

где  $A_{cmk}$  – площадь комплексного сечения,  $\epsilon$  – деформации, находящиеся в диапазоне значений  $0 \dots \epsilon_{cmk,1,eff}$ ,  $f_{cmk,eff}$  – приведенная прочность комплексного сечения, армированного косвенной арматурой.

Критерием исчерпания прочности, при использовании формулы (4) в расчетах на ЭВМ, служит достижение предельной деформации одного из компонентов комплексного сечения конструкции.

Из результатов сопоставления опытных и расчетных значений прочности образцов следует, что формула (4) является универсальной как для бетонных, так и для железобетонных комплексных конструкций при деформациях материалов, входящих в состав сечения, на любой стадии нагружения.

**Заключение.** На основании эксперимента и теоретических исследований выявлены особенности совместной работы материалов комплексных конструкций, состоящих из кладки бетонных камней и монолитного железобетона заполнения пустот, позволившие предложить методику расчета их прочности по деформационной модели с использованием диаграмм деформирования кладки и материалов заполнения.

#### Список цитированных источников

1. Анненков, Я.Ю. Силовое сопротивление каменных кладок на основе высокопустотных бетонных блоков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 – Самара. 2002. – 16 с.
2. Бруснецов, Г.Н. Сопоставление технического уровня отечественных и зарубежных норм проектирования и расчета каменных конструкций / Сб. Строительство и архитектура. Сер. 8. Строительные конструкции. Вып.3. – М.: ВНИИИС Госстроя СССР, 1985. – 87 с.
3. Гринев, В.В. Прочность и деформативность сжатых комплексных конструкций с использованием вибропресованных бетонных камней: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Гринев. – Новополоцк, 2007. – 130 л.
4. Пастернак, П.Л. Комплексные конструкции / П.Л. Пастернак. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – С.88.
5. Попков, Ю.В. Сжатые сборно-монолитные конструкции на основе бетонных вибропресованных пустотных камней / Ю.В. Попков, Гринев В.В. // Строительная наука и техника. – Мн., 2006. – № 4(7). – С. 52–57.

УДК 624.166.8:624.04

## ПОПЕРЕЧНОЕ АРМИРОВАНИЕ СЖАТЫХ АРМОКАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Гринев В.Д., Хаткевич А.М.

**Введение.** Строительство зданий из кирпича имеет многовековые корни и традиции. Спорить о преимуществах либо недостатках таких сооружений не имеет смысла, поскольку не найден «идеальный» строительный материал, отвечающий всей гамме предъявляемых требований. При этом невозможно оспорить те преимущества керамики, которые позволили сохранить для нас архитектурное наследие прошлых столетий: старинные особняки, церкви, соборы и т.п.

Керамический кирпич является наиболее древним искусственным строительным (и не только) материалом, полученным технологическим путем – обжигом глины. Долгую жизнь и обширную географию использования обусловили достаточная прочность керамического черепка и практически повсеместное наличие доступного исходного сырья.

Как отмечается отдельными авторами, еще одной важной особенностью керамики является экологическая чистота. «Радиоактивность глин является самой низкой из всех веществ минерального происхождения и имеет почти нулевое значение» [1].

Новостройка на сегодняшний день в основном представляет собой либо возведение железобетонного каркаса с монолитными перекрытиями и заполнением стен ячеистобетонными блоками, либо панельный монтаж (более дешевый по сравнению с первым вариантом). Отмеченные варианты в той или иной степени отвечают современным требованиям по облегчению стен, сокращению расхода материалов, снижению транспортных расходов, уменьшению теплопроводности, укрупнению изделий, а соответственно и снижению трудоемкости монтажа. Однако востребованность кирпича как стенового материала по-прежнему высока. В последнее время значительно увеличились объемы малоэтажного строительства. Также рациональность использования кирпича в качестве облицовочного слоя показал богатый опыт западных стран. В последнее десятилетие в Европе примерно 70% от общего объема материалов, используемых в жилищном строительстве, составляет керамика (к примеру, Великобритания выпускает более 200 различных видов керамических изделий) [2]. Нашей республикой потребляется в среднем 385-387 млн. шт. условного кирпича в год и еще около 120 млн. шт. поставляется на экспорт (данные за 2007 г, агентство «Интерфакс-Запад»).

**Основная часть.** Каменную кладку широко применяют в конструкциях, работающих на сжатие, поскольку именно при сжатии наиболее полно используются прочностные свойства камня. Если рассматривать кладку идеально выполненной (все кирпичи имеют одинаковые геометрические размеры, однородны по прочности и плотности; раствор в швах разослан однородно), то прочность ее даже при очень прочном растворе всегда будет меньше прочности кирпича на сжатие.

