2019. 15(4). 271–277

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

STRUCTURAL MECHANICS OF ENGINEERING CONSTRUCTIONS AND BUILDINGS

HTTP://JOURNALS.RUDN.RU/STRUCTURAL-MECHANICS

DOI 10.22363/1815-5235-2019-15-4-271-277
УДК 624.012.042

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Критерии прочности стен из крупных кладочных блоков

К.П. Пятикрестовский

Научно-исследовательский центр «Строительство», Российская Федерация, 109428, Москва, 2-я Институтская улица, д. 6, корп.1
stroymex@list.ru

История статьи:
Поступила в редакцию: 12 мая 2019 г.
Доработана: 10 июля 2019 г.
Принята к публикации: 25 июля 2019 г.

Для цитирования
Пятикрестовский К.П. Критерии прочности стен из крупных кладочных блоков // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 4. С. 271–277. http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-4-271-277

Аннотация

Цели. В статье ставится задача применить современные критерии прочности анизотропных материалов для расчета многослойных стен из ячеистобетонных и силикатных крупных кладочных материалов, отличающихся точными размерами и допускающих тонкошовную кладку с клеевыми швами. Предложения для включения в нормы проектирования указаний, учитывающих работу стеновых материалов в сложных напряженных состояниях, будут представлены посредством серии публикаций. ***Методы.*** Для решения поставленной задачи используются критерии прочности Г.А. Гениева в достаточно упрощенной форме. Рассматривается объемное напряженное состояние стен из ортотропных материалов. В основу построения критериев прочности положены три возможных различных механизма разрушения – отрыв, сжатие и сдвиг. Для современных тонкостенных кладок характерно сочетание сжимающих (вертикальных) и сдвигающих (горизонтальных) нагрузок. Особый интерес представляет работа кладки на сдвиг, поскольку плоское напряженное состояние изучено недостаточно. Построению критерия прочности кладки при сдвиге и посвящена статья. Особенностью предлагаемых расчетов является сравнительная простота критериев прочности, обусловленная принятыми гипотезами. ***Результаты.*** Представлены окончательное выражение критерия прочности при сдвиге и последовательность поверочного расчета на сдвиговую прочность в случае простого нагружения. Статья является предварительной для серии расчетов и результатов экспериментальных исследований стен при различных условиях эксплуатации и различных нагрузках.

Ключевые слова: каменная кладка; ортотропные стеновые материалы; критерии прочности при сдвиге

Введение

Для определения пластичности и прочности материалов, работающих в условиях сложных напряженных состояний, применяются критерии прочности, которые часто выражаются сложными формулами. Разработкой критериев прочности и пластичности изотропных и анизотропных тел занимались многие известные ученые, такие как И.И. Гольденблат и В.А. Копнов, Г.С. Писаренко и А.А. Лебедев, Е.К. Ашкенази и Э.В. Ганов, Н.М. Беляев, Г.А. Гениев, А.Н. Воронов. Подробный обзор существующих критериев, наиболее близких к рассматриваемой тематике, дается в их монографиях [1–9]. Имеются также более современные работы Н.И. Карпенко, В.М. Бондаренко и В.И. Колчунова, О.В. Кабанцева [11–13] и др.

Наше исследование базируется на работах Г.А. Гениева и его сотрудников [6; 7].

Пятикрестовский Константин Пантелеевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко; eLIBRARY SPIN-код: 7983-5656.

Новые конструктивные решения стеновых каменных конструкций отличаются большим разнообразием, обеспечивающим технологичность, экономическую эффективность и целесообразность создания зданий и сооружений. В ЦНИИСК имени В.А. Кучеренко выполнены экспериментальные исследования наилучших образцов фрагментов стен для оценки рационального массового применения. Материалы отчета о научно-исследовательской работе по теме «Исследование прочности и деформативности кладки из силикатных и ячеистобетонных блоков на клеевых растворах для тонкошовной кладки и определение нормируемых параметров швов» (2017 г., исполнители – О.И. Пономарев, М.А. Мухин) использованы в работах [14; 15].

