

УДК 624.012.25

ВЛИЯНИЕ ВИДА СЕТОК ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РАСТВОРНЫХ ШВАХ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОРОТКИХ АРМОКАМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*д-р техн. наук, проф. Д.Н. ЛАЗОВСКИЙ; А.М. ХАТКЕВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния коротких армокаменных элементов с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах. Для поперечного армирования опытных образцов использовались традиционно применяемые сетки из перекрестных стержней и сетки в виде плоских спиралей. Предложена усовершенствованная конструкция спиральной сетки с уменьшением шага витков от центральной к внешней части спирали. Экспериментально подтверждена возможность снижения до 10% расхода арматуры на изготовление новых усовершенствованных сеток с сохранением прочности армокаменного элемента. Получены данные о диаграммах деформирования кладки с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней и сетками в виде плоских спиралей. На основании анализа опытных данных установлено влияние вида армирования на значения коэффициента поперечных деформаций.

Ключевые слова: поперечное армирование, каменная кладка, армокаменные элементы, сетки из перекрестных стержней, сетки в виде плоских спиралей, сжатие.

Введение. Опыт применения строительного материала каменной кладки для возведения зданий, сооружений и их отдельных элементов в мировой практике насчитывает тысячелетия, а перспективность ее использования в обозримом будущем не подлежит сомнению благодаря возможности использования местных материалов, достаточно высокой прочности, долговечности, огнестойкости, декоративным качествам, простоте изготовления, оптимальному сочетанию теплотехнических свойств, воздухо- и паропроницаемости и т.п.

С помощью поперечного армирования, размещаемого в горизонтальных растворных швах, получают армокаменные элементы, обладающие высокими технико-экономическими показателями, в частности высоким значением сопротивления сжатию N_u , которое является определяющим при проектировании несущих элементов зданий и сооружений.

Для повышения эффективности армирования целесообразно применение сеток из проволоки малого диаметра, что зачастую затруднительно из-за возможных коррозионных процессов, либо применение таких сеток, в которых отсутствуют узлы пересечения отдельных стержней, вызывающие раннее трещинообразование в кладочных изделиях. Исходя из этого предложено армирование зигзагообразными сетками [1], перфорированными стальными лентами [2] и др. В зарубежных исследованиях [3, 4] отмечалась целесообразность использования сеток в виде плоских спиралей, лежащих в одной плоскости и не имеющих узлов пересечения отдельных стержней.

Белорусскими учеными выполнен пилотный проект [5], который показал, что при одинаковом проценте армирования $\mu = 0,13\%$ значение сопротивления сжатию элементов, армированных сетками в виде плоских спиралей, больше по сравнению с образцами, армированными традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней, на 20%. В то же время работа [5] содержит недостаточный объем экспериментального материала для оценки возможности использования сеток в виде плоских спиралей в отечественной строительной практике, что требует проведения дополнительных исследований.

Для возможности применения методики расчета сопротивления сжатию армокаменных элементов, описанной нами в [6], основанной на положениях общей деформационной модели, необходимы экспериментальные данные о диаграммах деформирования кладки с поперечным армированием.

Для достоверного моделирования кладки либо выполнения численных исследований представляет интерес информация об изменении коэффициента поперечных деформаций кладки с поперечным армированием горизонтальных швов, которая в научно-технической литературе содержится в крайне ограниченном объеме.

Экспериментальные исследования

Описание опытных образцов. К армокаменным элементам с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах предъявляются определенные требования, сформулированные на основании инженерной практики и ряда проведенных исследований. Одно из них заключается в соблюдении соотношения размеров поперечного сечения, которое должно находиться в пределах от 0,5 до 2.

Стандарт [7] предписывает определять прочность неармированной каменной кладки на образцах в виде стенок; стандарт [8] – на образцах в виде столбов. Однако требования, предъявляемые к форме

опытных образцов для определения прочности кладки с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах, отсутствуют.

Исходя из вышесказанного, для исследования напряженно-деформированного состояния коротких армокаменных элементов с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах и получения значений сопротивления сжатию N_u образцы изготавливались в виде столбов, традиционно применяемых при исследовании элементов с армированием.

