

В. В. ГРИНЁВ, В. Д. ГРИНЁВ, В. И. АТРАХИМОВИЧ (Полоцкого государственного университета, Республика Беларусь)

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРОЧНОСТЬ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

Уточнені особливості руйнування стиснутих кам'яних конструкцій. Встановлено вплив варіантів перев'язки цеглин і їх розташування в горизонтальних рядах на міцність мурування. Розроблена методика оцінки й пошуку раціональних перетинів стиснутих елементів з використанням ізопериметричних характеристик. Результати роботи підтверджені наявністю публікацій й винаходів.

Уточнены особенности разрушения сжатых каменных конструкций. Установлено влияние способов перевязки кирпичей и их укладки в горизонтальные ряды на прочность кладки. Разработана методика оценки и подбора рациональных сечений сжатых элементов с использованием изопериметрических характеристик. Результаты работы подтверждены наличием публикаций и изобретений.

Features of destruction of the compressed stone designs have been specified. The influence of the bricks bandaging methods and their stacking in horizontal rows on durability of the laying has been established. A technique of assessment and selection of rational cross-sections of the compressed elements with the use of iso-perimetric characteristics has been developed. The results of the work have been confirmed by research publications and patented inventions.

Каменная кладка состоит из камней и раствора и может быть усилена арматурой. Из камней, железобетона (бетона) и металла устраиваются комплексные конструкции. Из кладки возводятся стены, простенки, колонны (пилоны), перемычки, своды, перекрытия. Сечения колонн выкладываются в форме правильных многоугольников, начиная с треугольного сечения и завершая круглыми, а также в форме тавровых, кольцевых и коробчатых сечений. Стены в плане могут быть любого очертания.

Известно, что геометрия кладки влияет на ее прочность. Так, например, при одинаковой площади квадратной колонны и круглой, сложенных из обычного цельного кирпича, последняя будет на 40 % менее прочной [1]. Колонны таврового сечения с большим периметром менее прочны цельных колонн прямоугольного сечения при равных площадях. Прочность кладки зависит от толщины стены, так у стены в 1 кирпич повышение прочности составит 5...10 %, а стен в 1/2 кирпича – до 15...20 % по сравнению со стеной толщиной 1 1/2 кирпича [2]. Иные примеры влияния геометрии сечений на прочность кладки в технической литературе отсутствуют.

Данные о влиянии геометрии исходных камней на прочность кладки неполны, однако, известно, что увеличение толщины камней и правильность их граней повышают прочность кладки, устройство пустот снижает прочность [3; 4]. Немаловажную роль играет вид соедине-

ний камней между собой, который характеризуется определенным чередованием ложковых и тычковых рядов кладки в сечении стены или колонны. Соединения камней между собой образуют тот или иной вид перевязки, усиленной, при необходимости, косвенной арматурой.

Любые системы перевязок основываются на следующих правилах (правила разрезки):

- постели камней следует располагать перпендикулярно воздействию внешней нагрузки, располагая их горизонтальными рядами;
- обеспечить отсутствие сдвига, при этом боковые грани камней должны быть перпендикулярны постелям;
- продольные и поперечные вертикальные швы должны быть перевязаны, при перевязки кирпичами последние сдвигаются относительно швов нижележащего ряда на 1/4 или 1/2 кирпича.

Обеспечение последнего условия препятствует расслаиванию кладки на отдельные столбики. Для стен перевязка осуществляется укладкой тычковых и ложковых рядов с определенным шагом, так, двухрядная система (цепная перевязка) получается чередованием тычковых и ложковых рядов, шестирядная система состоит из пяти ложковых на высоте и одного тычкового.

Известно, что при цепной перевязке в кладке толщиной в 1 кирпич содержится 50 % тычковых, то при наличии последних через 5 рядов – 12 % тычковых, прочность кладки снижается на 5 %, через 8 рядов – соответственно на 20 % [4].

