



Ross. Fed. ot 27 fevralya 2017 goda № 126/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-23-81*: data vved. 2017-08-28 : [redaktsiya ot 4 dekabrya 2019 goda]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_278905/ (data obrascheniya : 15.03.2021). – Rezhim dostupa : Konsultant-Plyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

2. Novinkov A. G. Ustoychivost stenok v elementakh ramnykh konstruksiy s peremennoy vysotoy stinki [Wall buckling in elements of frames with changing wall height]. Dissertation for the candidate of technical sciences. NISI im. V.V. Kuybysheva, Novosibirsk, 1991. – 176 p.

3. Biryulev V. V., Novinkov A. G. Inzhenerniy metod raschyota ustoychivosti stenok szhatoizgibaemykh dvutavrov peremennoy vysoty [Engineering method for calculating the stability of walls of compressed-bent I-beams with variable height]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo i arkhitektura [News of High Educational Institutions. Construction and architecture]. 1991; № 7. – P. 9–14.

4. Katushin V. V. Zdaniya s karkasami iz stalnykh ram peremennogo secheniya (raschyot, proektirovanie, stroitelstvo) [Buildings with variable stiffness still frame carcass (calculations, design, building)]. – Moscow: Stroyizdat, 2005. – 656 p. – ISBN 5-274-02030-5.

© А. И. Колесов, А. В. Гурин, 2022

Получено: 08.12.2021 г.

УДК 69.04:693.2

С. Ю. ЛИХАЧЕВА, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **М. Л. ПОЗДЕЕВ**, студент

КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: lihsvetlana@yandex.ru, maksim.leon.pz@yandex.ru

Ключевые слова: каменная кладка, плоское напряженное состояние, касательные напряжения, критерий прочности, фигура прочности, ортотропный материал.

Описан критерий прочности каменных кладок в области среза по перевязанному и неперевязанному сечению. Проведено обобщение подходов к описанию прочности кладки на действие касательных напряжений по результатам опытных данных и предложенных авторских и нормативных методик. Проведен анализ их применимости в инженерной практике.

Современная нормативная база в области проектирования каменных конструкций [1] во многом консервативна и ориентирована на ручные расчеты по упрощенным одноосным расчетным моделям, которые не могут корректно описать фактическое напряженно-деформированное состояние (НДС) кладки, в том числе плоское НДС кирпичных стен при сложных видах нагружений (опирание плит перекрытий одновременно на продольные и поперечные стены, горизонтальные ветровые и сейсмические нагрузки, стены на упругом основании и др.).

Проектирование каменных зданий в инженерной практике производят, используя метод конечных элементов (МКЭ), при этом размер конечного элемента (КЭ) во много раз превосходит размер однородного вещества – кирпича и рас-

творной матрицы. Данный макромеханический подход к моделированию требует использовать гомогенизацию свойств, т. е. замену неоднородной структуры каменной кладки на однородную анизотропную структуру с осредненными физико-механическими характеристиками. При этом встает вопрос в определении критериев прочности, которые могут корректно описать несущую способность композитной каменной конструкции с учетом анизотропии ее свойств.

Целью данной работы стало обобщение подходов к описанию прочности кладки на действие касательных напряжений по результатам опытных данных и предложенных авторских и нормативных методик и анализ их применимости в инженерной практике.

Влияние плоского НДС кладки на ее прочность описано в отечественных и зарубежных источниках. В частности, Г. А. Гениевым был разработан критерий прочности каменной кладки при плоском НДС [2] (рис. 1) на основе опытов А. У. Пейджа [3]. Данный критерий достаточно хорошо аппроксимирует опытные данные, однако имеет ряд недостатков. В частности, в нем используются инварианты, которые в действующих нормах не приведены, из-за чего он не может быть использован в инженерной практике при реальном проектировании.

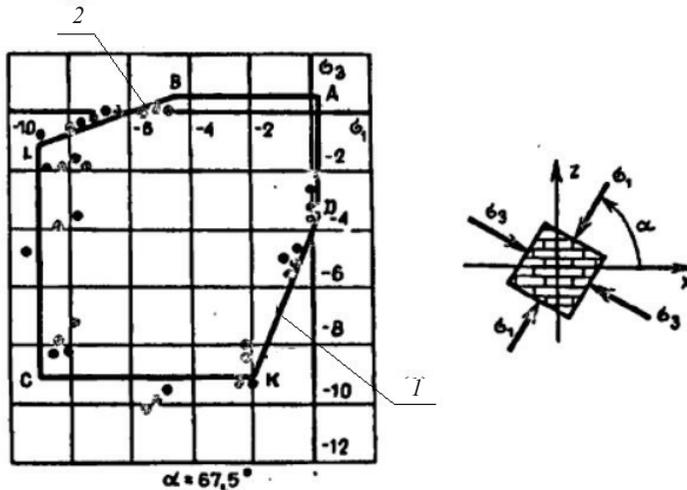


Рис. 1. Критерий прочности Гениева: 1 – срез по неперевязанному сечению, см. уравнение (1); 2 – срез по перевязанному сечению, см. уравнение (2)

Рассмотрим критерий прочности Гениева в области сжатие-растяжение и сжатие-сжатие, когда одно из главных напряжений во много раз превосходит другое. Данные области критерия прочности соответствуют потере прочности за счет действия касательных напряжений, т. е. сдвига кладки вдоль или поперек растворных швов. В зависимости от угла наклона главных напряжений к горизонтальным растворным швам Гениевым предлагается использовать различные законы прочности.

