

Упростив, далее получаем

$$\sigma_1 = \frac{M_x}{2I_x} \left(y + \sqrt{y^2 + 4 \left\{ \frac{405,1125 - 0,415y^2}{kd} \right\}^2} \right).$$

Задаваясь условием $k' < k$, определим значения напряжения в характерных точках в интервале $0 < y < 18,7$ см с помощью программы Mathcad.

Экстремальные значения главного напряжения возможны только при малых значениях k' .

В таблице приведены значения главного напряжения при значении $k = 10$ см.

Y (см)	Y = 0	Y = 2	Y = 4	Y = 6	Y = 8	Y = 10	Y = 12	Y = 14	Y = 16	Y = 18,7
σ_1 (МПа)	390,43	396,91	399,01	400,95	399,88	395,83	388,85	378,99	366,36	336,28

Вывод: при $k = 10$ см значения главных напряжений могут превышать величину допускаемых значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
2. Подскребко, М.Д. Сопротивление материалов / М.Д. Подскребко. – Минск: Выш. шк. 2007. – 510 с.

УДК 624.012.25

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ

В.В. КАТРЕНКО, А.Л. ШИНЬКО
(Представлено: А.М. ХАТКЕВИЧ)

Определяются значения коэффициента эффективности армирования по результатам испытаний, а также по методикам различных нормативных документов. На основании анализа экспериментальных данных предложено численное значение коэффициента эффективности, которое в большей степени отвечает действительной работе кладки с сетчатым армированием.

В отдельных, преимущественно несущих, конструкциях из каменной (кирпичной) кладки зачастую требуется значительное упрочнение столбов, стен и простенков, в местах оперения и передачи больших сосредоточенных сил под железобетонными подушками, в разнозагруженных участках и т.п. Для этих целей успешно на протяжении многих десятилетий в строительной практике используется сетчатое армирование. При относительно простой технологии данное усиление позволяет повысить прочность кладки до двух-трех раз, что подтверждается многочисленными экспериментами [1–3].

В нормах Еврокод 6 [4] поперечное армирование рассматривается как дополнительное конструктивное мероприятие, повышающее трещиностойкость, прочность на срез и жесткость возводимой конструкции. Данные о методах расчета подобных конструкций в зарубежной нормативной литературе представлены в крайне ограниченном объеме, в отличие от отечественных нормативных документов и учебников [1; 5–8].

СНиП II-22-81 и Пособие к нему [6; 7] базируются на расчетных методиках и эмпирических зависимостях, полученных после проведения большого количества экспериментальных исследований в 30-е годы, и издаются на протяжении почти полувека практически без корректировок [3, с. 5]. При этом изменилась производственная среда, стали применяться другие виды растворов, армирующих материалов, появляются новые виды поперечного армирования и т.п.

Таким образом, требуются уточнения существующих методик проектирования и расчета.

Коэффициент эффективности армирования. Зависимость по определению среднего предела прочности для кладки из кирпича с сетчатым армированием имеет вид [6; 7]:

$$R_{skn} = R_u + \frac{K \cdot R_{sn} \mu}{100}, \quad (1)$$

где R_u – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию неармированной кладки; K – коэффициент эффективности армирования; R_{sn} – нормативные сопротивления арматуры в армированной кладке, принимаемые для стали класса Вр-I (S500) с коэффициентом условий работы 0,6 (то есть $R_{sn} = 0,6 \cdot 500 = 300$ МПа); μ – процент армирования кладки.

Формулой (1) установлено единое значение коэффициента эффективности армирования кладки для кирпича всех видов и керамических камней $K = 2$. В то же время известно, что коэффициент K является переменным [9–12].

К примеру, для расчета кладки из природных камней, в частности известняка, коэффициент эффективности определен А.Г. Фигаровым ($K = 0,35$) и С.В. Макаровым ($K = 0,86$) [13, с. 179].

Сетчатое армирование эффективно применяется и для косвенного армирования железобетонных конструкций. Сущность работы такой арматуры в железобетоне идентична – сталь как более прочный материал сдерживает деформации слабо сопротивляющегося растяжению бетона (камня).

Сравнение определения коэффициента эффективности по различным нормам проектирования железобетонных конструкций представлено в таблице.

