $f_p < 0.5$ МПа разрушились вследствие сдвига по телу растворного шва. С ростом сжимающих напряжений сдвиг по растворному шву сопровождался выколом материала блока. Характер разрушения образцов из ячеистобетонных блоков показан на рис. 8.

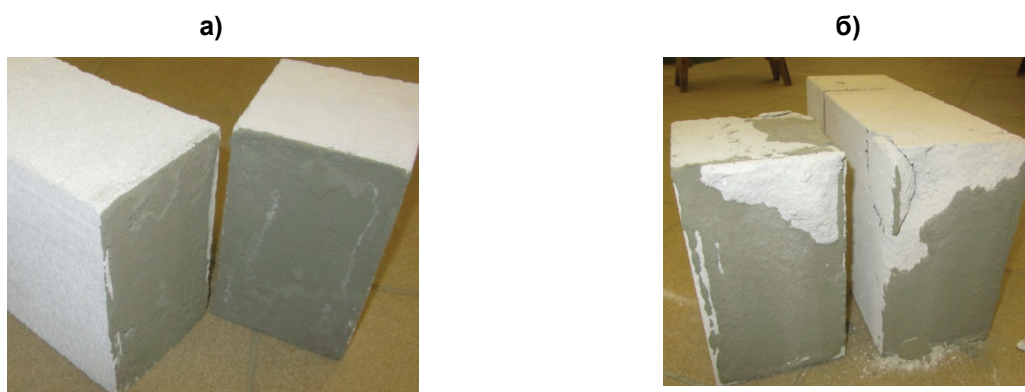


Рисунок 8. Характер разрушения образцов изячеистобетонных блоков: а) при уровне сжимающих напряжений $f_p < 0.5$ МПа; б) при $f_p = 1$ МПа

По результатам испытаний были построены графики зависимости прочности кладки при сдвиге f_{vi} от уровня сжимающих напряжений f_{pi} (рис. 9), по которым определялись начальная прочность кладки при сдвиге (касательное сцепление) $f_{v0,obs}$ и коэффициент внутреннего трения – tga_{obs} . Коэффициент вариации опытных значений прочности касательного сцепления при различных уровнях обжатия не превышал 15%.