Для исключения влияний на результаты эксперимента продольного изгиба и сил трения отношение высоты l опытных образцов к меньшему размеру поперечного сечения d принимается в пределах от 2,5 до 5. Минимально требуемый размер поперечного сечения d – 200 мм, площадь поперечного сечения армокаменного элемента – не менее 0,04 м². Опытные образцы были изготовлены в виде столбов сечением 1½×1½ кирпича (380×380 мм), высотой шестнадцать рядов кладки (1220 мм). Использовалась трехрядная система перевязки швов. С целью исключения влияния на результат эксперимента субъективного фактора квалификации каменщика изготовление всех опытных образцов производил один и тот же каменщик 4-го разряда.

Для опытных образцов использовались полнотелые кладочные изделия 1 группы по классификации [9] региональных производителей: кирпич полнотелый КРО 150/15 производства КПУП «Обольский керамический завод» с прочностью при сжатии и изгибе соответственно 16,7 и 4,21 МПа; кирпич полнотелый КРО 200/25 производства ОАО «Керамика» (г. Витебск) с прочностью при сжатии и изгибе соответственно 24,1 и 3,9 МПа. Кладочные изделия с пустотами не использовались – применение таких изделий совместно с сетками из перекрестных стержней приводит к раннему трещинообразованию.

Прочность при сжатии кладочных растворов для армокаменных элементов должна составлять не менее 5 МПа. Рекомендуется использовать цементно-песчаные растворы, обладающие лучшими защитными свойствами по отношению к арматуре. Для обеспечения данного требования использовался стандартный кладочный раствор заданного состава, предварительно подобранного в лабораторных условиях, прочность которого по данным испытаний находилась в пределах 6,75...8,95 МПа.

Расстояние по высоте между сетками для поперечного армирования не должно превышать 450 мм по [9] и 380 мм по [10]. Минимально допустимый процент поперечного армирования μ составляет 0,1%; максимальный μ принимается таким, чтобы прочность армированной кладки не превышала 90% прочности кладочных изделий, также μ не должен превышать 1% и величины пятидесятикратного отношения прочности неармированной кладки к прочности арматуры.

Для поперечного армирования в горизонтальных растворных швах опытных образцов армокаменных элементов использовалось несколько видов сеток: сетки в виде плоских спиралей (тип «А» и «А*», рисунок 1); традиционно применяемые сетки из перекрестных стержней (тип «Б», см. рисунок 1). Сетки изготавливались из арматурной проволоки диаметром 4 мм, который принят максимальным из условия сохранения толщины горизонтального шва в нормативных пределах. Размеры сеток типа «А» и типа «Б» подобраны с условием одинакового расхода арматуры на их изготовление. Размеры сеток типа «А*» подобраны так, чтобы шаг витков уменьшался от краев к середине поперечного сечения опытных образцов, а шаг крайних витков совпадал с шагом витков в сетке типа «А». Таким образом, расход арматуры для изготовления сетки типа «А*» уменьшен на 9% по сравнению с сетками типа «А» и типа «Б».

На рисунке 1 показана схема размещения сеток в поперечном сечении образцов и один ряд раскладки кладочных изделий, состоящий из четырех целых кирпичей и одной половины кирпича.