Коэффициент эффективности армирования « K » по различным нормативным документам

СНиП 2.03.01-84* [10] СНиП 2.05.03-84* [12] СНБ 5.03.01-02 [7] СТР 2.05.05:2005	СНиП II-21-75 [9]	СНиП II-B.1-62 [13]	PN-B-03264:2002 [14]	GB 50010-2002 [15]	СП 52-101-2003 [16]; СН 365-67 [17]	ТКП 45-5.03-219-2012, часть 2 [18]
$\frac{1}{0,23 + \psi}$	$\frac{5 + \alpha_c}{1 + 4,5\alpha_c}$	1	1,5	1,8	2	2,5

Здесь $\psi = \frac{\rho_{xy} \cdot f_{yd,xy}}{\alpha \cdot f_{cd} + 10}$; $\alpha_c = \frac{\rho_{xy} f_{yd,xy}}{\alpha \cdot f_{cd}}$; $f_{yd,xy}$; $\alpha \cdot f_{cd}$ – соответственно расчетное сопротивление арматуры и бетона на сжатие в Н/мм²; $\rho_{xy} = \frac{n_x \cdot A_{sx} \cdot l_x + n_y \cdot A_{sy} \cdot l_y}{A_{eff} \cdot s_n}$ – процент армирования, где n_x , A_{sx} , l_x – соответственно число стержней, площадь поперечного сечения и длина стержня сетки (считая в осях крайних стержней) в одном направлении; n_y , A_{sy} , l_y – то же, но в другом направлении; A_{eff} – площадь сечения бетона, заключенного внутри контура сеток; s_n – расстояние между сетками.

При анализе данных таблицы установлены следующие наиболее важные особенности:

- коэффициент эффективности армирования в половине из рассмотренных нормативных документов, не принимается равным единому числовому значению, а зависит от ряда факторов, в числе которых процент армирования, прочностные свойства бетона и арматуры. При этом он обратно зависим от процента армирования ρ_{xy} ;

- в нормах [14–18] коэффициент « K » принят равным единому числовому значению, подобно нормам по проектированию армокаменных конструкций [6; 18];

- процент армирования ρ_{xy} определяется лишь для эффективной площади сечения A_{eff} , заключенной внутри контура армирующих сеток – в осях крайних стержней.

Численный анализ зависимостей, представленных в таблице, выполнен в виде графиков в интервале от 0,1 до 1 %, поскольку только в этом диапазоне оптимально сетчатое армирование кладки (рис. 1). Вместо $\alpha \cdot f_{cd}$ принято значение $R_u = 5$ МПа.

Для определения экспериментального значения коэффициента эффективности армирования кладки проанализированы результаты испытаний. Так, рассматривались опыты, выполненные в Полоцком государственном университете А.М. Хаткевичем, опыты В.А. Камейко, А.Л. Рябина и Б.С. Соколова.

Анализ показал следующее:

- коэффициент эффективности « K » по результатам испытаний в УО «ПГУ» оказался в пределах 3,8...5,4;

- коэффициент « K », рассчитанный по [1], был равен десяти, по [4] – в среднем восьми;

- в опытах В.А. Камейко «К» был более трех, достигал четырех и снижался до 2,2 при проценте армирования до 0,8..1,6 %.

Нанеся пары точек «процент армирования – коэффициент эффективности» и проведя аппроксимирующую кривую, видно, что данная зависимость носит криволинейный характер, подобно зависимостям для коэффициента эффективности в нормах по расчету железобетонных конструкций, и асимптотически приближается к своему нижнему пределу – двум (рис. 2).

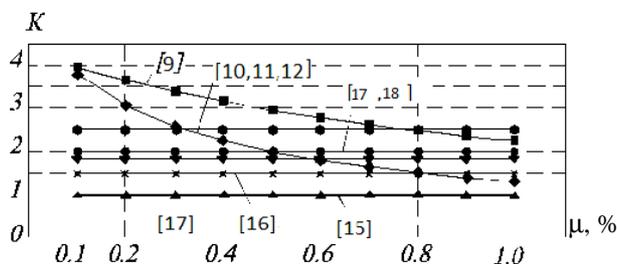


Рис. 1. Зависимость коэффициента эффективности «К» от процента армирования $\mu = \rho_{кx}$

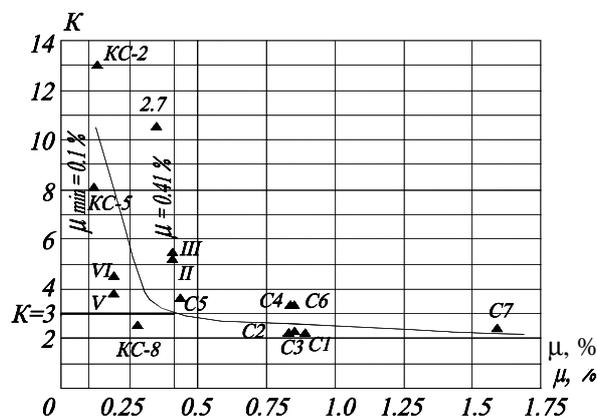


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности «К» от процента армирования μ : серии I...VI – испытания А.М. Хаткевича; серии 2.6...2.7 – опыты Б.С. Соколова; серии KC-1...KC-8 – опыты А.Л. Рябинина; серии C1...C7 – опыты В.А. Камейко

Таким образом, делаем *вывод*: коэффициент эффективности армирования в половине из рассмотренных нормативных документов не принимается равным единому числовому значению, а зависит от ряда факторов, в числе которых процент армирования, прочностные свойства бетона и арматуры, при этом он обратно зависим от процента армирования $\rho_{кx}$.

