

УДК 624.166.8:624.04

## ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СЕТОК В ВИДЕ ПЛОСКИХ СПИРАЛЕЙ

*канд. техн. наук, доц. В.Д. ГРИНЕВ, А.М. ХАТКЕВИЧ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Рассматривается вопрос применения для поперечного (косвенного) армирования сеток в виде плоских спиралей. Представлены в обобщенной форме данные результатов проведенных исследований.*

Идея армирования бетона поперечной арматурой возникла в начале прошлого столетия и получила в дальнейшем практическое воплощение. Опытным путем было установлено, что поперечное расположение арматуры в бетоне весьма эффективно при действии осевой сжимающей силы. В связи с этим были предложены различные способы поперечного армирования. Так, М. Косиндер (1900) предложил арматуру в виде непрерывной спиральной обмотки, а Н.М. Абрамов (1904) – зигзагообразную арматуру между продольными стержнями; В.П. Некрасов (1907) рекомендовал применять проволочные сетки, а Р. Залигер – кольца и хомуты [1]. Работы данных авторов и их последователей заложили основу для использования поперечного армирования, т.е. создания конструкций, работающих с «эффектом обоймы». Достоинством данного эффекта является то, что у сжатых элементов ограничиваются поперечные деформации, замедляется процесс трещинообразования, а материал в обойме работает обычно в трехосном напряженном состоянии, что, соответственно, отодвигает момент разрушения конструкции и повышает предельную сжимаемость.

Учитывая данный положительный эффект, оказываемый косвенным армированием, его стали применять не только для железобетонных, но и для каменных конструкций. Так, В.П. Некрасов (1926) предложил укладывать в горизонтальные растворные швы кладки арматуру в виде сеток из пересекающихся стержней [2].

Лабораторией каменных конструкций ЦНИПС (1936 – 1938) были проведены исследования прочности кирпичной кладки с косвенным сетчатым армированием [3].

В задачу испытаний входило:

- 1) определение влияния процента армирования, диаметра арматуры и размера ячейки сетки на эффективность косвенного армирования кирпичной кладки при центральной сжатии;
- 2) определение влияния качества кирпича и прочности неармированной кладки на эффективность косвенного армирования при центральной сжатии (опыты 1937 г.);
- 3) определение эффективности косвенного сетчатого армирования при внецентренном сжатии и продольном изгибе (четвертая серия испытаний – опыты 1938 г.).

Данные исследования стали основой для разработки нормативных документов по применению поперечного армирования. По действующему СНиПу эффективность косвенного сетчатого армирования зависит от шага сеток, процента объемного армирования, вида работы конструкции, прочностных и деформационных свойств применяемых материалов. Такой вид армирования в качестве рабочего рекомендуется использовать в конструкциях с малой гибкостью ( $\lambda_i \leq 53$ ), сжатых центрально, либо с эксцентриситетом в пределах «ядра сечения» ( $e_0 \leq 0,17h$ ), на растворах марки не ниже 50 при высоте ряда кладки не более 150 мм. Процент объемного армирования ( $\mu$ ) должен быть более 0,1 % и не превышать значения, определяемого по формуле [4, 5]:

$$\mu = 50 \frac{R}{(1 - \frac{2e_0}{y})R_s} \geq 0,1 \%,$$

где  $R$  – расчетное сопротивление кладки сжатию;  $e_0$  – эксцентриситет расчётной силы  $N$  относительно центра тяжести сечения;  $y$  – расстояние от центра тяжести сечения элемента до его края в сторону эксцентриситета;  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры.

По предложению В.А. Камейко [3] (1936 – 1938) были использованы для поперечного армирования сетки из стержней одного направления, так называемые сетки типа «зигзаг». Этот тип арматуры, как показали исследования, обладает рядом преимуществ:

- не имеет узлов пересечения отдельных прутьев сеток, что присутствует при сетках с квадратной ячейкой;
- дает возможность сохранять нормальную толщину шва.