При кладке стен и их стыков, простенков, колонн применяются помимо цельных кирпичей трехчетвертки, половинки и одночетвертки. При перевязке образуются линейные и криволинейные вертикальные и сплошные горизонтальные швы, первые могут быть прямоугольными в плане, радиальными, кольцевыми. Разновидности швов изображены на рис. 1

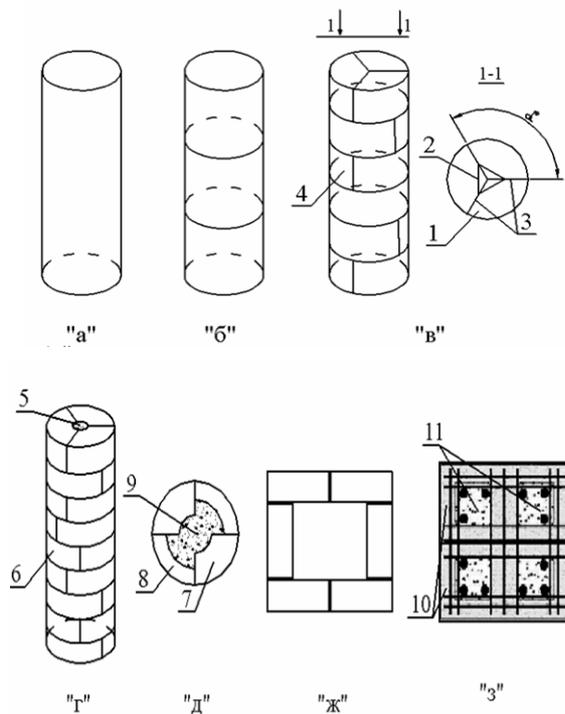


Рис. 1. Разновидности колонн и соединение камней:

1 – камни треугольного очертания с одной криволинейной гранью; 2 – косвенная арматура в форме треугольника; 3 – вертикальные радиальные швы; 4 – кольцевой сердечник; 5, 6, 7 – трапециевидные камни разной толщины с противоположными круговыми гранями; 8 – сердечник образующий шлицевые соединения с камнями; 9 – бетонное заполнение; 10 – бетонный камень; 11 – заполнение пустот железобетоном

Прочность колонн на рис. 1 будет снижаться в последовательности: «а», «б», «в», «г», «д». Колонна «б» состоит из отдельных блоков (барабанов), соединенных лишь горизонтальными швами.

Перевязка криволинейных камней колонн «в», «г», «д» осуществляется их поворотом в каждом последующем ряду на угол  $\alpha/2$ . Кольцевой вертикальный шов по периметру круглого сердечника (см. рис. 1, з), не перевязан с периферийными камнями, что характерно для кладки «в корзинку» рис.2. При отсутствии кирпичного сердечника образуется колонна с пустотой (см. рис.1 «ж»). При армировании железобетоном, кладки из пустотных бетонных блоков, создается высокопрочная комплексная конструкция (см. рис.1 «з»)[5].

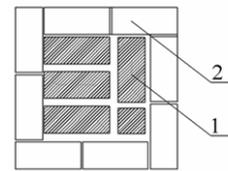


Рис. 2. Кладка «в корзинку»:

1 – ядро колонны выполненное с перевязкой;  
2 – наружные ложковые ряды, выполненные без перевязки с ядром

Вертикальные швы по высоте могут быть перевязаны кирпичом, кирпичом на растворе, косвенной арматурой, проволочными и стержневыми анкерами из металла или стеклопластика. Кладочные растворы приготавливаются из разных вяжущих, при этом толщина горизонтального шва составляет 1...20 мм. В отдельных случаях вместо раствора используют прокладки. Оценку прочности кладки предлагается выполнить, исходя из рассмотрения стадии работы кладки.

Известно, что кладка разрушается из-за образования вертикальных трещин и их роста по высоте. Из первоначального цельного монолита кладки образуются отдельные столбики (ветви) со значительной гибкостью. Столбики работают на внецентренное сжатие, после разрушения наиболее слабого звена (столба) происходит хрупкое, спонтанное разрушение остальных фрагментов. Вполне очевидно, что прочность при этом зависит от размеров столбиков и их гибкости. При разных размерах столбиков (ветвей) первыми начнут разрушаться столбы с наименьшими размерами сечения.

Как показал анализ результатов испытаний каменной кладки, вертикальные швы во II и III стадии образуются в кирпичках, перекрывающих вертикальные швы и далее идут по вертикальному шву рис. 3.

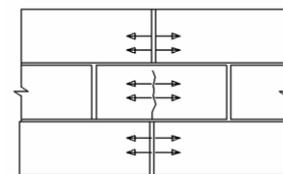


Рис. 3. Образование вертикальных швов в стадиях II-III

Следует заметить, что напряжения в горизонтальных швах и в сечениях кирпича зависят от прочности и деформативных свойств раствора и кирпича.