Большое влияние на прочность кладок оказывает прочность кирпича на изгиб и срез. Это объясняется работой составляющих ее материалов. Неоднородность растворных швов приводит к тому, что работу кирпича можно представить пластиной, опертой на множество опор различной жесткости и нагруженных различными по значению сжимающими усилиями. При сжатии, помимо осевых продольных деформаций, всегда появляются поперечные. Жесткий кирпич сдерживает деформации менее жестких растворов, в результате более жесткий материал оказывается растянутым, а менее жесткий – сжатым.

Многочисленные опыты показали, что характер разрушения зависит от геометрических размеров образца. Так, каменный или бетонный образец (кубик, призма, цилиндр) разрушаются от сдвига и отрыва вследствие нарастания касательных и растягивающих внутренних усилий. Между подушками пресси и торцевыми поверхностями образца развиваются силы трения, направленные внутрь и препятствующие развитию поперечных деформаций, см. рисунок 1. С увеличением отношения высоты призмы к размеру поперечного сечения предел прочности призм уменьшается и становится почти стабильным при отношении  $h/a = 3...4$ .

Сопrotивляемость растворного шва растяжению будет зависеть от количества арматуры (процента объемного армирования кладки  $\mu$ ). При больших процентах горизонтальный шов будет работать как жесткий «штамп», сдерживающий поперечные деформации камня. В этом случае наблюдается разрушение армокаменных конструкций от раздробления камня между армированными швами.

В случае армирования горизонтальных швов по высоте с большим шагом эффект сдерживания деформаций в поперечном направлении будет наблюдаться в меньшей степени.

Таким образом, чем сильнее можно увеличить сопротивляемость растворных швов растяжению, тем выше, в конечном итоге, будет и прочность кладки.

Еще в 1926 г. В.П. Некрасов предложил укладывать в горизонтальные растворные швы кладки арматуру в виде сеток из пересекающихся стержней. Такие сетки просты в применении, легко изготавливаются и имеют возможность контроля укладки. Однако следует отметить, что для изготовления таких сеток возможно использовать стержни диаметром не более 6 мм, т.к. толщина шва для армированной кладки ограничивается величиной 16 мм (слой раствора, отделяющий арматуру от кирпича должен быть не менее 2 мм). Повышение толщины шва отрицательно влияет на несущую способность конструкций. Применение же в сетках арматуры меньше  $\varnothing 3$  мм, несмотря на увеличение прочности кладки за счет увеличения площади сцепления с раствором, при одинаковом проценте армирования, не допускается, из-за коррозии стали.

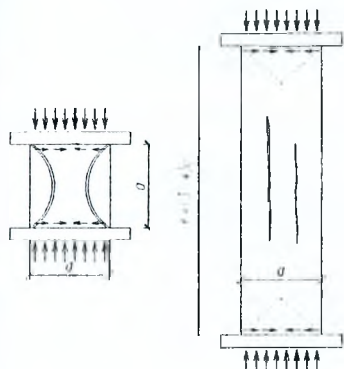


Рисунок 1 – Влияние сил трения, формы и размеров образцов на характер разрушения

По предложению В.А. Камейко, в опытах, проводимых в лаборатории каменных конструкций ЦНИИПС 1936–1938 гг., были использованы для поперечного армирования сетки из стержней одного направления так называемые сетки «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 нормативную толщину горизонтального шва.

Сетки «зигзаг» укладываются в двух смежных рядах так, чтобы рабочие ветви стержней в соседних сетках располагались взаимно перпендикулярно. В таком случае две сетки «зигзаг» рассматриваются как одна прямоугольная сетка.

В Германии нашли применение арматурные сетки в виде бесконечной металлической фермы (проволочный каркас «Murfor»), 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, воспринимающих горизонтальные нагрузки.

В Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете исследовалось армирование кладки полосовой сталью, прошедшей обработку перфорацией и позволяющей сохранить толщину шва в пределах нормативных требований.

В последнее время были исследованы железобетонные колонны, армированные спиралевидными однослойными сетками. Изготовление таких сеток на универсальных станках «Униформ» [3], по данным авторов, значительно снижает трудоемкость, энергоемкость и материалоемкость производства, по сравнению с традиционно применяемыми сетками с квадратной ячейкой, изготавливаемых с помощью контактной сварки.

Все вышесказанное позволяет сделать следующее предположение – применение спиралевидных 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 предпосылок в лаборатории кафедры «Строительные конструкции» Полоцкого государственного университета проводятся отдельные исследования образцов-столбов со спиральным сетчатым армированием.

В ходе первого эксперимента для испытаний были изготовлены три опытных образца в виде колонн сечением 510x510 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. 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 [4].