Анализ данных испытаний армированной кладки при осевом кратковременном сжатии показал, что численное значение коэффициента эффективности K возможно увеличить с двух до трех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бедов, А.И. Проектирование, восстановление и усиление каменных и армокаменных конструкций: учеб. пособие / А.И. Бедов, А.И. Габитов. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 568 с.
2. Камейко, В.А. Прочность на сжатие кирпичной кладки с косвенным сетчатым армированием / В.А. Камейко // Экспериментальные исследования каменных конструкций: сб. ст. / ЦНИПС; под ред. Л.И. Онищика. – М.-Л., 1939. – С. 65–89.
3. Соколов, Б.С. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций: науч. изд. / Б.С. Соколов, А.Б. Антаков. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 104 с.
4. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Ч. 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций: СТБ EN 1996-1-2008. – Введ. 1.07.2009. – Минск: Госстандарт, 2009. – 127 с.
5. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий. Справочник проектировщика / П.Ф. Вахненко [и др.]. – 2-е изд. – К.: Будівельник, 1987. – С. 99–100.
6. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81. – Введ. 31.11.81. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.

7. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). – М.: (ЦИТП) Госстроя СССР, 1989. – 149 с.
8. Свод правил. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*: СП 15.13330.2012. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ОАО «НИЦ "Строительство"»: утв. приказом М-ва регионального развития Рос. Федерации от 29 дек. 2011 г. № 635/5.
9. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-21-75 / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1976. – 89 с.
10. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84* / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
11. Бетонные и железобетонные конструкции. РУП «Стройтехнорм»: СНБ 5.03.01-02. – Минск: Минстрой-архитектуры Респ. Беларусь, 2003. – 139 с.
12. Мосты и трубы. Нормы проектирования: СНиП 2.05.03.84* / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 199 с.
13. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-B.1-62 / Госстрой СССР. – М.: Госстройиздат, 1962. – 100 с.
14. Konstrukcje Betonowe, Żelbetowe I Sprężone Obliczenia Statyczne I Projektowanie: PN-B-03264:2002. – Warszawa: PKN, 2002. – 142 p.
15. Code for Design of Concrete Structures: GB 50010-2002. – Beijing: China Architecture & Building Press, 2002. – 204 p.
16. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры: СП 52-101-2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 30 с.
17. Указания по проектированию железобетонных, бетонных конструкций железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб: СН 365-67 / Госстрой СССР. – М.: Госстройиздат, 1967. – 145 с.
18. Рак, Н.А. Надежность расчета несущей способности при местном сжатии элементов, усиленных косвенным армированием / Н.А. Рак // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Респ. Беларусь: сб. тр. XVIII Междунар. науч.-методич. семинара; под общ. ред. Д.Н. Лазовского, А.И. Колтунова. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – Т. 1 – С. 25–29.

УДК 624.012.25

РАСЧЕТ КЛАДКИ С СЕТЧАТЫМ АРМИРОВАНИЕМ ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ

А.Л. ШИНЬКО, В.В. КАТРЕНКО
(Представлено: А.М. ХАТКЕВИЧ)

Рассматривается характер разрушения образцов каменной кладки с сетчатым армированием. Представлены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния кладки с поперечным армированием при действии осевой кратковременной статической нагрузки. На основании анализа данных предложены значения коэффициентов эффективности и условий работы арматуры, в большей степени отвечающие действительной работе кладки с сетчатым армированием.

Каменная кладка – широко применяемый в практике монолитный неоднородный упругопластический материал с выраженными анизотропными свойствами, особенностью работы которого под нагрузкой является наличие сложного напряженного состояния камня и раствора.

При сжатии осевым деформациям сопутствуют деформации поперечного расширения, и более жесткий кирпич сдерживает деформации менее жестких растворов (разница достигает 10...12 раз [1]), поэтому, увеличив сопротивляемость растворных швов растяжению, можно увеличить и прочность кладки.

Упрочнение (повышение временного сопротивления) путем введения арматуры в горизонтальные растворные швы кладки дополняет сложное напряженное состояние, которое при таком приеме будет характеризоваться трехосным обжатием. Увеличение сопротивления армированной кладки вертикальной нагрузке достигается ограничением с помощью арматуры возникающих при сжатии поперечных деформаций (образование пространственного напряжённого состояния – эффект «обоймы»). Сетчатая арматура воспринимает возникающие в поперечном направлении растягивающие усилия, позволяя увеличить продольную деформацию.

Количественной оценкой эффективности армирования является коэффициент эффективности, который зависит от значения прироста несущей способности армированной кладки по сравнению с неармированной. В отдельных изученных нами источниках указано, что сталь, принятая для сетчатого армирования, используется до предела текучести, если он не превышает 350 МПа [2; 3]. В рамках работы [4] установле-