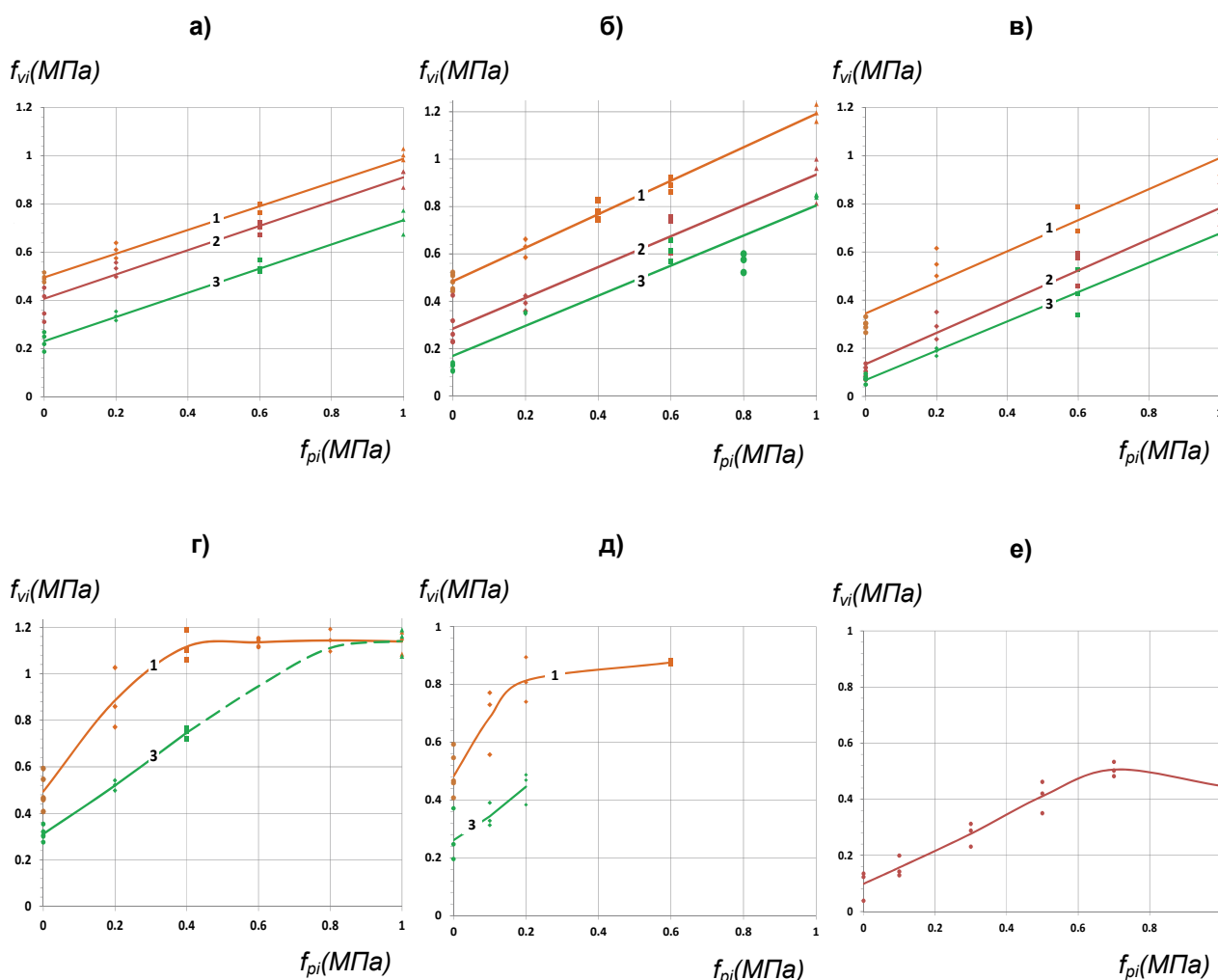


Рисунок 9. Графики зависимости прочности кладки при сдвиге f_{vi} от уровня сжимающих напряжений f_{pi} : а) кладка из полнотелого кирпича; б) из пустотелого кирпича V=18%; в) из силикатного кирпича; г) из пустотелого кирпича V=30%; д) из поризованных камней V=42.3%; е – из ячеистобетонных блоков на тонких растворных швах; 1 – $f_m = 10.9$ МПа, 2 – $f_m = 7.9$ МПа, 3 – $f_m = 3.1$ МПа

Как следует из графиков, приведенных на рисунке 9а-в, прочность при сдвиге f_{vi} каменной кладки, изготовленной из полнотелого и пустотелого кирпича с небольшим объемом пустот $V=18\%$, с увеличением сжимающих напряжений f_p до 1 МПа росла линейно независимо от прочности кладочного раствора.

Зависимость « $f_{vi}-f_{pi}$ » для образцов, изготовленных из пустотелого кирпича с объемом пустот 30% на растворе прочностью 10.9 МПа, носила линейный характер при увеличении сжимающих напряжений f_p от 0 до 0.2-0.4 МПа (рис. 9г). С последующим ростом уровня обжатия прочность кладки при сдвиге практически не изменялась. Прочность при сдвиге кладки, изготовленной на слабом растворе $f_m=3.1$ МПа, росла линейно с увеличением уровня обжатия f_p от 0 до 0.6-0.8 МПа. При дальнейшем росте сжимающих напряжений прочность каменной кладки не изменялась. Аналогичный характер изменения прочности кладки при сдвиге наблюдался и в образцах, выполненных из поризованных керамических камней (рис. 9д).

Объясняется это разным характером разрушения каменных кладок, выполненных из разных типов кладочных элементов. Для кладок из полнотелого или пустотелого с небольшим объемом пустот кирпича потеря несущей способности при сдвиге в диапазоне сжимающих напряжений f_p от 0 до 1 МПа происходила, как правило, из-за потери сцепления между камнем и раствором и срезом раствора в пустотах камня. При уровнях обжатия $f_p \approx 1$ МПа в пустотелых камнях возникали трещины, вызванные их растяжением.

