

А. Н. Плотников

РАСЧЕТ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА ЦЕНТРАЛЬНОЕ СЖАТИЕ КАК КВАЗИОДНОРОДНОГО СПЛОШНОГО УПРУГОПЛАСТИЧНОГО ТЕЛА

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Аннотация. В статье показывается возможность расчета каменной кладки по полученным экспериментальным путем частным характеристикам прочности с учетом пластической работы. Приведены результаты испытаний каменной кладки из нетрадиционного для нормативной базы материала – пустотного керамического кирпича.

Ключевые слова: каменная кладка, квазиоднородное сплошное тело, прочность, пластичность, модуль деформаций, коэффициент Пуассона, расчет, трещины, испытания.

УДК: 539.3

Несмотря на использование каменной кладки в качестве несущих конструкций в течение многих столетий, она остается малоизученной как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах.

С современной точки зрения каменную кладку характеризуют как композитный материал с кусочно-однородной структурой, с позиций механики сплошных сред как квазиоднородный [1],[2],[3],[5].

Для расчета и моделирование каменных конструкций применяется феноменологический подход, основанный на изучении обобщенных механических характеристик, прежде всего, предела прочности, модуля деформаций при сжатии вдоль элемента, коэффициента Пуассона (поперечных деформаций). По работе [1], модели в рамках феноменологической концепции формируются на базе эмпирических зависимостей о поведении объекта под нагрузкой, что определяет невозможность исследований деталей, зачастую важнейших, процесса деформирования.

Такой подход долгие годы был оправдан относительно небольшим набором составляющих каменной кладки: керамический или силикатный кирпич, цементно-песчаный раствор, стальная арматура. С последней компонентой связаны проблемы оценки прочности при максимальных процентах армирования и моделирования методом конечных элементов (при структурном подходе). Особенно эти проблемы проявляются при моделировании работы конструкций с новыми материалами, композитной арматурой, пустотными керамическими камнями [3],[7].

© Плотников А. Н., 2017

Плотников Алексей Николаевич

e-mail: plotnikovAN2010@yandex.ru, кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Поступила 05.09.2017

Традиционная методика расчета каменных конструкций, заложенная в СП 15.13330.2012, построена на эмпирических зависимостях Л.И. Онищика [4].

Для элементов с минимальным влиянием продольного изгиба (гибкости $\lambda < 14$) прочность кладки определяется как $N = RA$, т.е. произведение сопротивления сжатию на площадь сечения. Здесь R – расчетное сопротивление кладки, однако, для оценки предельного сопротивления и для сопоставления с экспериментальными данными используется величина временного сопротивления R_u .

В нормативной и научной литературе нет однозначной трактовки величины временного сопротивления. По ГОСТ Р 57290-2016 “Кладка каменная. Метод определения прочности на сжатие” этой величине соответствует максимально достигнутая нагрузка. Так как для испытания кладки используют практически только гидравлические прессы, максимальной нагрузкой является та, при которой давление масла в гидравлической системе перестает расти, т.е. конструкция перестает сопротивляться.

Вместе с тем, устоявшейся концепцией сопротивления кладки является разделение процесса нагружения на четыре этапа, когда первые трещины, пересекающие не более двух рядов, образуются при нагрузке более $0,5R_u$ [1],[2],[3]. По этой величине назначается расчетное сопротивление.

При названном уровне нагрузки каменная кладка перестает быть сплошным телом, даже квазиоднородным, неупругие деформации вдоль оси приложенной силы начинают резко возрастать.

Исходя из состояния конструкции при образовании первых трещин как в пограничном состоянии теории сплошных сред, можно рассмотреть кладку как тело, находящееся в объемном напряженном состоянии. При этом логично было бы считать, что напряжения в направлениях, перпендикулярных оси действия нагрузки, одинаковы по всей высоте элемента. Но многочисленные испытания показывают, что трещины развиваются первоначально в одном ряду кладки. На соседних участках напряжения еще не достигают $0,5R_u$. Процесс продолжается до R_u .

На рис. 1 показано развитие процесса трещинообразования: 1 – трещины на первой стадии работы кладки под нагрузкой, 2 – на завершающих этапах.

Напряженное состояние элемента каменной кладки с точки зрения механики сплошных сред можно представить в виде обобщенного закона Гука [5]:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z)] \quad (1)$$

Расчет каменной кладки в основном заключается в сравнении нормального напряжения вдоль оси Z (рис. 1) с эмпирически определенной прочностью вдоль этой же оси.

В последнее время возникают ситуации, когда композиция кладки усложняется компонентами с новыми свойствами, например, керамические пористые материалы, пористые растворы, композитная арматура и др. Возникает необходимость в моделировании внутренней структуры кладки. Для этого представляется целесообразным обратиться к аппарату механики сплошных сред. Выражение (1) можно преобразовать, выразив напряжение по оси Z через предельные деформации и напряжения слоев в поперечном направлении.