Исходя из вышесказанного, можно сделать закономерный вывод, что минимальные размеры ветвей для кирпича 120×120 мм либо 60×250 мм (рис. 4).

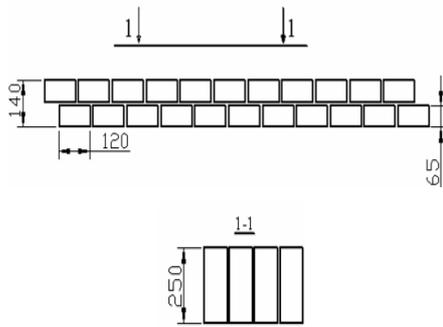


Рис. 4. Кладка стены толщиной в кирпич

Необходимо отметить, что традиционно кладка стены толщиной в кирпич выполняется как тычковыми, так и ложковыми рядами и пере-

вязка может быть цепной (двухрядной) либо многорядной. При перевязке тычковых и ложковых рядов в стадии разрушения образуются столбики  $120 \times 120$  мм (10 мм не учитываем из-за не ровного раскола кирпича). Перевязка по см. рис. 4 является исключением и сечение столбика будет  $60 \times 250$  мм. Каждые столбики в момент разрушения (III...IV стадия) будут работать раздельно и, в целом, подвергаться внецентренному сжатию. При этом конечная прочность кладки будет зависеть от момента инерции при изгибе и от гибкости, тоже взаимосвязанной с моментом инерции. Представляется резонным сравнить изменение моментов инерции в зависимости от сечения столбиков и толщины стены (табл. 1).

Таблица 1

Толщина стены в кирпичах	Сечение стены длиной 100 см	Момент инерции $J_i$ , см <sup>4</sup>	Момент инерции столбиков на 1 м.п. $J_{c\sigma}$	$J_i/J_{c\sigma}$
1/2	12×100	14 400	14 400	1,0
1,0	25×100	130 208	14 400	9,0
1,0		130 208	130 208	1,0
1 1/2	38×100	457 267	14 400	37,4
2,0	51×100	1 105 425	14 400	76,8
2 1/2	64×100	2 184 533	14 400	151,7

Рассмотрим влияние толщины стены на отношение  $J_i/J_{c\sigma}$  (рис. 5).

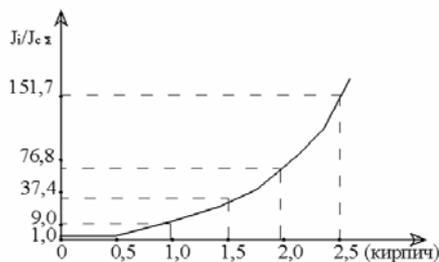


Рис. 5. Зависимость отношения  $J_i/J_{c\sigma}$  от толщины стены

Вышеизложенные исходные данные и анализ (см. рис. 5) позволяет теоретически показать снижение прочности стен при увеличении ее толщины, а также подтвердить влияние вида перевязки на величину момента инерции, т. е. на прочность кладки. Также доказано, что цельные камни на всю толщину стены являются наиболее эффективными для кладки стен, см. таблицу, строки 1 и 3.

Для учета влияния видов перевязки на прочность кладки нами проведен анализ разно-

образных сечений колонн, исходя из способов заполнения сечения камнями. Методики оценки эффективности того или иного сечения колонн поясняется примером, приведенным на рис. 6.

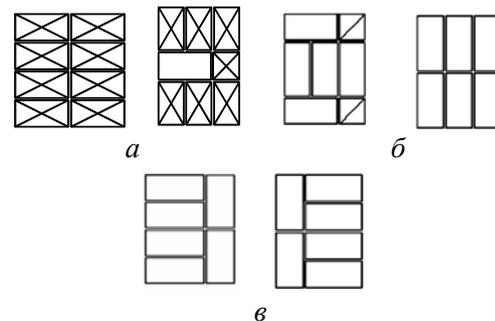


Рис. 6. Виды перевязок столбов  $2 \times 1,5$  кирпича: а – цепная (двухрядная); б – (четырёхрядная)

Найдем площади сечения и периметр вертикальных швов (в кирпичах). Полученные результаты приведены в табл. 2.

Дополнительно рассмотрим некоторые возможные сечения круглых (многоугольных) колонн рис. 7.

Результаты величины коэффициента «k» приведены в табл. 3.