Потеря несущей способности кладок из камней с большим объемом пустот при определенном значении касательных напряжений происходила вследствие разрушения тонких перегородок между пустотами. Затвердевший в пустотах кладочных элементов раствор при срезе играет роль шпонок, что создает дополнительное к касательному сцеплению сопротивление сдвигу. Поэтому при действии сдвигающих усилий разрушение кладки может происходить либо вследствие потери сцепления раствора с камнем и среза растворных шпонок, либо вследствие потери сцепления и среза перегородок между пустотами камня. Первый случай разрушения имеет место при низкой прочности раствора и невысоких уровнях обжатия, второй- при высокой прочности раствора. Похожие механизмы разрушения имели место при испытаниях каменной кладки на сдвиг в работах [15-17].

Прочность при сдвиге кладки, выполненной из ячеистобетонных блоков на тонких растворных швах, равномерно возрастала при увеличении сжимающих напряжений до уровня $f_p \approx 0.5$ МПа. С ростом сжимающих напряжений f_p от 0.5 МПа до 0.7 МПа скорость приращения разрушающей нагрузки замедлялась. При уровнях обжатия $f_p > 0.7$ МПа наблюдалось падение разрушающей нагрузки (рис. 9е).

Результаты определения начальной прочности кладки при сдвиге (касательного сцепления) $f_{v0,obs}$ и сравнение полученных результатов с данными норм [10, 11] приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение опытных значений прочности касательного сцепления раствора с кладочными элементами $f_{v0,obs}$ и значений прочности сцепления, установленных нормами [10, 11]

Вид и прочность кладочного элемента	Прочность кладочного раствора f_m (МПа)	Опытные значения прочности касательного сцепления $f_{v0,obs}$ (МПа)	Коэффициент внутреннего трения tga_{obs}	Прочность касательного сцепления согласно [10] R_{squ} (МПа) ¹	Прочность касательного сцепления согласно [11] f_{v0} (МПа) ²	$\frac{f_{v0,obs}}{R_{squ}}$	$\frac{f_{v0,obs}}{f_{v0}}$
1	2	3	4	5	6		
Полнотелый керамический кирпич М150	10.9	0.5	0.5	0.36	0.38	1.39	1.31
	7.9	0.43	0.5	0.36	0.25	1.39	1.72
	3.1	0.23	0.5	0.25	0.25	0.92	0.92
Керамический кирпич пустотностью 18% М125	10.9	0.48	0.7	0.45	0.38	1.06	1.26
	7.9	0.3	0.65	0.45	0.25	0.67	1.2
	3.1	0.18	0.63	0.3	0.25	0.6	0.72
Керамический кирпич пустотностью 30% М150	10.9	0.52	1.3	0.45	0.38	1.15	1.37
	3.1	0.3	0.9	0.3	0.25	1.0	1.2

Вид и прочность кладочного элемента	Прочность кладочного раствора f_m (МПа)	Опытные значения прочности касательного сцепления $f_{v0,obs}$ (МПа)	Коэффициент внутреннего трения tga_{obs}	Прочность касательного сцепления согласно [10] R_{sq} (МПа) ¹	Прочность касательного сцепления согласно [11] f_{v0} (МПа) ²	$\frac{f_{v0,obs}}{R_{sq}}$	$\frac{f_{v0,obs}}{f_{v0}}$
Поризованный керамический камень пустотностью 42.3% М150	10.9	0.50	1.65	0.45	0.38	1.11	1.32
	3.1	0.26	0.95	0.3	0.25	0.87	1.04
Силикатный пустотелый кирпич М150	10.9	0.35	0.63	0.25	0.25	1.4	1.4
	7.9	0.14	0.6	0.25	0.19	0.56	0.73
	3.1	0.09	0.55	0.18	0.19	0.5	0.47
Ячеисто-бетонный блок D500 В2.5 на тонкослойном клеевом растворе	7.5	0.1	0.62	-	0.38	-	0.26

¹ $R_{sq}=2.25 \cdot R_{sq}$, где 2.25 – коэффициент перехода от расчетного сопротивления кладки срезу по непереязанному сечению R_{sq} согласно [10] к среднему значению временного сопротивления R_{sq} при нормируемом коэффициенте вариации прочности 15% и коэффициенте безопасности по кладке $k_e=1.575$.

² $f_{v0}=f_{vko}/0.8$, где f_{vko} – характеристическое значение начальной прочности каменной кладки при сдвиге согласно [11].