Позже было выполнено испытание трех серий образцов кладки с различными видами армирования:

- первая серия изготовлена как эталонная – без армирования;
- во второй исследовались деформационные и прочностные свойства столбиков с традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней;
- третья серия образцов была выполнена с армированием сетками в виде спиралей.

Испытания проведены на центральное сжатие на гидравлическом прессе ПР-500 через 28 суток после изготовления. Загружение велось поэтапно с приращением нагрузки не более 10% от разрушающей и выдерживанием на каждом этапе около 10 мин.

Для изготовления образцов использовались керамический кирпич полусухого прессования марки М150, раствор М75, проволока класса S500 (Вр-I). Высота 1220мм (шестнадцать рядов кладки) определялась размерами поперечного сечения 1,5x1,5 кирпича таким образом, чтобы исключить возможное влияние сил трения в зонах соприкосновения с плитами прессового оборудования на прочностные и деформационные показатели в средней части образца.

Отдельные сведения о прочностных и деформационных характеристиках испытанных образцов представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов

Серия, № образца		$P_u$ (кН)	$P_{cr}$ (кН)	Продольные деформации, $\epsilon_{cr1}$	Поперечные деформации, $\epsilon_{cr2}$
Серия I Неармированная	K1	650	250	0,000586	0,00004
	K2	630	250	0,000389	0,00001
Серия II Армирование обычной сеткой, $\mu = 0,4\%$	K3	1640	750	0,00186	0,0004125
	K4	1450	600	0,001486	0,00017
	K5	1625	700	0,001105	0,00018
Серия III Армирование спиральной сеткой, $\mu = 0,4\%$	K6	1500	700	0,00175	0,00045
	K7	1675	700	0,001471	0,00039
	K8	1675	800	0,001467	0,000173

Примечания:  $P_u$  – разрушающая нагрузка,  $P_{cr}$  – нагрузка трещинообразования.  $\epsilon_{cr1,2}$  – относительные деформации трещинообразования

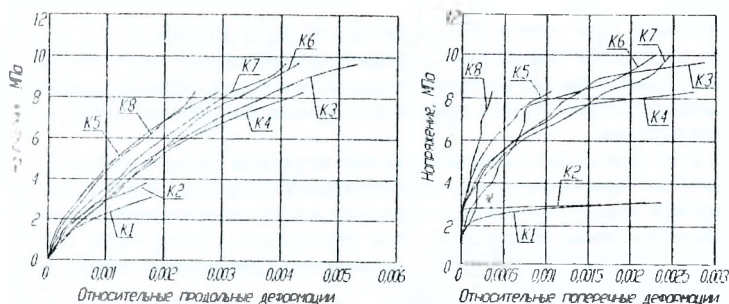


Рисунок 2 – Диаграммы деформирования опытных образцов

**Заключение.** Анализируя полученные результаты испытаний, можно сделать следующие выводы:

1. Поперечное армирование каменных столбов позволяет увеличить их прочность практически в 2,5 раза за счет создания сетчатым армированием эффекта «обоймы». Относительные деформации армированной кладки в момент трещинообразования возрастают не менее чем в 2 раза.
2. Пересечения стержней сеток с прямоугольной ячейкой являются жесткими опорами и концентраторами напряжений, они являются одной из основных причин образования трещин.
3. Армирование спиральными сетками дает возможность использования арматуры больших диаметров, уменьшения концентраторов напряжений, отсутствует необходимость укладки сеток поочередно с поворотом на 90° (по сравнению с сетками «зигзаг»).

#### Список цитированных источников

1. Франивский, А. Архитектурные и конструкторно-технологические возможности керамического кирпича в современном строительстве / Франивский А. // Будмайстер. – 2001. – № 13 – С. 16–19.
2. Золотов, С. Кирпич не сдает позиций / С. Золотов // Строительство и недвижимость. – 2007. – № 19.
3. Довгалюк, В.И. Соединения сборных железобетонных каркасных конструкций зданий / В.И. Довгалюк. – М.: ВНИИТПИ, 1989. – 60 с. -- (Обзорная информация. Серия «Строительные конструкции», выпуск 5).
4. Гринев, В.Д., Яско, Я.А., Гринев, В.В. Спиральные сетки для поперечного армирования каменной кладки // Архитектура и строительство. – Минск, 2003. – №1 (155). – С. 62–63.

УДК 624.012.45:691.5

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СТАЛЕТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЯДРОМ ИЗ БЕТОНА НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ

Бондаренко В.М.

**Введение.** Для обеспечения совместности поперечных деформаций бетонного ядра и стальной оболочки сталетрубобетонных элементов при центральном сжатии предлагается ряд мероприятий конструктивно-технологического характера [1-3], направленных на создания предварительных растягивающих напряжений в сталь-