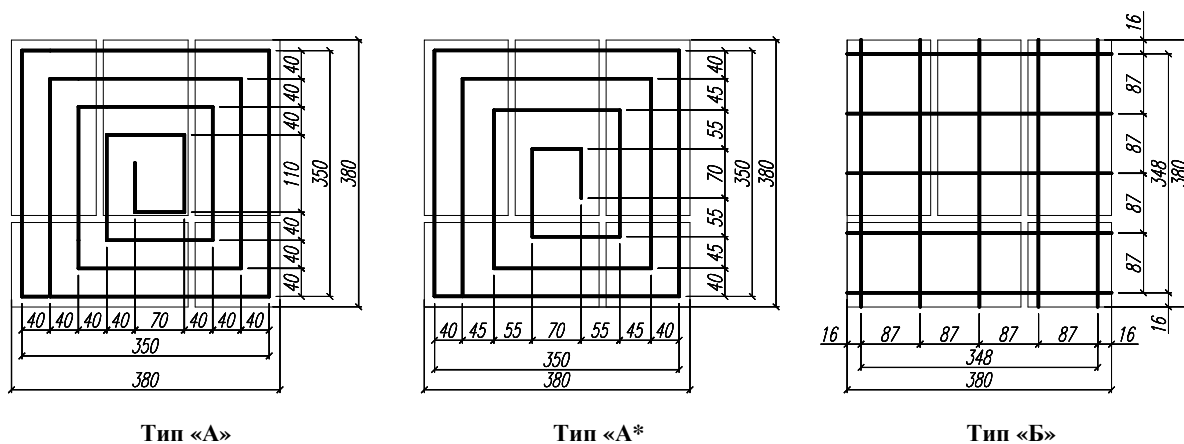


Рисунок 1. – Схемы размещения сеток в поперечном сечении опытных образцов основных серий CI–CVIII

Опытные образцы армокаменных элементов разделены исходя из конструктивного исполнения на восемь основных серий (таблица 1).

Таблица 1. – Характеристика опытных образцов основных серий CI–CVIII

Серия	CI	СII	СIII	CIV	CV	CVI	CVII	CVIII
Используемые кладочные изделия	Кирпич КРО-150/15 СТБ 1160-99 производства КПУП «Обольский керамический завод»				Кирпич КРО 200/25 СТБ 1160-99 производства ОАО «Керамика»			
Количество образцов (шт.)	2	3	3	2	3	3	1	2
Наименование образцов	K1, K2	K3, K4, K5	K6, K7, K8	K9, K10, K18	K11, K12, K13	K14, K15, K16	K17	K19, K20
Тип сеток	–	Тип «Б»	Тип «А»	–	Тип «Б»	Тип «А»	Тип «А»	Тип «А*»
Шаг сеток	–	Один ряд кладки		–	Два ряда кладки			

Представленное исследование выполнено в два этапа. На первом этапе испытаны образцы K1–K16 серий CI–CVI. Образцы серий CI и CIV выполнены без армирования и служили эталонами для сравнения с армированными образцами. Назначение опытных образцов серий СII и СIII состояло в сравнении эффекта от применения сеток в виде плоских спиралей (тип «А») и сеток из перекрестных стержней (тип «Б») при одинаковом расходе арматуры на их изготовление. Той же цели служили образцы серий CV и CVI, но отличались меньшим процентом поперечного армирования.

На втором этапе изготовлены и испытаны образцы K17–K20 серий CVII–CVIII. Серия CVIII служила для сравнения с серией CV, в обеих сериях применялось армирование одним типом сеток в виде плоских спиралей, но в серии CVIII применялись сетки с уменьшенным расходом арматуры за счет изменения шага витков спирали.

Серия CVII, состоящая всего из одного образца, предназначалась для проверки соблюдения гипотезы плоских сечений на коротких армокаменных элементах с поперечным армированием в горизонтальных швах сетками в виде плоских спиралей при действии продольного усилия N с эксцентриситетом. Известно, что гипотеза плоских сечений соблюдается при использовании традиционных сеток из перекрестных стержней [1], однако экспериментальное подтверждение сохранения плоскостности поперечных сечений при использовании сеток в виде плоских спиралей отсутствует.

Опытные образцы серий CI–CVIII выполнены с размерами, сопоставимыми с размерами реальных элементов зданий, и рассматривались как короткие каменные и армокаменные элементы для исследования их напряженно-деформированного состояния, получения данных о значениях сопротивления сжатию N_u .

Для получения данных о прочности кладки с поперечным армированием в горизонтальных швах и соответствующих ей деформациях выполнены две дополнительные серии испытаний (таблица 2).

Таблица 2. – Характеристика опытных образцов дополнительных серий CIX, CX

Серия	CIX	CX
Используемые кладочные изделия	Кирпич КРО 200/25 СТБ 1160-99 производства ОАО «Керамика»	
Количество образцов (шт.)	2	2
Наименование образцов	C1, C2	C3, C4
Тип сеток	Тип «Б-д»	Тип «А-д»

Опытные образцы серий CIX и CX изготовлены в виде столбиков с поперечным сечением 1×1 кирпич (250×250 мм) высотой восемь рядов кладки и предназначались для получения свойств материала каменной кладки с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах и значений параметрических точек диаграмм деформирования.