На рис. 1 показана схема образца кладки с трещинами после испытаний на сжатие. В условиях эксплуатации кроме сжатия материал часто испытывает сдвиг. Разрабатываемые критерии прочности позволяют выполнить анализ плоского напряженного состояния. В частности, хорошо зарекомендовали себя тонкошовные клеевые соединения в стенах из легкобетонных ячеистых и силикатных камней укрупненного формата. Однако требуется совершенствование методики испытаний элементов стен и применение современных методов расчета для дальнейшей модернизации норм проектирования и самих конструктивных решений. В условиях применения новых технологий практика требует соответствующих теоретических приемов и расчета, особенно с учетом пространственной работы стеновых конструкций, вызванной многообразием решений, нагрузок и внутренних усилий от температурных, влажностных, ветровых и других воздействий.

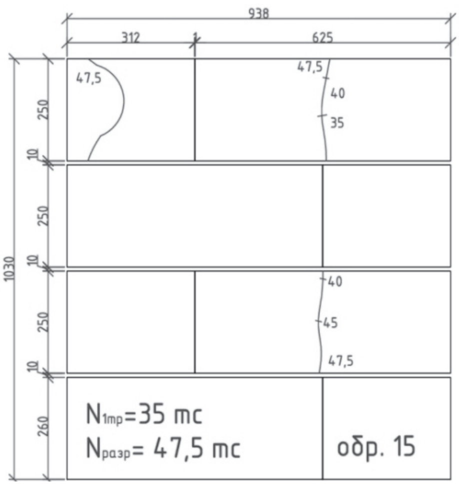

Рис. 1. Схема повреждения образца кладки из ячеистобетонных блоков после испытаний
[**Figure 1.** Scheme of damage to the masonry sample of cellular concrete blocks after testing]

В предлагаемой статье сделана попытка применить критерии прочности Г.А. Гениева, которые уже прошли научную апробацию, но нуждаются в привязке к реальному проектированию. Здесь ставятся вопросы освоения прогрессивных расчетных предпосылок в их достаточно упрощенных формах. Подобные подходы имеются и в других разработках, касающихся, в частности, композитных и традиционных конструкций [14].

По мнению Г.А. Гениева, каменную кладку допускается рассматривать как однородный ортотропный материал, при построении критериев прочности которого принято обоснованное экспериментальными данными предположение об объемном напряженном состоянии в условиях кратковременного статического нагружения без учета температурно-временных факторов и ползучести. При этом возможны три различных механизма разрушения:

– от отрыва, проявляющегося при одно-, двух- или трехосном растяжении;

– от смятия, проявляющегося при одно-, двух- или трехосном сжатии;

– от сдвига, проявляющегося обычно при смешанных напряженных состояниях, когда главные напряжения отличаются по знаку.

В связи с этим критерий прочности представляется в виде трех независимых аналитических выражений, каждое из которых определяет предел прочного сопротивления материала в предположении того или иного механизма разрушения.

Принципы расчетов

Введем систему координат x, y, z, совмещая ее оси с главными осями анизотропии материала. При выводе предлагаемого критерия прочности каждую разновидность исследуемого материала будем определять девятью независимыми прочностными показателями:

– пределами прочности на растяжение вдоль осей x, y, z – R_{px}, R_{py}, R_{pz} соответственно;

– пределами прочности на сжатие вдоль тех же осей – R_{cx}, R_{cy}, R_{cz};

– пределами прочности на сдвиг по площадкам, ортогональным осям x, y, z – C_x, C_y, C_z соответственно.

Положительными напряжениями будем считать растягивающие, отрицательными – сжимающие.

Рассмотрим вопросы построения критерия прочности ортотропных материалов для общего случая трехосного напряженного состояния, когда разрушение материала происходит от сдвига по некоторой площадке скольжения, где процессу разрушения предшествует накопление сдвиговых деформаций [15; 16].

Разрушение материала от сдвига, вызванное действием касательных напряжений обычно происходит при смешанных напряженных состояниях, когда главные нормальные напряжения отличаются по знаку. Вследствие различия пределов прочности на сдвиг в направлениях главных осей анизотропии опасная площадка сдвига не будет, как правило, совпадать с направлением главных касательных напряжений. Ее направление может быть найдено из условия

$$\max[\tau_v - C(v)_v] = 0, \qquad (1)$$

где τ_v – касательное напряжение на площадке сдвига.

В целях упрощения процедуры реализации (1) будем исследовать это условие не в осях координат, совпадающих с главными осями анизотропии, а в осях, совпадающих с направлениями главных напряжений.

$$\tau = [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 n^2 + \\ +(\sigma_3 - \sigma_1)^2 n^2 l^2]^{\frac{1}{2}}. \qquad (2)$$

Здесь l, m, n – направляющие косинусы нормали v, искомой площадки сдвига в осях главных напряжений σ_1, σ_2 , σ_3; *C(v)* – закон изменения пределов прочности на сдвиг.

Будем считать, что вид зависимости

$$C(v) = C(lvj), j = x, y, z \qquad (3)$$

в пространстве главных осей анизотропии установлен из опытов на принудительный сдвиг образцов материала по различным направлениям. Здесь l, v, j – значения направляющих косинусов нормали v площадки сдвига к осям x, y, z.

Аналитическое выражение закона (3) в осях главных напряжений найдем, используя зависимости

$$l_{vj} = l l_{1j} + m l_{2j} + n l_{3j}, j = x, y, z, \qquad (4)$$

представляющие собой скалярные произведения единичного вектора $\vec{v}$ и единичных векторов, совпадающих по направлению с осями x, y, z. Направляющие косинусы l_{ij} определяют положение главных напряжений в системе координат x, y, z, и их значения известны для любого момента загружения.

Ниже приведена матрица направляющих косинусов, обусловливающая взаимную ориентацию осей главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, главных осей анизотропии x, y, z и нормали v к опасной площадке сдвига.

С учетом (4) зависимость (3) может быть представлена в виде

$$C(v) = C(l, m, n), \qquad (5)$$

а направление опасной площадки сдвига может быть найдено из условия

$$\max[T(l, m, n)] = 0, \qquad (6)$$

где $T = [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 n^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 n^2 l^2]^{\frac{1}{2}} - c(l, m, n) + \lambda(l^2 + m^2 + n^2 - 1)$; λ – множитель Лагранжа.

Условие (6) может быть реализовано в форме

$$\frac{\partial T}{\partial l}; \frac{\partial T}{\partial m}; \frac{\partial T}{\partial n}, \qquad (7)$$

что приводит к следующей системе уравнений для определения направляющих косинусов l, m, n нормали v к площадке сдвига

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 l m^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 l n^2]\tau_v^{-1} - C'_e + 2\lambda l = 0,$$

$$[(\sigma_2 - \sigma_3)^2 m n^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 m l^2]\tau_v^{-1} - \\ -C'_m + 2\lambda m = 0, \qquad (8)$$

$$[(\sigma_3 - \sigma_1)^2 n l^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 n m^2]\tau_v^{-1} - C'_n + 2\lambda n = 0.$$

Согласно (8) и (2) значение множителя λ равно

$$\lambda = 0{,}5(C'_l l + C'_m m + C'_n n) - \tau_v , \qquad (9)$$

где $C'_l l,\ C'_m m,\ C'_n n$ – производные по l, m, n от аналитического выражения закона изменения пределов прочности на сдвиг *C (l, m, n)* в системе координат, связанной с главными осями напряжений.

Таблица

Матрица направляющих косинусов
[*Table 1.* The matrix guides of the cosines]

	1	2	3	ν
x	l_{1x}	l_{2x}	l_{3x}	l_{vx}
y	l_{1y}	l_{2y}	l_{3y}	l_{vy}
z	l_{1z}	l_{2z}	l_{3z}	l_{vz}
ν	l	m	n	–

Аналитическое выражение закона изменения пределов прочности на сдвиг должно явным образом определять значение C в зависимости от направления осей анизотропии, а также соответствовать условиям предельного перехода к изотропному материалу, когда для любого направления C = const. Настоящим требованиям отвечает следующая форма закона в системе координат, связанной с главными осями анизотропии материала:

$$C(v) = C_x l_{vx}^2 + C_y l_{vy}^2 + C_z l_{vz}^2. \qquad (10)$$

Подобная форма закона для случая двухосного напряженного состояния использовалась в работе (4) и удовлетворительно подтверждается экспериментальными данными.

На основании (10) и (4) в осях главных напряжений

$$C(v) = C(l,m,n) = C_x(ll_{1x} + ml_{2x} + \\ + nl_{3x})^2 + +C_y\left(ll_{1y} + ml_{2y} + nl_{3y}\right)^2 + \\ + C_z(ll_{1z} + ml_{2z} + nl_{3z})^2. \qquad (11)$$

При этом в соответствии с (9) и (4) множитель $\lambda = 0$. Подставляя (11) в (8) получим окончательную систему нелинейных алгебраических уравнений для определения направляющих косинусов l, m, n нормали к площадке сдвига, выражающую условие прочности на ней в неявном виде.

$$l[(\sigma_1-\sigma_2)^2 m^2 + (\sigma_3-\sigma_1)^2 n^2](C_{11}l + C_{12}m + \\ + C_{13}n)^{-1} = m[(\sigma_2-\sigma_3)^2 n^2 + (\sigma_1-\sigma_2)^2 l^2](C_{21}l + \\ + C_{22}m + C_{23}n)^{-1} = n[(\sigma_3-\sigma_1)^2 l^2 + (\sigma_2 - \\ - \sigma_3)^2 m^2](C_{31}l + C_{32}m + C_{33}n)^{-1} = 2\tau_v, \qquad (12)$$

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1.$$

Здесь $C_{ii} = C_x l_{xi}^2 + C_y l_{yi}^2 + C_z l_{zi}^2$;

$$C_{ij} = C_x l_{xi} l_{xj} + C_y l_{yi} l_{yj} + C_z l_{zi} l_{zj}\,, i,j = 1,2,3. \qquad (12а)$$

Исследуя систему (12), более подробно остановимся на случае, когда главные оси напряжений совпадают с главными осями анизотропии материала. При этом $C_{11} = C_x,\ C_{22} = C_y, C_{33} = C_z = C_{23} = 0$, а из (12а) следует

$$C_x(\sigma_1-\sigma_2)^2 i + \\ +\left[C_x(\sigma_2-\sigma_3)^2 - C_y(\sigma_3-\sigma_1)^2\right]N - C_y(\sigma_1-\sigma_2)^2 M = 0,$$

$$\left[C_y(\sigma_3-\sigma_1)^2 + C_z(\sigma_1-\sigma_2)^2\right]L - \\ -C_z(\sigma_2-\sigma_3)^2 N - C_y(\sigma_2-\sigma_3)^2 M = 0,$$

$$L + M + N = 1,\ \text{где}\ L = l^2;\ M = m^2;\ N = n^2. \qquad (13)$$

Решая систему линейных алгебраических уравнений (13) относительно L, M, N, находим:

$$L = l^2 = \tau_{23}^2\left(C_z\tau_{12}^2 + C_y\tau_{31}^2 - C_x\tau_{23}^2\right)\left[\tau_{23}^2\left(C_z\tau_{12}^2 + \right.\right. \\ + C_y\tau_{31}^2 - C_x\tau_{23}^2\right) + \tau_{31}^2\left(C_x\tau_{23}^2 + C_z\tau_{12}^2 - C_y\tau_{31}^2\right) + \\ \left. + \tau_{12}^2(C_y\tau_{31}^2 + C_x\tau_{23}^2 + C_z\tau_{12}^2)\right]^{-1}. \qquad (14)$$

Выражение для $M = m^2$ и $N = n^2$ получается из (14) путем замены индексов в числителе по кольцевой подстановке при неизменном знаменателе.

Аналитическое выражение критерия прочности найдем, приравнивая значения касательного напряжения τ_v пределу прочности на сдвиг C_v на площадке сдвига:

$$\tau_v - C_v = 0, \qquad (15)$$

$$\tau_v = 2(\tau_{12}^2 l^2 m^2 + \tau_{23}^2 m^2 n^2 + \tau_{31}^2 n^2 l^2)^{\frac{1}{2}}, \qquad (16)$$

$$\tau_{ij} = 0{,}5(\tau_{12}^2 l^2 m^2 + \tau_{23}^2 m^2 n^2 + \tau_{31}^2 n^2 l^2)^{\frac{1}{2}},$$

$$C_v = C_x l^2 + C_y m^2 + C_z n^2. \qquad (17)$$

Согласно (14)–(17) критерии прочности при сдвиге:

$$-2\left(C_x C_y \tau_{23}^2\tau_{31}^2 + C_y C_z \tau_{31}^2\tau_{12}^2 + C_z C_x \tau_{12}^2\tau_{23}^2\right) - \\ - \left(C_x^2\tau_{23}^4 + C_y^2\tau_{23}^4 + C_z\tau_{12}^4\right) - 4\tau_{12}^2\tau_{23}^2\tau_{31}^2 = 0. \qquad (18)$$

Выражения (14), определяющие значение направляющих косинусов l, m, n нормали к опасной площадке сдвига, справедливы, когда числитель каждого из них является неотрицательной величиной, что приводит к следующим условиям:

$$-C_x\tau_{23}^2 + C_y\tau_{31}^2 + C_z\tau_{12}^2 \geq 0,$$

$$C_x\tau_{23}^2 - C_y\tau_{31}^2 + C_z\tau_{12}^2 \geq 0,$$

$$C_x\tau_{23}^2 + C_y\tau_{31}^2 - C_z\tau_{12}^2 \geq 0. \qquad (19)$$

Эти соотношения можно интерпретировать тремя пересекающимися плоскостями, образующими трехгранную пирамиду, ось которой равнонаклонна к осям x, y, z (рис. 2).