При применении же сеток с квадратной ячейкой из проволоки, к примеру, & 6 мм, толщина горизонтального шва будет не менее 16 мм (слой раствора, отделяющий арматуру от кирпича должен быть не менее 2 мм). Действующие нормативные документы ограничивают толщину шва для армированной кладки величиной в 16 мм. Очевидным фактом является то, что практически невозможно создать слой раствора, отделяющий арматуру от кирпича, толщиной 2 мм. Повышение толщины шва отрицательно влияет на несущую способность конструкций – чем толще шов, тем труднее достижима равномерная его плотность и тем в большей степени кирпич работает в кладки на изгиб и срез. Так, В.Д. Топчий, Р.А. Гребенник, В.Г. Клименко [6] предложили вводить при оценке фактической несущей способности обследуемой конструкции коэффициенты снижения несущей способности в случае наличия даже 3...4 швов увеличенной толщины на один метр высоты кладки. Применение же в сетках арматуры меньше & 3 мм, несмотря на увеличение прочности кладки за счет увеличения площади сцепления с раствором, при одинаковом проценте армирования не допускается из-за возможной коррозии стали.

В последнее время были исследованы железобетонные колонны, армированные спиралевидными однослойными сетками. Изготовление таких сеток на универсальных станках «Униформ» [6], по данным авторов, значительно снизит трудоемкость, энергоемкость и материалоемкость производства по сравнению с традиционно применяемыми сетками с квадратной ячейкой, изготавливаемыми с помощью контактной сварки.

В Германии нашли применение арматурные сетки в виде бесконечной металлической фермы (проволочный каркас «Muforg»), образуемой металлическими стержнями и так же как сетки типа «зигзаг» не имеющие узлов пересечения стержней. Ширина арматурного каркаса соответствует ширине кладки. Каркасы в стенах укладывают в шве внахлестку, при этом кирпичная кладка с арматурой работает на изгиб в обоих направлениях, что позволяет повысить прочность и трещиностойкость стен, особенно воспринимающих горизонтальные нагрузки [7].

Все вышесказанное позволяет сделать следующее предположение: применение спиралеобразных сеток будет целесообразно не только для железобетона, но и для армокаменных конструкций. Даже при одинаковой стоимости производства спиралеобразных сеток и сеток с квадратной ячейкой использование спиралеобразных сеток позволит повысить прочность каменной кладки за счет уменьшения толщин армируемых швов.

Для подтверждения данных теоретических предпосылок в лаборатории кафедры «Железобетонных и каменных конструкций» Полоцкого государственного университета в 2003 году был выполнен первый эксперимент по исследованию свойств каменной кладки с косвенным армированием спиралеобразными сетками. В ходе исследований для испытаний были изготовлены три опытных образца в виде колонн сечением 510×510 мм. Образец № 1 изготавливался неармированным как эталонный. Образцы № 2 и № 3 конструировались с сетчатой арматурой с квадратной ячейкой и со спиральной арматурой соответственно, с одинаковым коэффициентом армирования. Колонны испытывались на центральное сжатие. Получены весьма интересные данные о характере разрушения. Образец № 1 начал разрушаться с образования мелких трещин в кирпичах и дальнейшим объединением их в макротрещины, которые разделили кладку на отдельные вертикальные блоки по всей высоте. В образце № 2 трещины начали развиваться от узлов пересечения стержней арматурной сетки. В образце № 3 трещины появлялись на некотором расстоянии от армированных швов. Разрушение образцов № 2 и № 3 происходило в областях, ограниченных армированными швами. Армирование кладки спиралеобразными сетками в 1,44 раза уменьшило поперечные относительные деформации, соответствующие трещинообразованию, и в 1,18 раза увеличило прочность образца, по сравнению с армированием сетками с квадратной ячейкой. Данные, полученные в эксперименте, подтвердили, что теоретические предположения верны. Национальный центр интеллектуальной собственности выдал Полоцкому государственному университету патент на колонну с поперечным сетчатым армированием [8].