Из таблицы 1 следует, что опытные значения касательного сцепления были выше значений, приведенных в нормах [10,11] для растворов прочностью при сжатии $f_m=7.9-10.9$ МПа. Исключение составляет прочность сцепления кладочного раствора с керамическим и силикатным пустотелым кирпичом с объемом пустот $V=18\%$, опытное значение которой было ниже установленного нормами [10,11] для раствора прочностью при сжатии $f_m=7.9$ МПа. Опытное значение касательного сцепления раствора прочностью $f_m=3.1$ МПа со всеми типами кладочных элементов, кроме поризованных керамических камней, оказались ниже значений установленных нормами [10,11]. Наибольшее отклонение начальной прочности при срезе $f_{v0,obs}$ от значения f_{v0} , принятого в нормах, было получено для тонкослойного клеевого растворного шва кладки из ячеистобетонных блоков. Начальная прочность при срезе указанных растворных швов была в 3.8 раза ниже значения, установленного нормами [11]. Следует отметить, что значения начальной прочности при срезе f_{v0} кладок из ячеистобетонных блоков на клеевых растворных швах, полученные другими исследователями [18-20], имеют значительный разброс от 0.16 МПа до 1.07 МПа. Объясняется это различием в качестве клеевого раствора и ячеистобетонных блоков.

Характеристическое значение коэффициента внутреннего трения $tga_k=0.8tga_{obs}$ для кладок из полнотелого кирпича соответствовало значению $tga_k=0.4$, принятого в [11]. Для остальных видов кладок характеристические значения коэффициентов внутреннего трения превышали значение tga_k , принятое в [11]. В нормах [10] коэффициент внутреннего трения m установлен равным 0.7. Близкие к данной величине значения m были получены для кладок из полнотелого керамического и силикатного кирпича с объемом пустот 18%.

На рис. 10 показаны графики зависимости прочности касательного сцепления $f_{v0,obs}$ от прочности кладочного раствора f_m для кладок, выполненных из различных типов керамических кладочных элементов.

Из рис. 2 следует, что прочность касательного сцепления возрастает с увеличением прочности кладочного раствора при сжатии. Более интенсивно прочность сцепления нарастала при увеличении прочности раствора от 0 до 3.1 МПа. При дальнейшем росте прочности раствора скорость нарастания прочности сцепления уменьшалась. Исключение составили образцы кладки из дырчатого керамического кирпича объемом пустот $V=18\%$, для которых зависимость « $f_{v0,obs}-f_m$ » носила практически линейный характер.