При действии на элемент вдоль растворных швов существенно больших сжимающих напряжений потеря несущей способности происходит за счет сдвига вдоль растворных швов (срез по неперевязанному сечению). При этом учитывается упрочнение за счет действия нормальных к плоскости сдвига сжимающих напряжений по закону касательной Кулона-Навье:

$$|\tau_{xz}| = C_z - \mu_z \sigma_z, \quad (1)$$

где C_z – предел прочности на сдвиг по неперевязанному сечению; μ_z – коэффици-



ент внутреннего трения при сдвиге по перевязанному сечению.

При срезе кладки поперек горизонтальных растворных швов (срез по перевязанному сечению) Гениевым также рассматривается срез с упрочнением по касательной Кулона-Навье, однако в качестве расчетного сечения для определения касательных напряжений предлагается использовать площадку под углом 45° к главным площадкам, а в качестве инвариантов приняты усредненные характеристики касательного сцепления C_{13} и коэффициента трения μ_{13} , вычисляемые в зависимости от угла α между главными напряжениями и осями ортотропии.

$$|\tau_{13}| = C_{13}(\alpha) - \mu_{13}(\alpha) \cdot \sigma_{13}, \quad (2)$$

где

$$C_{13}(\alpha) = 1/2 [(C_x + C_z) - (C_x - C_z) \cdot |\sin 2\alpha|], \quad (3)$$

$$\mu_{13}(\alpha) = 1/2 [(\mu_x + \mu_z) - (\mu_x - \mu_z) \cdot |\sin 2\alpha|]. \quad (4)$$

Коэффициенты C_{13} и μ_{13} занормированы только в одном направлении согласно п. 7.20 [1]. Поэтому данный критерий не может быть применен в инженерной практике. С другой стороны, в п. 9.12 [1] приводится проверка на действие главных растягивающих напряжений. Данное уравнение описывает огибающую Мора-Кулона (рис. 2), будучи продленной в область двусогнутого сжатия, данное условие может полностью заменить критерий Гениева по перевязанному сечению.

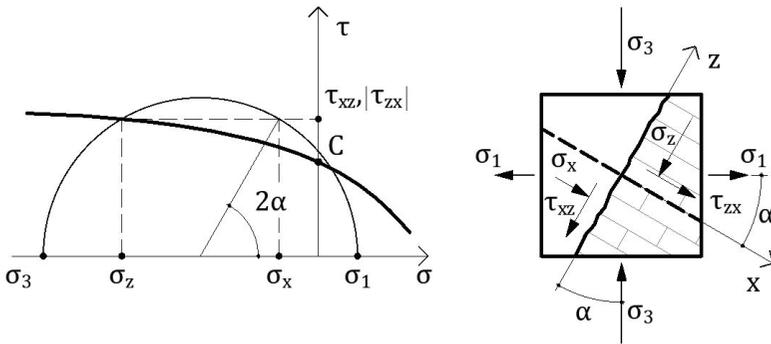


Рис. 2. Огибающая Мора-Кулона на рассматриваемых площадках сдвига

В качестве опасной площадки предлагается рассматривать площадку вдоль вертикальных швов кладки. В таком случае уравнение предельной кривой описывается уравнением:

$$\tau_{xz} = \sqrt{C(C - k\sigma_z)}, \quad (5)$$

где ,

$$\sigma_z = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\alpha, \quad (6)$$

$$\tau_{zx} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha, \quad (7)$$

k – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый равным 0,9 [1].

Решая данную систему из трех уравнений относительно главных напряжений σ_1 и σ_3 , получаем уравнение вида:

$$\sigma_1 = \sigma_3 - \frac{a}{b} + \frac{\sqrt{a^2 + 4bC(C - k\sigma_3)}}{b}, \quad (8)$$

где $a = kC(1 - \cos 2\alpha)$; $b = \sin^2 2\alpha$.

В терминах норм [1] значение C соответствует расчетному сопротивлению на действие главных растягивающих напряжений R_{nv} .

Используя результаты опытов Пейджа [3], построены точки в областях среза и аппроксимирующие кривые по уравнению (8), представленные на рис. 3. При этом сдвиг кладки при угле $\alpha = 22,5^\circ$ соответствует срезу по перевязанному сечению, а при $\alpha = 67,5^\circ$ – срезу по неперевязанному сечению (вдоль горизонтальных растворных швов). Кривые построены при значении $C = 0,9$ МПа.