Данные эксперимента (2003) подтвердили эффективность армирования каменных конструкций спиралеобразными сетками при центральном сжатии.

Целью следующего эксперимента явилось исследование элементов, армированных спиральной арматурой при внецентренном сжатии. В ходе исследований для испытаний были изготовлены также три опытных образца в виде колонн сечением 1,5×1,5 кирпича. Образец № 1 изготавливался неармированным как эталонный. Образцы № 2 и № 3 конструировались с сетчатой арматурой с квадратной ячейкой и со спиральной арматурой соответственно, с одинаковым коэффициентом армирования ( $\mu = 0,2\%$ ). Колонны испытывались на внецентренное сжатие. Величина эксцентриситета принята предельно возможной – на границе ядра сечения:

$$e_0 = r = \frac{W}{A} = \frac{bh^2}{6bh} = \frac{h}{6},$$

где  $r$  – ядровое расстояние;  $b$  и  $h$  соответственно ширина и высота сечения;  $W$  – момент сопротивления сечения.

В процессе испытаний конструкций кирпичных столбов проводились измерения:

- средних продольных и поперечных деформаций на поверхностях боковых граней;
- усилий трещинообразования;
- ширины раскрытия трещин;
- несущей способности; продольных деформаций горизонтальных швов.

Для учета работы арматурных стержней в сетках на них были установлены датчики сопротивления. Результаты испытаний представлены в таблице.

Результаты испытаний

№ образца	Разрушающая нагрузка, $P_u$ , кН	Нагрузка, при которой образовались первые трещины, $P_{cr}$ , кН	Расчетная нагрузка по СНиП, кН
1	990	450	250
2	1145	706	297
3	1530	785	297

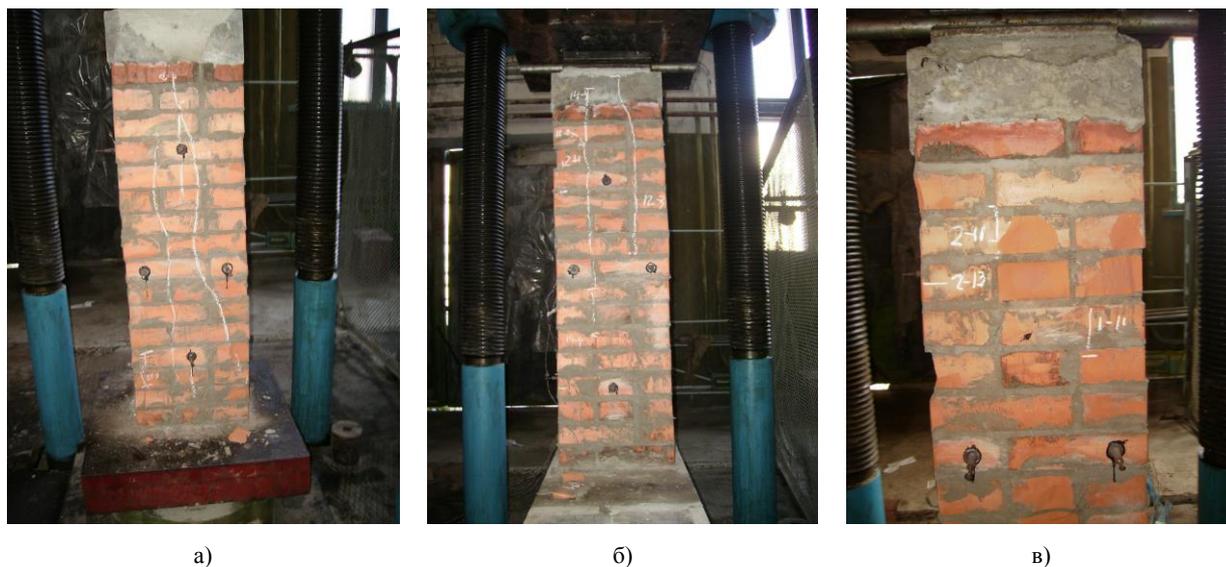
Трещины в образце № 1, объединяясь по высоте, образовали два разделенных столба под линией действия нагрузки. Наиболее сжатая часть сечения также разделилась трещинами на вертикальные столбы.