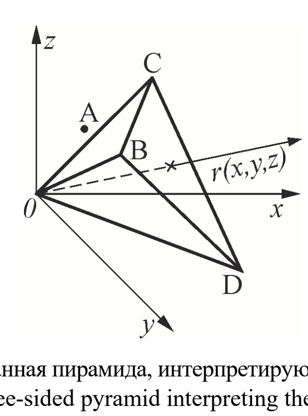

Рис. 2. Трехгранная пирамида, интерпретирующая условия (19)
[**Figure 2.** Three-sided pyramid interpreting the conditions (19)]

Для напряженных состояний, соответствующих траекториям нагружения, расположенным внутри пирамиды, будут выполняться условия (19), а направления опасной площадки сдвига в предельном состоянии будут определяться формулами (14).

Для состояний, соответствующих одной из граней пирамиды, например, грани при $l = 0$, в этом случае сдвиг будет происходить в плоскости, параллельной главной оси анизотропии x.

Мы рассмотрели один из частных случаев предельного состояния, когда главные оси напряжений совпадают с главными осями анизотропии материала. Общая система уравнений (12) значительно упрощается.

Рассмотрим частный случай, когда только одна из главных осей анизотропии совпадает по направлению с одной из главных осей напряжений, например ось x – с осью σ_1.

Из системы уравнений (12) следует:

$$\frac{(\sigma_2-\sigma_3)l}{C_{22}m+C_{23}n} = \frac{(\sigma_1-\sigma_3)l}{C_{32}m+C_{33}n} = 2. \qquad (20)$$

Записывая (20) в виде

$$(\sigma_2 - \sigma_3 - 2C_{23})m - C_{33}n = 0,$$

$$-2C_{22}m + (\sigma_2 - \sigma_3 + 2C_{23})n = 0 \qquad (21)$$

и раскрывая определитель однородной системы линейных уравнений (21), найдем

$$\sigma_2 - \sigma_3 = 2C_{23}n + (\sigma_1 - \sigma_3)^{\frac{1}{2}} + 2C_{23},$$

откуда с учетом (12а) получим окончательное выражение критерия прочности при сдвиге для рассматриваемого случая:

$$\sigma_2 - \sigma_3 = \left[\left(C_y - C_z\right)^2 \sin^2 2\alpha + 4C_yC_z\right]^{\frac{1}{2}} - \frac{(C_y-C_z)}{\sin 2\alpha}. \qquad (22)$$

Заключение

Приведем последовательность поверочного расчета на сдвиговую прочность материалов в случае простого нагружения, когда соотношения между главными напряжениями известны и в процессе нагружения не изменяются.

1. Для заданных значений напряжений из системы уравнений (12) с помощью итерационного алгоритма определяются направляющие косинусы l, m, n нормали v к опасной площадке сдвига в осях $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

2. По формулам (4) определяются направляющие косинусы l_{vj} $(j = x, y, z)$ нормали v в главных осях анизотропии материала x, y, z.

3. Из выражения (10) находится предел прочности на сдвиг $C(v)$ на площадке с нормалью v.

4. По формуле (2) определяется фиктивное касательное напряжение $\tau_v^{\text{ф}}$ на площадке с нормалью v для заданных значений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

5. Находится коэффициент приведения нагрузки к предельной:

$$p = c(v)/\tau_v^{\text{ф}}. \qquad (23)$$

6. Определяются действительные значения предельных нормальных напряжений:

$$\overline{\sigma_i} = p\sigma_i,\ i = 1,2,3. \qquad (24)$$

7. Делается проверка критерия прочности: для найденных значений $l,\ m,\ n,\ \sigma_i$ проверяется выполнение уравнений (12) и равенства $\tau_v = c(v)$.

В дальнейших публикациях предполагается привести расчет и результаты испытаний стены в плоском напряженном состоянии.