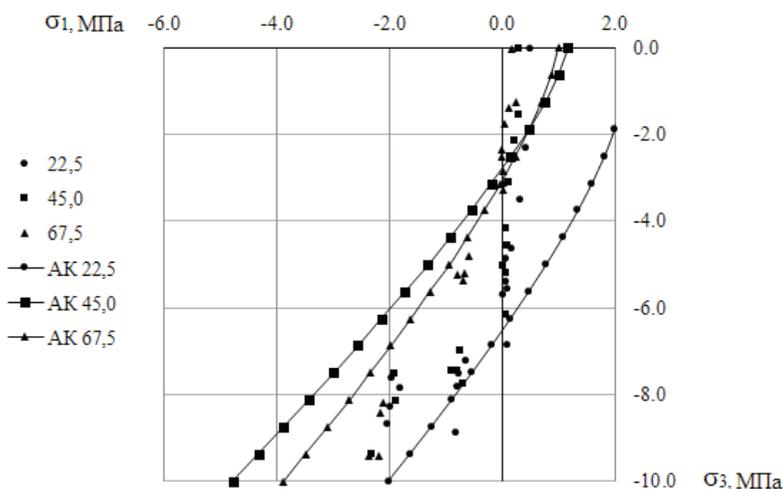


Рис. 3. Предельные точки по результатам опытов Пейджа и их аппроксимирующие кривые (АК) при различных углах наклона α главных напряжений σ_1 и σ_3 к горизонтальным растворным швам

В результате анализа графиков (рис. 3) можно сделать следующие выводы:

1. Качественно уравнение (8) хорошо описывает прочность кладки в области среза, поскольку наименьшая несущая способность возникает при угле $\alpha = 45,0^\circ$, а несущая способность при угле $\alpha = 22,5^\circ$ превосходит несущую способность при $\alpha = 67,5^\circ$, поскольку соответствует сдвигу по перевязанному сечению.

2. Количественно наилучший результат достигается при срезе по перевязанному сечению ($\alpha = 22,5^\circ$) – опытные точки расположены по обе стороны от аппроксимирующей кривой.

3. Для выполнения инженерных расчетов по предложенному критерию достаточно нормативных характеристик кладки, приведенных в [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 902/пр и. : актуализированная редакция СНиП II-22-81* : дата введения 1 июля 2021 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741258> (дата обращения: 20.10.2021). – Текст : электронный.

2. Гениев, Г. А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов / Г. А. Гениев, А. С. Курбатов, Ф. А. Самедов – Москва : Интербук, 1993. – 187 с. : ил. ISBN 5-7664-0991-5. – Текст : непосредственный.

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



LIKHACHYOVA Svetlana Yurevna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; POZDEEV Maksim Leonidovich, student

THE CRITERION OF THE STRENGTH OF MASONRY UNDER THE ACTION OF SHEAR STRESSES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: lihsvetlana@yandex.ru, maksim.leon.pz@yandex.ru

Key words: masonry, biaxial compression, shear stress, strength criterion, strength figure, orthotropic material.

The article describes the criterion of strength of masonry in the area of the cut. The generalization of approaches to the description of the strength of masonry on the action of tangential stresses is carried out based on the results of experimental data and proposed author's and normative methods. The analysis of their applicability in engineering practice is carried out.

REFERENCES

1. SP 15.13330.2020 Kamennye i armokamennye konstruksii [Stone and reinforced stone structures] : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 30 dekabrya 2020 g. № 902/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-22-81*: data vved. 1 iyulya 2021 g. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741258> (data obrascheniya: 20.10.2021).
2. Geniev G. A., Kurbatov A. S., Samedov F. A. Voprosy prochnosti i plastichnosti anizotropnykh materialov [Problems of strength and plasticity of anisotropic materials]. – Moscow: Interbuk, 1993. – 187 p.: il. - ISBN 5-7664-0991-5.
3. Page A.W. The biaxial compressive strength of brick masonry. Proc. Inst. Civ. Eng., Part 2, 1981, 71, Sept. – P. 893–906.

© С. Ю. Лихачева, М. Л. Поздеев, 2022

Получено: 24.01.2022 г.

УДК 624.042.41+533.6.011

Н. Ю. ТРЯНИНА, канд. техн. наук, проф. кафедры теории сооружений и технической механики; Е. Н. ОБЛЕТОВ, аспирант, асс. кафедры теории сооружений и технической механики; И. А. САМОХВАЛОВ, ст. преп. кафедры строительных конструкций

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПАНЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: tstm@nngasu.ru, evg.obletov@gmail.com

Ключевые слова: панельная антенна, ветровой поток, коэффициент лобового сопротивления, число Рейнольдса, эффективная площадь сопротивления.