Процент поперечного армирования μ принимался аналогичным проценту армирования в сериях CV и CVI. Армирование выполнялось сетками двух типов – традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней и сетками в виде плоских спиралей.

На рисунке 2 показана схема размещения сеток в поперечном сечении образцов и один ряд раскладки кладочных изделий, состоящий из двух целых кирпичей. Заметим, что при использовании сетки типа «А-д» вертикальный шов кладки, являющийся своего рода концентратором напряжений вблизи которого, как правило, развиваются трещины, перевязывается шестью стержнями арматуры против четырех стержней в случае использования сетки типа «Б-д» (см. рисунок 2). В образцах сечением $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ кирпича перевязка вертикальных швов на наиболее «слабых» участках сопряжения половины кирпича, а также ложковых и тычковых рядов при применении сеток в виде плоских спиралей устроена тремя стержнями против двух в случае применения сеток из перекрестных стержней (см. рисунок 1).

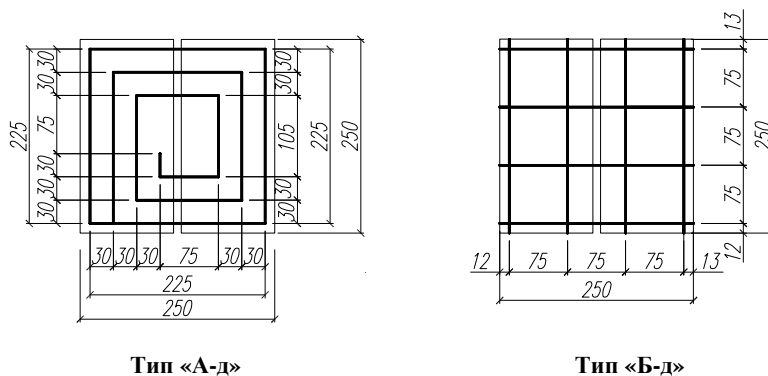


Рисунок 2. – Схемы размещения сеток в поперечном сечении опытных образцов дополнительных серий СІХ, СХ

Методика проведения испытаний. Опытные образцы испытаны в лаборатории кафедры «Строительные конструкции» Полоцкого государственного университета с использованием гидравлического прессового оборудования. Образцы устанавливались с совмещением их геометрических осей с геометрической осью прессы. Верхнюю поверхность образцов для равномерной передачи давления от подушки прессы выравнивали подливкой из тонкого слоя прочного цементно-песчаного раствора состава 1:1. Эксцентриситет продольной сжимающей силы N для образца К17 создавался смещением его оси относительно геометрической оси прессы; продольное усилие N передавалось через катковую опору, а для недопущения разрушения верхней части образца от местного сжатия устраивалась опорная подушка из бетона толщиной 150 мм. Опорная подушка армировалась двумя сетками из проволоки $\varnothing 5$ мм с ячейкой 50×50 мм.

Этапы приложения продольного усилия N назначались не более 10% от предполагаемой разрушающей нагрузки, предварительно рассчитанной по теоретическим данным с учетом прочности исходных кладочных материалов. За разрушающую нагрузку (значение сопротивления сжатию N_u) принималось максимальное значение продольного усилия N по силоизмерителю прессы, достигнутого в процессе испытаний.

Индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм фиксировались продольные и поперечные деформации опытных образцов основных серий СІ–СVІ и СVІІІ. При испытании образцов серий СVІІ, СІХ и СХ замерялись только продольные деформации. Данные о напряженно-деформированном состоянии отдельных стержней сеток поперечного армирования получены путем измерения относительных деформаций с помощью тензометрических датчиков. Полученные при испытании образцов первого этапа исследований результаты определения напряженно-деформированного состояния в стержнях сеток приведены в работе [11]. На основании анализа этих данных установлено, что эффективность использования прочностных свойств арматуры во внутренних витках сеток уменьшается по сравнению с внешними. Это послужило основанием для усовершенствования сеток и получения патента на полезную модель № 9295 «Сетка для поперечного армирования каменной кладки» [12].