Список литературы

1. *Гольденблат И.И., Копнов В.А.* Критерии прочности и пластичности конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1968. 190 с.
2. *Писаренко Г.С., Лебедев А.А.* Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наукова думка, 1976. 412 с.
3. *Ашкенази Е.К., Морозов А.С.* Методика экспериментального исследования упругих свойств композиционных материалов // Заводская лаборатория. 1976. № 6. С. 731–735.
4. *Ашкенази Е.К., Ганов Э.В.* Анизотропия конструкционных материалов: справочник. Л.: Машиностроение, Лен. отд., 1980. 247 с.
5. *Беляев Н.М.* Труды по теории упругости и пластичности. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. 632 с.
6. *Гениев Г.А., Курбатов А.С.* О предельном сопротивлении анизотропных материалов сдвигу при трехосном напряженном состоянии // Строительная механика и расчет сооружений. 1991. № 3. С. 3–7.
7. *Гениев Г.А., Курбатов А.С.* О предельных прочностных зависимостях для анизотропных материалов при сдвиге // Методы расчета и оптимизации строительных конструкций на ЭВМ. М.: ЦНИИСК имени В.А. Кучеренко, 1990. С. 60–67.
8. *Воронов А.Н.* Статические плоские задачи деформационной теории пластичности ортотропных тел: дис. … канд. техн. наук. М., 1985. 138 с.
9. *Гениев Г.А., Курбатов А.С., Самедов Ф.А.* Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов. М.: Интербук, 1993. 187 с.
10. *Карпенко В.М.* Общие модели механики железобетона: монография. М.: Стройиздат, 1996.
11. *Бондаренко В.М., Колчунов В.И.* Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография. М.: АСВ, 2004. 472 с.

12. *Кабанцев О.В.* Деформационные свойства каменной кладки как разномодульной кусочно-однородной среды // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 4. С. 36–40.

13. *Кабанцев О.В.* Критерии предельных состояний каменных конструкций сейсмостойких зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 2. С. 29–39.

14. *Page A.W.* The biaxial compressive strength of brick masonry // Proc. Inst. Civ. Eng. Part 2. 1981, Sept. Vol. 71 Pp. 893–906.

15. *Пономарев О.И., Пятикрестовский К.П., Мухин М.А.* Расчет новых каменных конструкций в плоском напряженном состоянии // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. № 2 (21). С. 136–146

16. *Пятикрестовский К.П., Мухин М.А.* Применение современных критериев прочности при разработке новых стеновых тонкошовных клеевых каменных кладок // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН и научное обеспечение развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации. М.: АСВ, 2019. С. 236–261.

RESEARCH PAPER

Criteria of strength of walls from large masonry blocks

Konstantin P. Pyatikrestovsky

Research Center of Construction (Joint Stock Company), 6 2-ya Institutskaya St., Moscow, 109428, Russian Federation
stroymex@list.ru

Article history:
Received: May 12, 2019
Revised: July 10, 2019
Accepted: July 25, 2019

For citation
Pyatikrestovsky K.P. (2019). Criteria of strength of walls from large masonry blocks. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings, 15*(4), 271–277. http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-4-271-277

Abstract

Aims of research. The task is to apply modern strength criteria of anisotropic materials for the calculation of multilayer walls made of cellular concrete and silicate large masonry materials, which differ in exact dimensions and allow for thin-seam masonry with adhesive seams. Proposals for the inclusion in the design standards of guidance that takes into account the work of wall materials in complex stress states will be presented in a series of publications. ***Methods.*** The strength criteria of G.A. Geniev in a rather simplified form are used. The volumetric stress state of walls made of orthotropic materials is considered. The basis for the construction of strength criteria are three possible different mechanisms of destruction – separation, compression and shear. For modern thin-walled masonry is characterized by a combination of compressive (vertical) and shear (horizontal) loads. Of particular interest is the work of the masonry shift, since the plane stress state is not sufficiently studied. The article is devoted to the construction of the criterion of masonry shear strength. The peculiarity of the proposed calculations is the comparative simplicity of the strength criteria due to the accepted hypotheses. ***Results.*** The final expression of the shear strength criterion and the sequence of the shear strength verification in the case of simple loading are presented. The article is preliminary for a series of calculations and results of experimental studies of the walls under different operating conditions and different loads.