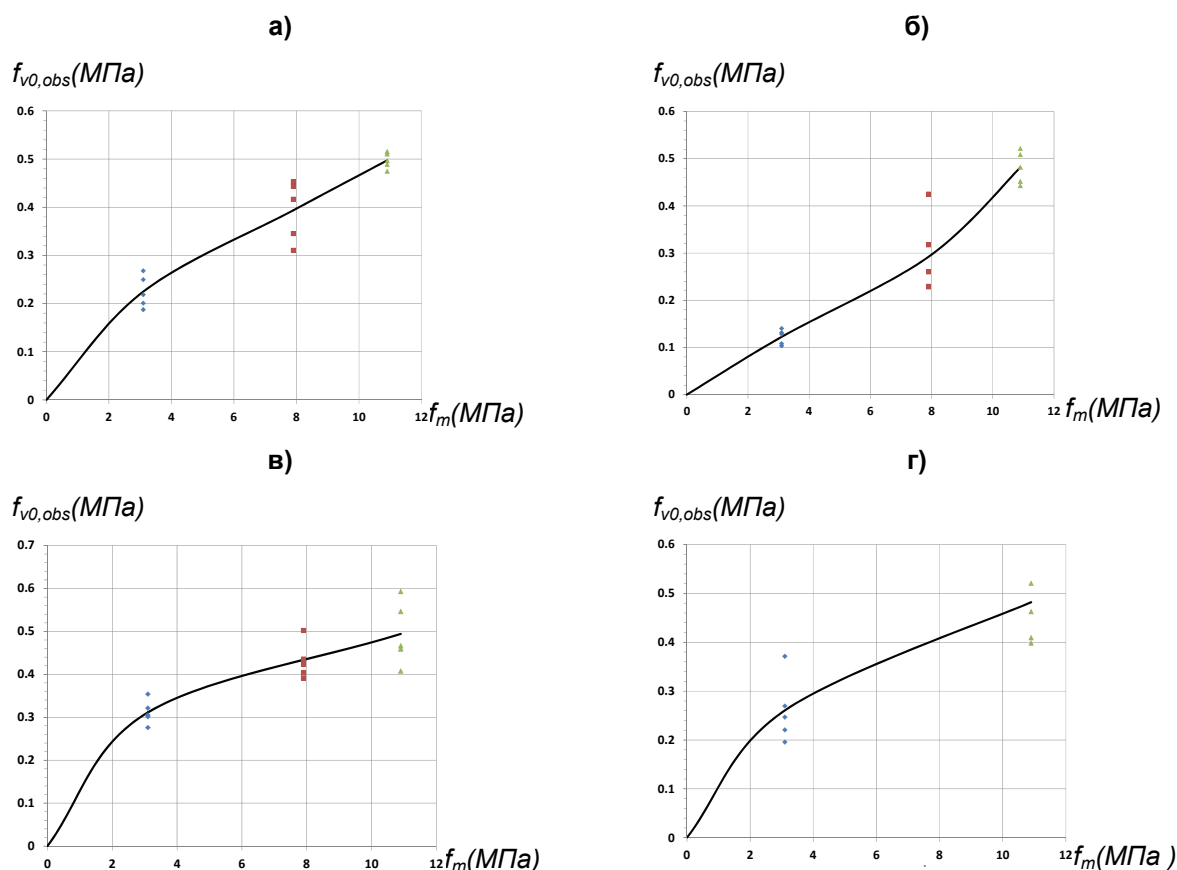


Рисунок 10. Зависимость прочности касательного сцепления раствора в каменной кладке $f_{v0,obs}$ от прочности раствора при сжатии f_m : а) кладка из керамического полнотелого кирпича; б) из керамического пустотелого $V=18\%$; в) из керамического пустотелого $V=30\%$; г) из поризованных керамических камней $V=42.3\%$

Заключение

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы.

1. При действии сдвигающих усилий вдоль горизонтальных растворных швов и уровнях обжатия от 0 до 1 МПа разрушение каменных кладок, выполненных из полнотелых или пустотных кладочных элементов с объемом пустот $V=18\%$, происходило вследствие потери сцепления по контакту камня и раствора. При значениях касательных напряжений $f_v \approx 1.2$ МПа потеря сцепления сопровождалась растрескиванием пустотелых кладочных элементов.

2. Потеря несущей способности кладок из камней с объемом пустот $V=30-42.3\%$ при определенной величине касательных напряжений происходила вследствие разрушения тонких перегородок между пустотами. Для кладки из керамического кирпича с объемом пустот 30% разрушающие касательные напряжения f_v примерно были равны 1.15 МПа, а для кладок из поризованных керамических камней с объемом пустот 42.3% – 0.9 МПа. Данные значения касательных напряжений можно принять в качестве предельно допустимых для указанных видов камней.

3. Разрушение кладок из ячеистобетонных блоков на тонкослойном клеевом шве при значениях касательных напряжений $f_v < 0.45$ МПа происходило вследствие сдвига по телу растворного шва. С ростом касательных напряжений сдвиг по растворному шву сопровождался выколом материала блока.

4. Опытные значения касательного сцепления были выше значений, приведенных в нормах [10,11] для растворов прочностью при сжатии $f_m=7.9-10.9$ МПа. Исключение составляет прочность сцепления кладочного раствора с силикатным и керамическим пустотелым кирпичом с объемом пустот $V=18\%$, опытное значение которой было ниже установленного нормами [10,11] для раствора прочностью при сжатии $f_m=7.9$ МПа. Опытные значения касательного сцепления раствора прочностью $f_m=3.1$ МПа со всеми типами кладочных элементов, кроме поризованных керамических камней, оказались ниже значений, установленных нормами [10,11].

Деркач В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке

5. Характеристическое значение коэффициента внутреннего трения tga_k для кладок из керамического полнотелого кирпича соответствовало значению $tga_k=0.4$, принятого в [11]. Для всех остальных типов испытанных кладок tga_k превышал установленное в [11] значение $tga_k=0.4$. Для кладок из пустотелого керамического и силикатного кирпича с объемом пустот 18% опытные значения коэффициента внутреннего трения tga_{obs} были близки к значениям, установленным в нормах [10].