Разрушение колонны, армированной сеткой с квадратной ячейкой (образец № 2), произошло при образовании трещин в наиболее сжатой части сечения над узлами пересечения стержней сеток. Первые трещины начали образовываться под линией действия нагрузки с обеих сторон колонны. Кладка также разделилась на вертикальные столбы, однако трещины в кладке, в отличие от неармированной колонны, были строго вертикальны.

Первые трещины в кладке колонны, армированной спиралеобразной сеткой (образец № 3), также начали образовываться под линией действия нагрузки. Характер образования трещин в наиболее сжатой части сечения отличался как от неармированной колонны, так и от колонны с традиционно применяемой сеткой с квадратной ячейкой.

В колонне, армированной сеткой с квадратной ячейкой, трещины были строго вертикальны и располагались непосредственно над узлами пересечения стержней.

В колонне, армированной спиралеобразной арматурой, явного объединения вертикальных трещин в наиболее сжатой части не наблюдалось. Разрушение происходило при скалывании лещадок кирпича под крайними стержнями сеток и смятии кирпича (рисунок).



Схемы разрушения образцов в наиболее сжатой части сечения  
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

Относительные поперечные деформации до момента образования первых трещин для образца № 2 (колонна К2), армированного сеткой с квадратной ячейкой, были меньше. Однако после превышения нагрузки трещинообразования поперечные деформации колонны начали быстро расти, в то время как рост поперечных деформаций образца № 3, армированного спиралеобразной сеткой, был в два-три раза меньше. При этом в момент разрушения поперечные деформации образца № 2 были в два с половиной раза больше деформаций образца № 3. Армирование колонн не оказало существенного влияния на величину продольных деформаций.

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1. Армирование кладки спиральными сетками является эффективным способом увеличить прочность конструкции, по сравнению с кладкой, армированной сеткой с квадратной ячейкой, и уменьшить поперечные деформации.

2. Несмотря на выявленные преимущества применения спиралеобразных сеток, для внедрения в строительную практику необходимо накопление опытных данных при работе кладки на центральное и внецентренное сжатие с целью создания нормативных документов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гнедовский В.А. Косвенное армирование железобетонных конструкций. – Л.: СИ, 1981.
2. Некрасов В.П. Фибритные стены взамен кирпичных и деревянных. – М.: Изд. Моск. губ. инсп., 1926.
3. Камейко И.А. Прочность на сжатие кирпичной кладки с косвенным армированием // Экспериментальные исследования каменных конструкций / Под ред. Л.И. Онищика. – М.; Л.: Стройиздат Наркомстроя, 1939.
4. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983.
5. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования») / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
6. Реконструкции промышленных предприятий: Справочник строителя / Под ред. В.Д. Топчий, Р.А. Гребенника: В 2-х т. Т. 1. – М.: Стройиздат, 1990.
7. Гринёв В.Д. Каменные конструкции: Учеб. пособие. – Новополюцк: ПГУ, 2001.
8. Довгалюк В.И., Кац М.Х. Новый вид косвенного армирования железобетонных колонн // Строительство и архитектура. Сер. 8. Строительные конструкции / ВНИИИС Госстроя СССР, 1985.
9. Пат. № 926 Республика Беларусь, МКИ Е 04 В 1/18. Каменная колонна с поперечным армированием / Гринев В.Д., Яско Я.А.; Заявка № u 20020296.