Keywords: masonry; orthotropic wall materials; shear strength criteria

References

1. Gol'denblat I.I., Kopnov V.A. (1968). *Kriterii prochnosti i plastichnosti konstrukcionnyh materialov* [*Criteria of strength and plasticity of structural materials*]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 190. (In Russ.)

2. Pisarenko G.S., Lebedev A.A. (1976). *Deformirovanie i prochnost' materialov pri slozhnom napryazhennom sostoyanii* [*Deformation and strength of materials under complex stress conditions*]. Kyiv: Naukova dumka Publ., 412. (In Russ.)

3. Ashkenazi E.K., Morozov A.S. (1976). Metodika ehksperimental'nogo issledovaniya uprugih svojstv kompozicionnyh materialov [Methods of experimental study of elastic properties of composite materials]. *Zavodskaya laboratoriya* [*Plant laboratory*], (6), 731–735. (In Russ.)

4. Ashkenazi E.K., Ganov Eh.V. (1980). *Anizotropiya konstrukcionnyh materialov: spravochnik* [*Anisotropy of structural materials: handbook*]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., Len. otd., 247. (In Russ.)

5. Belyaev N.M. (1957). *Trudy po teorii uprugosti i plastichnosti* [*Works on the theory of elasticity and plas-*

Konstantin P. Pyatikrestovsky, Doctor of Science (Technical), chief researcher, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko; eLIBRARY SPIN-code: 7983-5656.

ticity], Moscow, Gos. izd-vo tekhniko-teoreticheskoj literatury Publ., 632. (In Russ.)

6. Geniev G.A., Kurbatov A.S. (1991). O predel'nom soprotivlenii anizotropnyh materialov sdvigu pri trekhosnom napryazhyonnom sostoyanii [On the limit resistance of anisotropic materials to shear at a triaxial stress state]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij,* (3), 3–7. (In Russ.)

7. Geniev G.A., Kurbatov A.S. (1990). O predel'nyh prochnostnyh zavisimostyah dlya anizotropnyh materialov pri sdvige [On limit strength dependences for anisotropic materials during shear]. *Metody rascheta i optimizacii stroitel'nyh konstrukcij na EHVM*, 60–67. (In Russ.)

8. Voronov A.N. (1985). *Staticheskie ploskie zadachi deformacionnoj teorii plastichnosti ortotropnyh tel* [*Static plane problems of deformation theory of plasticity of orthotropic bodies*]. (PhD dissertation, Moscow). 138. (In Russ.)

9. Geniev G.A., Kurbatov A.S., Samedov F.A. (1993). *Voprosy prochnosti i plastichnosti anizotropnyh materialov* [*Questions of strength and plasticity of anisotropic materials*]. Moscow, Interbuk Publ., 187. (In Russ.)

10. Karpenko V.M. (1996). *Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona: monografiya* [*General models of reinforced concrete mechanics: monograph*]. Moscow, Strojizdat Publ. (In Russ.)

11. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. (2004). *Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona: monografiya* [*Computational model of a power resistance of reinforced concrete: monograph*]. Moscow, ASV Publ., 472. (In Russ.)

12. Kabancev O.V. (2013). Deformacionnye svojstva kamennoj kladki kak raznomodul'noj kusochno-odnorodnoj sredy [Deformation properties of masonry as a multi-modular piecewise homogeneous medium]. *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*, (4), 36–40. (In Russ.)

13. Kabancev O.V. (2016). Kriterii predel'nyh sostoyanij kamennyh konstrukcij sejsmostojkih zdanij [Criteria of limit states of stone structures of earthquake-resistant buildings]. *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij,* (2), 29–39. (In Russ.)

14. Page A.W. (1981, Sept.). The biaxial compressive strength of brick masonry. *Proc. Inst. Civ. Eng. Part 2, 71*, 893–906.

15. Ponomarev O.I., Pyatikrestovskij K.P., Muhin M.A. (2019). Raschet novyh kamennyh konstrukcij v ploskom napryazhennom sostoyanii [The calculation of new masonry structures under plane stress]. *Vestnik NIC "Stroitel'stvo"*, *2*(21), 136–146. (In Russ.)

16. Pyatikrestovskij K.P., Muhin M.A. (2019). Primenenie sovremennyh kriteriev prochnosti pri razrabotke novyh stenovyh tonkoshovnyh kleevyh kamennyh kladok [Application of modern strength criteria in the development of new wall thin-seam adhesive masonry]. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN i nauchnoe obespechenie razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii*, 236–261. (In Russ.)