6. Прочность касательного сцепления $f_{v,obs}$ зависела от прочности кладочного раствора при сжатии f_m . Зависимость « $f_{v,obs}-f_m$ » имела нелинейный характер. Более интенсивное нарастание прочности сцепления обычно наблюдалось при увеличении прочности раствора от 0 до 3.1 МПа.

Литература

1. Поляков С. В. Каменная кладка в каркасных зданиях. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. 189 с.
2. Salah El-Din Fahmy Taher, Hamdy Mohy El-Din Afefy. Role of masonry infill in seismic resistance of RC Structures // The Arabian Journal for Science and Engineering. 2008. No. 2B. Pp. 291-306.
3. Meng-Hao Tsai, Tsuei-Chiang Huang. Numerical Investigation on the Progressive Collapse Resistance of an RC Building with Brick Infills under Column Loss // International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2011. No. 7:1. Pp. 27-34.
4. Lourenço P. B. Computational strategies for masonry structures. PhD Dissertation. Delft University of Technology. The Netherlands: Delft University Press, 1996. 209 p.
5. Kubica J. Mechanika muru obciążonego w swej płaszczyźnie. Monografie Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2011. 382 p.
6. Ищук М. К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М.: Стройматериалы, 2009. 360 с.
7. Деркач В. Н. О морфологии трещин, возникающих во внутренних перегородках современных зданий // Вестник Брестского государственного технического университета – Строительство и архитектура. 2010. №1. С. 43-45.
8. Jasinski R. Projektowanie elementow scinanych wedlug PN-EN 1996-1 i PN-EN 1996-3 // XXVI Ogólnopolskie warsztaty Pracy projektanta konstrukcji. Szczyrk, 2011. Pp. 453-499.
9. Drobiec L., Kubica J. Zapobieganie zarysowaniom scian murowych opartych na stropach zelbetowych // Materiały budowlane. 2006. No. 4. Pp. 21-23.
10. СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 40 с.
11. EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6. Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. 127 p.
12. Поляков С. В. Сцепление в кирпичной кладке. М.: Госстройиздат, 1959. 134 с.
13. Орлович Р. Б., Деркач В. Н. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 3-10.
14. Деркач В. Н., Орлович Р. Б. Прочность каменной кладки на срез по неперевязанным сечениям // Строительство и реконструкция. 2010. №3. С.7-13.
15. Calvi G. M., Magenes G. Experimental evaluation of seismic strength of old masonry structures // Proc. of the 9th Int. Brick/Block Masonry Conf. Berlin, 1991. Pp. 490-497.
16. Riddington J. R., Ghazali M. Z. Hypothesis for shear failure in masonry joints // Proc. Institute of Civil Engineers. 1990. Part 2, Vol. 89. Pp. 89-102.
17. Hamid A. A., Drysdale R. G. The Shear Behaviour of Brickwork Bed Joints // Proc. of the British Ceramic Society. 1982. No. 30. Pp. 101-109.
18. Kubica J. Wstępne badania murów z bloczków z betonu komórkowego poddanych ścinaniu ze ściskaniem: Praca BK-273/RB-2/98. Raport, Katedra Konstrukcji Budowlanych, Poli-technika Śląska. Gliwice: 1998. 67 p.
19. Lewicki B., Szczygielski A. Badania wytrzymałościowe muru na cienkie spoiny z bloczków YTONG: Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej «Konstrukcje Murowe». Puławy: 1998. Pp. 21-29.
20. Грановский В. А., Джамуев Б. К. К вопросу о возможности применения стен из ячеистобетонных блоков в сейсмических районах // Промышленное и гражданское строительство. 2011. №4. С. 37-39.

**Валерий Николаевич Деркач, г. Брест, Республика Беларусь
Тел. раб.: (+375-296-411962), эл. почта: v-derkatch@yandex.ru*

doi: 10.5862/MCE.29.2

Tangential adhesion strength of cement mortars in masonry

V.N. Derkach

Institute BelNIIS, Brest, Belarus
(+375-296-411962), e-mail: v-derkach@yandex.ru

Key words

a masonry; a masonry mortar; shear; adhesive strength; frictional coefficient

Abstract

The initial shear strength (tangential adhesion) and the angle of internal friction in the horizontal plane of mortar joints are among important characteristics, determining the masonry strength and stiffness qualities in case of share. These characteristics influence largely over the limit state approach of buildings and facilities during seismic activity and over wind, crane and other load, causing the panel frame distortion in frame buildings with masonry infill.

In the paper the experimental studies results of tangential adhesion strength of cement mortars with solid and hollow ceramic bricks, porous stones, calcium silicate bricks and cellular concrete blocks are presented. This research gives experimental dependences of mortar adhesive strength with mentioned types of masonry units on compressive strength of cement mortar. There is also the comparison of the obtained results with Russian and foreign standards in this paper.

References

1. Polyakov S. V. *Kamennaya kladka v karkasnykh zdaniyakh* [Masonry in framed buildings]. Moscow: Gosudarstvennoye izdatelstvo literatury po stroitelstvu i arkhitekture, 1956. 189 p. (rus)
2. Salah El-Din Fahmy Taher, HamdyMohy El-Din Afefy. Role of masonry infill in seismic re-sistance of RC Structures. *The Arabian Journal for Science and Engineering*. 2008. No. 2B. Pp. 291-306.
3. Meng-Hao Tsai, Tsuei-Chiang Huang. Numerical Investigation on the Progressive Collapse Resistance of an RC Building with Brick Infills under Column Loss. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011. No. 7:1. Pp. 27-34.
4. Lourenço P. B. *Computational strategies for masonry structures*. PhD Dissertation. Delft University of Technology. The Netherlands: Delft University Press, 1996. 209 p.
5. Kubica J. *Mechanika muru obciążonego w swej płaszczyźnie. Monografie Politechniki Śląskiej*. Gliwice: 2011. 382 p.
6. Ishchuk M. K. *Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz obleg-chennoy kladki* [National experience of construction of buildings with outer walls made of lightweight masonry]. Moscow: RIF «Stroymaterialy», 2009. 360 p. (rus)
7. Derkach V. N. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universi-teta - Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of the Brest State Technical University - Construction and architecture.]. 2010. No. 1. Pp.43-45. (rus)
8. Jasinski R. *XXVI Ogólnopolskie warsztaty Pracy projektanta konstrukcji*. 2011. Pp. 453-499.
9. Drobiec L., Kubica J. *Materialy budowlane*. 2006. No. 4. Pp. 21-23.
10. *SNiP II-22-81* Kamennyye i armokamennyye konstruksii* [Masonry and reinforced structures]. Gosstroy SSSR. Moscow: Stroyizdat, 1983. 40 p. (rus)
11. *EN1996-1-1:2005 Eurocode 6. Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk*. 127 p.
12. Polyakov S. V. *Stsepleniye v kirpichnoy kladke* [Adhesion in masonry]. Moscow: Gosstroyizdat, 1959. 134 p. (rus)
13. Orlovich R. B., Derkach V. N. *Magazine of civil engineering*. 2011. No. 7(25). Pp. 3-10. (rus)
14. Derkach V. N., Orlovich R. B. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and reconstruction]. 2010. No. 3. Pp. 7-13. (rus)
15. Calvi G. M., Magenes G. Experimental evaluation of seismic strength of old masonry structures. *Proc. of the 9th Int. Brick/Block Masonry Conf.* Berlin, 1991. Pp. 490-497.

16. Riddington J. R., Ghazali M. Z. Hypothesis for shear failure in masonry joints. *Proc. Institute of Civil Engineers*. 1990. Part 2, Vol. 89. Pp. 89-102.
17. Hamid A. A., Drysdale R. G. The Shear Behaviour of Brickwork Bed Joints. *Proc. of the British Ceramic Society*. 1982. No. 30. Pp. 101-109.
18. Kubica J. *Wstępne badania murów z bloczków z betonu komórkowego poddanych ścinaniu ze ściskaniem*: Praca BK-273/RB-2/98. Gliwice: 1998. 67 p.
19. Lewicki B., Szczygielski A. Badania wytrzymałościowe muru na cienkie spoiny z bloczków YTONG: *Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Konstrukcje Murowe”*. Puławy: 1998. Pp. 21-29.
20. Granovskiy V. A., Dzhamuyev B. K. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo* [Industrial and civil engineering]. 2011. No. 4. Pp. 37-39. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 19-28.