Задача полезной модели состояла в повышении сопротивления сжатию армокаменных элементов и эффективном расходовании арматуры путем рационального размещения в плане витков спиральной сетки. Решение поставленной задачи в том, что сетка для поперечного армирования каменной кладки может быть выполнена в виде плоской квадратной или прямоугольной спирали, в которой шаг витков уменьшается от центральной части к внешней. При этом шаг каждого витка a_n не больше предыдущего a_{n-1} и не меньше последующего a_{n+1} .

В соответствии с вышеобозначенными предпосылками сконструированы сетки тип «А*», которые использовались для армирования образцов К19 и К20, испытанных на втором этапе исследований, причем максимальное количество арматуры в сетке для поперечного армирования должно быть сконцентрировано у периметра сечения сжатого элемента, где возникают наибольшие деформации. Благодаря такой

конструкции деформации в витках сетки по всему сечению будут распределяться равномерно, повышая тем самым эффективность использования сетки для поперечного армирования. Схемы усовершенствованных сеток в виде квадратных и прямоугольных спиралей показаны на рисунке 3.

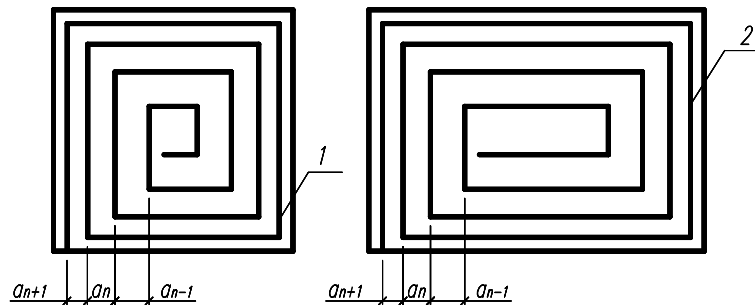


Рисунок 3. – Принципиальная схема конструирования усовершенствованных спиральных сеток для армирования элементов квадратного (1) и прямоугольного (2) поперечных сечений

Напряженно-деформированное состояние коротких армокаменных элементов. Отдельные результаты испытаний опытных образцов, характеризующие их прочностные и деформативные характеристики, представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Отдельные результаты испытаний опытных образцов армокаменных элементов

Серия, образец	N_u (кН)	Среднее N_u (кН)	α	Серия, образец	N_u (кН)	Среднее N_u (кН)	α
CI	K1	650	850	CV	K11	1000	750
	K2	630	900		K12	1100	1033
CII	K3	1640	310	CVI	K13	1000	770
	K4	1450	360		K14	1100	1090
CIII	K5	1625	480	CVII	K15	1120	760
	K6	1500	360		K16	1050	820
CIV	K7	1675	380	CVIII	K19	950	710
	K8	1675	450		K20	1130	1040
CIV	K9	740	1140	где N_u – разрушающее продольное усилие; α – упругая характеристика кладки			
	K10	690	1060				
	K18	785	1090				

Распределение осредненных по высоте относительных деформаций опытных образцов подтверждает правомерность использования в качестве предпосылки методики расчета [6] гипотезы плоского сечения. Распределение деформаций на примере образцов K14 и K17 показано на рисунке 4.