После преобразования выражения (1):

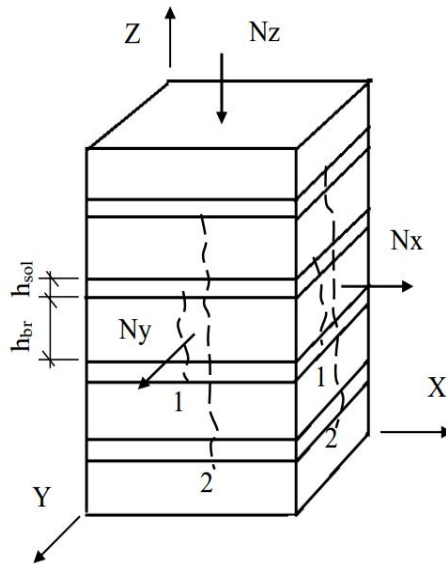


Рис. 1. Элемент каменной кладки с расположением осей

$$\sigma_z = -\frac{1}{\nu} (\varepsilon_x E - \sigma_x) - \sigma_y \quad (2)$$

Обобщение работ, посвященных деформированию кладки под нагрузкой, выполненные Кабанцевым О.В. [1,2,3] определяет необходимость определения набора характеристик прочности, соответствующих реализуемым механизмам разрушения – частных характеристик прочности. Все частные характеристики прочности должны учитывать действительные размеры элемента из кирпича или раствора, а также специфические условия работы такого элемента в составе кладки.

В.В. Пангаевым [3] проведены важные исследования, позволившие получить значения кирпича на растяжение и предельные величины раствора кладки при поперечных деформациях. При напряжениях в кладке, составляющих 80% от разрушающих, относительная деформация кладки вдоль действия нагрузки составляет $\varepsilon_z = 18.72 \cdot 10^{-4}$. При этом кладка переходит в пластическое состояние, идет интенсивный процесс образования продольных трещин внутри кладки. Началу образования трещин соответствует преодоление кирпичом прочности на растяжение, для полнотелого керамического эта прочность оценивается в 2 – 2,8 МПа.

На данном этапе накопления частных характеристик прочности и деформативности можно принять $\varepsilon_z = \varepsilon_{red}$, $\sigma_x = \sigma_y = R_{brt}$, где ε_{red} – приведенная деформация кладки, R_{brt} – прочность кирпича на растяжение.

Для обычной кладки из глиняного полнотелого кирпича М100 и раствора М100 по СП 15.13330.2012 расчетное сопротивление кладки $R=2$ МПа, предел сопротивления $R_u = 2R = 4$ МПа. $E = \alpha R_u = 1000 \cdot 4 = 4000$ МПа. Тогда для сечения 38х38 см получаем $N_z = R_u A = 577,6$ кН.

Если в (2) подставить определенные компоненты частных характеристик без учета пластических деформаций, предельное сопротивление определится как $\sigma_z = 3797$ кН, что невероятно. Однако учитывая пластику, т.е., коэффициент Пуассона принимая не

по первоначальному значению, а по предельному, что уже применяется, например, для бетона, непосредственно перед разрушением $\nu = 0,45$, модуль упругости заменяя на модуль деформаций $E' = 0,5E$, что рекомендуется СП 15.13330.2012, при $R_{brt} = 2 \text{ МПа}$ получаем $N_z = 587 \text{ кН}$.

В этом случае N_z практически совпадает с решением, полученным по традиционным нормам проектирования.

Оценка методики расчета по частным характеристикам была проведена по испытаниям до разрушения образца кладки из пустотного кирпича КР-л-пу 250*120*88/1,4НФ/175/1,4/100/ГОСТ 530-2012. Испытание проводилось по ГОСТ 32047-2012. В качестве силового устройства применялся гидравлический пресс П-125. Размеры плит пресса превышали размеры основания кладки. Размеры образцов составляли в основании 380 x 380 мм, высота в 7 рядов обыкновенного кирпича - 700 мм, что допускается ГОСТ 32047-2012. Для выравнивания торцов кладки использовались металлические пластины 6 мм и слой войлока 10 мм.

Для определения модуля упругости образец кладки оснащался приборами для измерения деформаций, как показано на рис 2. В качестве приборов, измеряющих деформации, применялись тензометры ДПЛ-10, подключенные к измерительному модулю "Терем-4" с ценой деления 0,001 мм. Для определения модуля упругости фиксировались показания приборов на 4 гранях образца, на каждом этапе после завершения выдержки до достижения значения нагрузки около 50% максимальной. Горизонтально расположенные приборы для измерения деформаций использовались для облегчения фиксации момента возникновения первой трещины и определения модуля поперечных деформаций.