Таблица 2

Номера сечений	Площадь $A$ , кирп <sup>2</sup>	Длина $U$ швов, кирп.	$k = \frac{U}{A}$
1	3	4,25	1,41
2	3	6,50	2,17
3	3	6,50	1,81
4	3	5,50	1,81
5	3	5,50	1,81
6	3	6,00	2,00

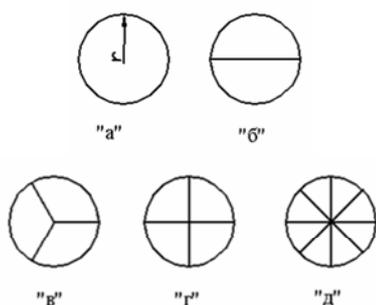


Рис. 7. Разновидности круглых колонн

Таблица 3

№ п/п	Разновидности колонн	Площадь, $A$ в « $r$ »	Длина швов $U$ в « $r$ »	$k = \frac{U}{A}$
1	<i>a</i>		0	0
2	<i>б</i>		$2r$	$0,64/r$
3	<i>в</i>	$\pi r^2$	$3r$	$0,96/r$
4	<i>г</i>		$4r$	$1,27/r$
5	<i>д</i>		$8r$	$2,55/r$

Анализ данных, приведенных в таблицах 2 и 3, позволяет сделать следующие выводы:

- прочность кладки возрастает с уменьшением коэффициента  $k$ , т. е. с увеличением размеров камней, заполняющих сечение колонны;
- у колонн с цепной перевязкой прочность несколько меньше, нежели при использовании 4-рядной системы перевязки;
- прочность кладки колонн при двух и четырех рядных системах перевязки неравномерна по высоте, что приводит к неэффективному использованию материалов;
- кладка с цепной перевязкой более трудоемка из-за необходимости использования в большинстве случаев (86 %) неполномерного кирпича – трехчетверок;
- полученная методика оценки прочности колонн подтверждает неэффективность использования обыкновенного кирпича и его непол-

номерных включений в круглых сечениях, по сравнению с прочностью квадратных колонн такой же площади. Эта методика позволяет проектировать эффективные сечения колонн, находить эффективные покрытия тротуаров.

### Выводы

1. Имеющиеся в технической литературе факты влияния геометрии кладки на ее прочность впервые подтверждены теоретическими выкладками.
2. Предложена методика проектирования эффективных сечений колонн и проведение сравнительного анализа.
3. Доказано влияние геометрии камней и вида перевязки на прочность стен разной толщины.
4. Пустотность бетонных камней позволяет создавать высокопрочные комплексные конструкции.
5. Авторами разработаны новые конструкции колонн и дорожных камней, которые подтверждены патентами [6–10].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП П-22-81. Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983.
2. Поляков С. В. Каменные и армокаменные конструкции / С. В. Поляков, Б. Н. Фалевич. – К.: Вища шк., 1981.
3. Еременок П. Л. Каменные и армокаменные конструкции / П. Л. Еременок, И. П. Еременок. – К.: Вища шк., 1981.
4. Андреев С. А. Каменные конструкции. Изд. Министерства коммунального хозяйства. Москва, Ленинград. 1948 г. С.37, 40.
5. Попков Ю. В. Прочность сжатых железобетонных комплексных конструкций на основе вибропресованных бетонных камней / Ю. В. Попков, В. В. Гринев // Вестник ПГУ. – 2006. – № 9. – С. 8–16.
6. Каменная колонна. Патент на полезную модель Республики Беларусь № 1506 2003 г. Гринев В. Д., Аражи Х. Р.
7. Каменная колонна. Патент на полезную модель Республики Беларусь № 1619 2003 г. Гринев В. Д., Лось Н. Н., Атрахимович В. И.
8. Каменная колонна. Патент на полезную модель № 1755. Заявка № И 20040295 от 17.06.04. Гринев В. Д., Атрахимович В. И., Хаткевич А. М.
9. Каменная колонна. Патент на полезную модель № 1661. Заявка № И20040212 от 3.05.04. Хаткевич А. М., Атрахимович В. И., Аражи Х. Р.
10. Каменная колонна. Патент на полезную модель № 1750. Заявка № И 20040253 от 27.05.04. Хаткевич А. М., Атрахимович В. И., Аражи Х. Р.

Поступила в редколлегию 11.12.2006.