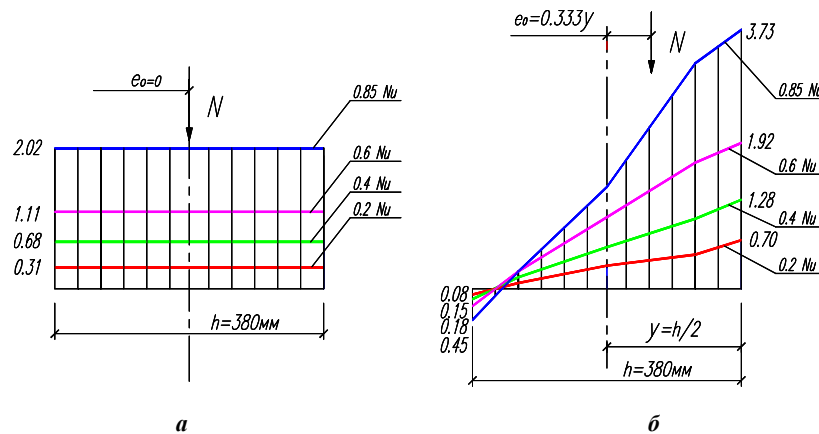


Рисунок 4. – Распределение деформаций $\epsilon_x \cdot 10^{-3}$ по среднему сечению опытных образцов K14 (а) и K17 (б)

На рисунке 5 приведены диаграммы деформирования « $N/N_u - \epsilon$ » опытных образцов. Картина деформирования демонстрирует физическую нелинейность материала как каменной, так и армокаменной кладки с поперечным армированием в горизонтальных швах. Свойство физической нелинейности наиболее ярко проявляется по мере приближения к разрушающему усилию. Следует также отметить значительный разброс в абсолютных и относительных значениях поперечных деформаций даже в пределах одинаковых серий с образцами-близнецами, что может быть связано с неравномерными осадками и изгибом отдельных кирпичей при неодинаковой плотности растворных швов. В целом по мере приближения к разрушающему усилию с образованием и развитием трещин наблюдалось интенсивное увеличение поперечных деформаций.

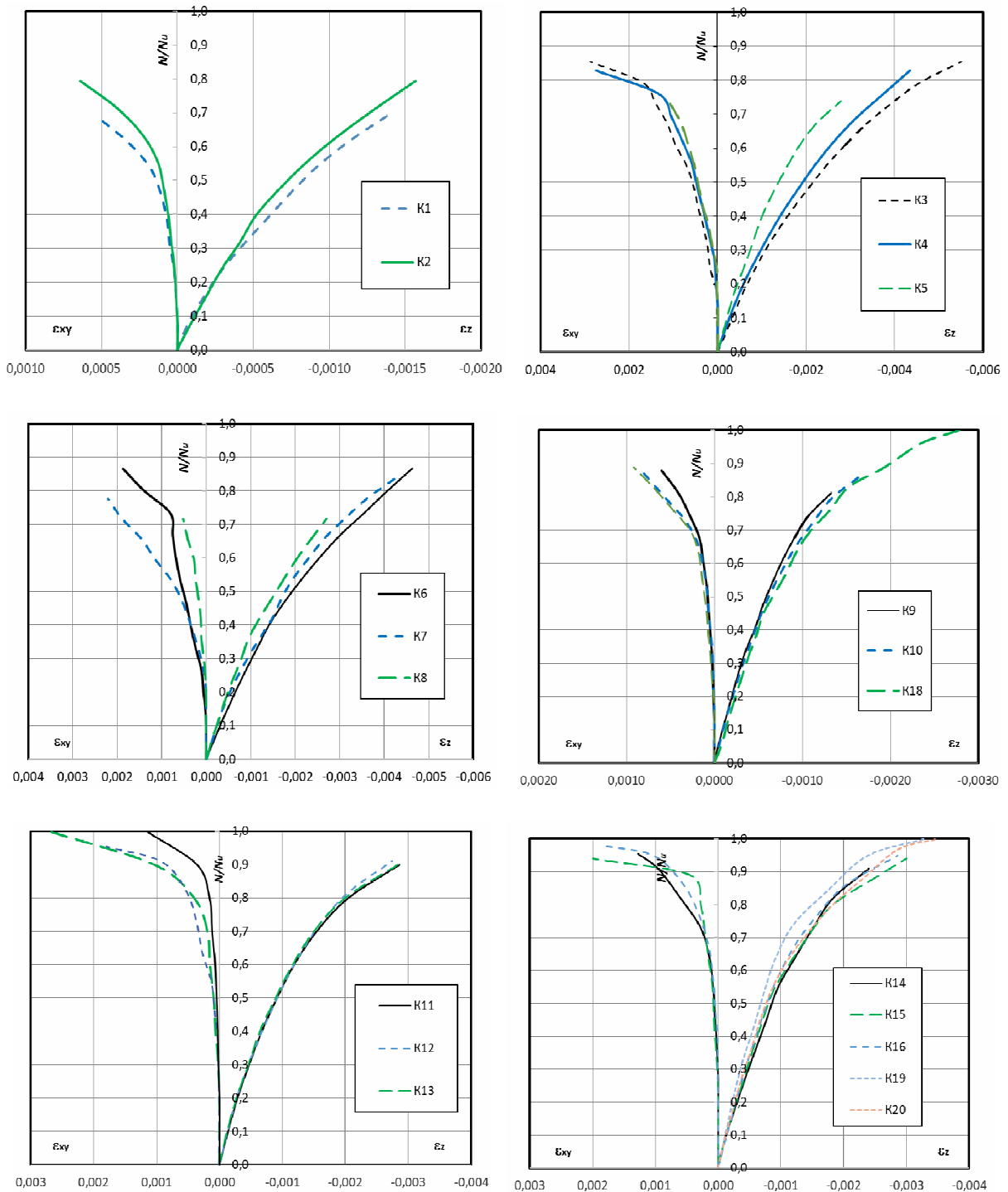


Рисунок 5. – Диаграммы деформирования « $N/N_u - \epsilon$ » опытных образцов

По средним значениям продольных деформаций ε_z и поперечных деформаций ε_{xy} образцов серий СII, СIII построен график изменения коэффициента поперечной деформации $\nu = \varepsilon_z/\varepsilon_{xy}$ в зависимости от уровня нагружения N/N_u , представленный на рисунке 6.

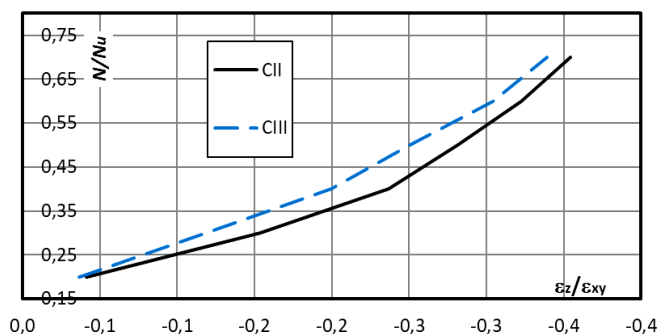


Рисунок 6. – Изменение коэффициента поперечной деформации в зависимости от уровня нагружения N/N_u

Заключение. В результате проведенных исследований получены новые экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии коротких армокаменных с поперечным армированием в горизонтальных швах элементов сетками в виде плоских спиралей на всех стадиях нагружения. Значения сопротивления сжатию благодаря армированию повышаются до 2,5 раз по сравнению с неармированными элементами. Значения сопротивления сжатию армокаменных элементов с поперечным армированием сетками в виде плоских спиралей выше по сравнению с армокаменными элементами с поперечным армированием традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней.

Предложена усовершенствованная конструкция спиральной сетки с уменьшением шага витков от центральной к внешней части спирали. Экспериментально подтверждена возможность снижения до 10% расхода арматуры на изготовление новых усовершенствованных сеток с сохранением прочности армокаменным элементом.

Получены новые данные о диаграммах деформирования кладки с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней и сетками в виде плоских спиралей, построены графики изменения значений коэффициента поперечной деформации от уровня нагружения опытных образцов с поперечным армированием.

Экспериментально подтверждена возможность использования предпосылки общей деформационной модели метода расчета сопротивления сжатию коротких армокаменных элементов [6] в виде гипотезы плоских сечений применительно к армокаменным элементам с поперечным армированием сетками в виде плоских спиралей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камейко, В.А. Прочность на сжатие кирпичной кладки с косвенным сетчатым армированием / В.А. Камейко // Экспериментальные исследования каменных конструкций : сб. ст. / Центр. науч.-исслед. ин-т пром. сооружений «ЦНИПО» ; под ред. Л.И. Онищика. – М. ; Л., 1939. – С. 65–89.
2. Рябинин, А.Л. Прочность и деформативность кирпичной кладки, армированной перфорированными стальными лентами, при центральном сжатии : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / А.Л. Рябинин ; С.-Петербург. гос. архитектурно-строит. ун-т. – СПб., 2009. – 17 с.
3. Dajun, D. Experimental research on strength of brick masonry reinforced with new type of transverse reinforcement / D. Dajun, L. Xishao, Z. Juan // J. of Building Structures. – 1988. – Vol. 9, № 1. – P. 53–58.
4. Ding Dajun. Two new points of view in theory of masonry strength / Ding Dajun // Brick and Block Masonry : proc. of the 8th intern. Brick a. Block Masonry conf., Dublin, 19–21 Sept. 1988 : in 3 vol. ; ed. J. W. de Courcy. – Dublin, 1988. – Vol. 3. – P. 1531–1538.
5. Гринев, В.Д. Спиральные сетки для поперечного армирования каменной кладки / В.Д. Гринев, В.В. Гринев, Я.С. Яско // Архитектура и строительство. – 2003. – № 1. – С. 62–63.
6. Лазовский, Д.Н. Расчет сопротивления сжатию каменных и армокаменных элементов с учетом физической нелинейности / Д.Н. Лазовский, А.М. Хаткевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 16. – С. 41–50.

7. Методы испытаний каменной кладки. Ч. 1. Определение прочности при сжатии = Метады выпрабаванняў каменнай кладкі. Ч. 1. Вызначэнне трываласці пры сціску : СТБ EN 1052-1-2015. – Взамен СТБ EN 1052-1-2009 ; введ. 01.11.15. – Минск : Госстандарт, 2015. – 9 с.
8. Каменные и армокаменные конструкции. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, трещиностойкости и деформативности = Каменныя і армакаменныя канструкцыі. Метады выпрабаванняў нагружэннем. Правілы ацэнкі трываласці, расколінастойкасці і дэфарматыўнасці : СТБ 1376-2002. – Введ. 01.07.03. – Минск : Минстройархитектуры, 2003. – 12 с.
9. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования = Каменныя і армакаменныя канструкцыі. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-5.02-308-2017 (33020). – Взамен СНиП II-22-81 ; введ. 01.01.18. – Минск : Минстройархитектуры, 2018. – VIII, 111 с.
10. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования = Каменныя і армакаменныя канструкцыі. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-5.02-308-2017 (33020). – Взамен СНиП II-22-81 ; введ. 01.01.18. – Минск : Минстройархитектуры, 2018. – VIII, 111 с.
11. Хаткевич, А.М. Напряженно-деформированное состояние арматурных сеток в кирпичной кладке / А.М. Хаткевич // Сб. науч. тр. / Издат. центр БГУ. – Минск, 2012. – Вып. 4 : Проблемы современного бетона и железобетона. – С. 202–215.
12. Сетка для поперечного армирования каменной кладки : полез. модель ВУ 9295 / А.М. Хаткевич, В.Д. Гринев. – Опубл. 30.06.2013.

Поступила 12.06.2019

INFLUENCE OF THE GRIDS TYPE FOR TRANSVERSE REINFORCEMENT IN HORIZONTAL MORTAR JOINTS ON THE STRESSED-DEFORMED STATE OF SHORT REINFORCED STONE ELEMENTS

D. LAZOVSKI, A. KHATKEVICH

The results of the study of the stress-deformed state of short reinforced stone elements with transverse reinforcement in horizontal mortar joints are presented. For transverse reinforcement of the prototypes, the traditionally used cross-rod grids and grids in the form of flat spirals were used. An improved design of the spiral grid with a decrease in the pitch of the turns from the axis of the cross section to its edge is proposed. The possibility of reducing reinforcement consumption by up to 10% for the manufacture of new improved grids with preservation of strength by an reinforced stone element has been experimentally confirmed. Data on the diagrams of deformation of masonry with transverse reinforcement in horizontal mortar joints by traditionally used cross-rod grids and grids in the form of flat spirals are obtained. Based on the analysis of experimental data, the influence of the type of reinforcement on the values of the coefficient of transverse deformations is established.

Keywords: *transverse reinforcement, masonry, reinforced stone elements, cross-rod grids, grids in the form of flat spirals, compression.*