Рис. 2. Испытание образца каменной кладки

Предел прочности составил $R_u = 6,58 \text{ МПа}$. Начальный модуль упругости $E = 8200 \text{ МПа}$, относительные поперечные деформации до образования трещин $\varepsilon_x = 0,001$.

Коэффициент Пуассона для пластического состояния кладки принят теоретически $\nu = 0,45$. Прочность кирпича на растяжение была определена из испытания на изгиб и составила $R_{brt} = 2,2$ МПа.

При использовании зависимости (2) с полученными экспериментально частными характеристиками кладки значение прочности $N_z = 927$ кН, что отличается незначительно от экспериментальной величины 950 кН. При накоплении экспериментальных данных по частным характеристикам можно будет говорить о возможности более детального расчета каменной кладки как квазиоднородного сплошного тела с пластическими деформациями при различных исходных параметрах материалов, не представленных в нормативных источниках.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кабанцев О. В. Научные основы структурной теории каменной кладки для оценки предельных состояний каменных конструкций сейсмостойких зданий: дис. ... докт.техн.наук: 05.23.01. Москва, 2016. 358 с.
- [2] Наумов А. Е. Прочность центрально-сжатой кладки с учетом технологических факторов: дис. ... канд.техн.наук: 05.23.01. Белгород, 2010. 165 с.
- [3] Пангаев В. В. Развитие расчетно-экспериментальных методов исследования прочности кладки каменных конструкций: дис. ... докт.техн.наук: 05.23.01. Новосибирск, 2009. 267 с.
- [4] Онищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. Ч.1. Работа элементов каменных конструкций. М.: Главная редакция строительной литературы, 1937. 291 с.
- [5] Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Т. 1. М.: Наука, 1975. 832 с.
- [6] Бедов А. И. Несущая способность элементов из каменной кладки, усиленных сталефибробетонными обоймами // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 45–50.
- [7] Антаков А. Б., Плотников А. Н., Поздеев В. М. Несущая способность каменной кладки, армированной сетками из базальтопластиковой арматуры. Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Сборник Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова. 19-20 апреля 2016 г. Москва, Издательство: Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. С. 15 – 21.

A. N. Plotnikov

THE CALCULATION OF THE STONework ON THE CENTRAL GRIP AS A QUASI-HOMOGENEOUS SOLID ELASTIC PLASTIC BODY

I. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russian

Abstract. The article shows the possibility of calculating the masonry from the experimental strengths obtained by the partial strength characteristics taking into account the plastic work. The results of tests of masonry from an unconventional material for a standard base - hollow ceramic bricks are given.

Keywords: masonry, quasihomogeneous solid body, strength, plasticity, modulus of deformations, Poisson's ratio, calculation, cracks, tests.

REFERENCES

- [1] Kabancev O. V. Nauchnye osnovy strukturnoj teorii kamennoj kladki dlya ocenki predel'nyh sostoyanij kamennyh konstrukcij sejsmostojkih zdaniy: dis. ...dokt.tekhn.nauk: 05.23.01. Moskva, 2016. 358 s. (in Russian)
- [2] Naumov A. E. Prochnost' central'no-szhatoj kladki s uchetom tekhnologicheskikh faktorov: dis. ...kand.tekhn.nauk: 05.23.01. Belgorod, 2010. 165 s. (in Russian)
- [3] Pangaev V. V. Razvitie raschetno-eksperimental'nyh metodov issledovaniya prochnosti kladki kamennyh konstrukcij: dis. ...dokt.tekhn.nauk: 05.23.01. Novosibirsk, 2009. 267 s. (in Russian)
- [4] Onishchik L. I. Prochnost' i ustojchivost' kamennyh konstrukcij. CH.1.Rabota ehlementov kamennyh konstrukcij. M.: Glavnaya redakciya stroitel'noj literatury, 1937. 291 s. (in Russian)
- [5] Filin A. P. Prikladnaya mekhanika tverdogo deformiruemogo tela. T. 1. M.: Nauka, 1975. 832 s. (in Russian)
- [6] Bedov A. I. Nesushchaya sposobnost' ehlementov iz kamennoj kladki, usilennyh stalefibrobetonnymi obojmami // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. № 7. S. 45–50. (in Russian)
- [7] Antakov A. B., Plotnikov A. N., Pozdeev V. M. Nesushchaya sposobnost' kamennoj kladki, armirovannoj setkami iz bazal'toplastikovoju armatury. Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij na avarijnye vozdejstviya. Sbornik Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 85-letiyu kafedry zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij i 100-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Popova. 19-20 aprelya 2016 g. Moskva, Izdatel'stvo: Nac. issledovat. Mosk. gos. stroit. un-t. S. 15 – 21. (in Russian)

Plotnikov Alexey Nikolaevich

e-mail: plotnikovAN2010@yandex.ru, Ph. D., I. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia.