

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СРЕЗ

Чернева Е.С. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*)

В связи с массовым строительством из мелкогазмерных элементов проектировщики сталкиваются с большим количеством пробелов в изучении каменных конструкций. Существующая модель расчета каменной кладки дает точные результаты лишь для традиционной кладки. Прочности кладки при срезе определяется по эмпирической формуле и требует совершенствования. Намечены пути решения этой проблемы.

Постановка проблемы. Природный камень или составляющие искусственного камня являются местным материалом в большинстве областей Украины. Каменные конструкции имеют множество преимуществ: они обладают высокой прочностью, огнестойкостью, долговечностью, архитектурной выразительностью, а эксплуатационные затраты их невелики.

В настоящее время строительство из мелкогазмерных элементов возрождается, и Украина имеет мощную базу для снабжения данной продукцией. Огромное количество зданий, составляющих архитектурную, культурную и историческую ценность выполнено, как правило, из камня и требует реконструкции. Борьба с однотипностью жилых зданий приводит к массовому строительству комплексов коттеджей, выполненных, опять же, из каменных материалов. Возникает необходимость более глубокого изучения каменных и армокаменных конструкций. При этом возникает проблема определения прочности при срезе каменной кладки.

Выделение нерешенных ранее проблем. Составляющие каменной кладки (камни и растворные швы) одновременно подвержены внецентренному и местному сжатию, изгибу, срезу и растяжению. Напряженное состояние кладки, состоящей из отдельных кирпичей и растворных швов, еще не достаточно изучено.

Характер разрушения кладки и степень влияния многочисленных факторов на ее прочность объясняются особенностями ее напряженного состояния при сжатии. Разрушение обычной кирпичной кладки при сжатии начинается с появления отдельных вертикальных трещин, как правило, над и под вертикальными швами, что объясняется явлениями изгиба и среза камня, а также концентрацией растягивающих напряжений над этими швами.

На прочность кладки при сжатии влияет множество факторов.

Прежде всего, нужно отметить отсутствие полного контакта между камнем и его растворной постелью. Опираясь на раствор по отдельным площадкам, подобно плите на упругом основании, камень подвергается местному сжатию, изгибу и срезу. [1]

Неравномерное распределение свойств камня и раствора по плоскости их соприкосновения может привести к образованию очагов твердения раствора, участков, где он будет быстро набирать прочность и терять пластичность. На других участках твердение будет замедленным. Развитие усадочных напряжений, сопутствующее твердению раствора в местах, где сцепление камня и раствора будет пониженным, может вызвать нарушение их контакта. Вследствие этого уменьшается площадь контакта камня и раствора и в той или иной степени усугубляются условия, при которых в камне возникают напряжения среза. [1]

Анализ последних исследований. Еще в тридцатых годах 20-го столетия проф. Онищиком Л.И. [2] была разработана модель расчета каменной кладки. Данная модель положена в основу норм проектирования и дает довольно точные результаты только для традиционной кладки на растворах средней прочности. Для других видов кладки (на высокопрочных растворах, с тонким швом, с высокими камнями и др.) погрешности при её применении становятся значительными. Появление мощных расчетных комплексов, основанных на численных методах решения, позволило по-новому подойти к анализу напряжений в кладке строительных конструкций. Созданы более совершенные модели Пангаева В.В., Гениева Г.А., Соколова Б.С. [3,4,5] и др., в которых появилась возможность учесть практически любые свойства и особенности материала кладки и самих конструкций. Одним из основных численных методов расчета является метод конечных элементов (МКЭ). Вопросом использования МКЭ для определения напряженно-деформированного состояния каменных конструкций посвященные работы В. Г. Левенко [6], Г. Н. Брусенцова [7,8], G. Saw [9], A. W. Page [10,11], T. N. Ganju [12], S. C. Anand [13] и др.

Формулировка цели статьи. Целью работы является анализ недостатков расчета каменных конструкций на срез и дальнейшее созда-

ние на основе экспериментальных и теоретических исследований метода расчета каменных конструкций, работающих на срез.

Случаи среза встречаются очень часто и могут быть приведены как примеры: срез по неперевязанным и перевязанным швам в пятовых сечениях арок, срез по перевязанному шву в консольных выступах и срез по неперевязанному шву в подпорных стенах.

Случаи чистого среза кладки в практике строительства встречаются реже, если нормальные напряжения в сечениях значительно меньше касательных. Примерами могут быть кронштейны и консоли, выполненные напуском кирпича или камней, а также ступенчатые подушки фундаментов.

При работе кладки на срез, как и при работе на растяжение, различают два случая: срез по неперевязанному шву и срез по перевязанному шву.

В первом случае плоскость среза проходит по шву. Временное сопротивление срезу определяется по эмпирической формуле. Наличие нормальных сил, сжимающих кладку, усиливает сопротивление шва срезу. В предельном случае может оказаться, что сила трения больше силы сопротивления шва срезу. Тогда правильнее производить расчет конструкции по формуле:

$$H \leq Nf/k_m,$$

где H - горизонтальная сила;

N - нормальная сила;

f - коэффициент трения, 0,7 для камня по раствору;

k_m - коэффициент запаса при расчете на трение 1,5...2,0.

Из данной формулы видно, что расчет значительно упрощен.

В прошлом, когда применялись только известковые растворы, дающие плохое сцепление шва с кирпичом или камнем, в устоях и контрфорсах при больших горизонтальных силах иногда для повышения прочности кладки на срез применялась кладка с наклонными швами. В такой кладке увеличивается угол между направлением усилий и плоскостью швов, что создает более благоприятные условия работы шва на срез. [2] Такой прием может быть использован и в современном строительстве в случаях, когда кладка ведется на слабых растворах. Но применение данного метода является трудоемким процессом и неэкономичным. Возникает острая необходимость в экспериментальных исследованиях каменной кладки на срез.

Второй случай среза – плоскость среза проходит не только по швам, но и через отдельные кирпичи или камни. В кладке из кирпича и камней правильной формы расчет производится с учетом системы перевязки. Сопротивление вертикальных швов срезу, при этом, не прини-

мается во внимание, и расчет производится по фактическому сечению кирпича или камня.

Так как стандартами на кирпич не предусмотрено нормирование прочности на срез, то следует считаться с возможностью показателей значительно более низких, чем средние. Поэтому расчет с обычным трехкратным запасом можно производить, только ориентируясь на низшие показатели, доходящие до 0,5 от средних. Расчетное сечение принимается нетто, т.е. за вычетом площади вертикальных швов, по плоскости которых может произойти срез. [2]

Вертикальные швы бутовой кладки имеют неправильную форму, поэтому даже при недостаточном сцеплении раствора с камнем оказывают сопротивление срезу. Плоскость среза проходит по сечению отдельных камней и частично по раствору. Следовательно, сопротивление срезу бутовой кладки зависит как от прочности камня, так и от прочности раствора. Но общая величина сопротивления бутовой кладки срезу значительно меньше, чем в кирпичной кладке.

Для повышения сопротивления срезу в перевязке конструкций, в которых наблюдается чистый срез, должны преобладать тычковые ряды.

Нужно отметить, что помимо среза такие конструкции работают одновременно и на изгиб, так как точка приложения силы несколько удалена от плоскости стены. При этом слабым местом чаще оказывается не сопротивление кладки срезу, а сопротивление верхнего ряда растяжению при изгибе.

Из вышесказанного можно прийти к выводу, что при решении задач прочности при срезе пытаются эмпирическим путем учесть конкретные условия, которые характеризуют задачу. В итоге совокупность решенных задач пока еще не образует стройной системы знаний о поведении камня и бетона при срезе. Это свидетельствует о необходимости использования для расчета более общей теории, которая позволит отобразить важнейшие свойства камня и учесть многочисленные факторы.

К основным недостаткам существующих деформационных теорий пластичности ортотропных тел типа каменной кладки можно отнести сложность математического изложения теорий [14-17], что осложняет использование их в инженерных расчетах, подтверждение деформационных теорий экспериментальными данными лишь для определенного класса материалов [18-20]. Следует также заметить недостаточное развитие экспериментальных и теоретических исследований каменных конструкций при плоском напряженном состоянии.

В ОГАСА разрабатывается программа исследования каменных конструкций, работающих на срез, предусматривающая испытание отдельных фрагментов каменных зданий, у которых варьируются следующие параметры: форма поперечного сечения, геометрические и прочностные характеристики материалов. Программа даст возможность определить параметры напряженно-деформированного состояния и разработать методику расчета таких конструкций.

Выводы:

1. Возобновление интереса к строительству зданий из мелкогабаритных элементов вызвало появление статей по изучению каменной кладки при сжатии с применением современных математических моделей.
2. В дальнейшем необходимо провести ряд экспериментов с каменными конструкциями и исследовать их прочность при срезе. При этом применить новые материалы, такие как пустотелые перлитобетонные камни. На основе проведенных экспериментов разработать общую методику расчета каменных конструкций на срез.

Литература

1. Фролова А.С. Моделирование разрушения фрагментов каменной кладки при осевом сжатии. // Вісник ОДАБА. - Одесса, ОДАБА, 2006.- №19.- С.278-281.
2. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. – М.–Л.: Главная редакция строит. литературы, 1937.– 290 с.
3. Пангаев В.В. Последовательность разрушения многорядной каменной кладки при сжатии. // Изв.вузов. Строительство,2001. - №12. – С.13-17.
4. Гениев Г.А. О критерии прочности каменной кладки при плоском напряженном состоянии. // Строительная механика и расчет сооружений,1979. - №2. – С.7-11.
5. Соколов Б.С. Физическая модель разрушения каменных кладок при сжатии. // Изв.вузов. Строительство, 2002. - №9. – С.19-23.
6. Иевенко В.Г. Алгоритм расчета каменных стен с учетом появления и развития трещин: Реф. информ. / ЦИНИС.–М., 1976.–Вып. 9.– С. 5.
7. Брусенцов Г.Н. О развитии методов расчета каменных конструкций с применением МКЭ.// Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций: Тр. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1984.– С. 74–86.

8. Брусенцов Г.Н., Першин А.В. Расчет кирпичных зданий на ЕС ЭВМ.// Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций: Тр. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1983. – С. 87 – 94.
9. Saw C. Linear elastic finite element analysis of masonry walls on beam. – Building Science. – 1974. - vol. 9. - № 4. - p. 299 – 307.
10. Page A. W. A non – linear analysis of the composite action of masonry walls on beams.// Proc. Inst. Civ. Eng. – 1979. - Part 2. - 67, Mar. - p. 93 – 110.
11. Page A. W. Finite element model for masonry.//J. of the Structural Division, Proc. of ASCE. – 1978. - vol. 104. - № ST8. - p. 1267 – 1268.
12. Ganju T. N. Non – linear finite element computer model for structural clay brickwork. – Struct. Eng., 1981, vol. 59B, № 3, p. 40.
13. Anand S. C., Young D. T. Finite element model for composite masonry.// J. of the Structural Division, Proc. of ASCE. – 1982. - vol. 108. - № ST12. - p. 2637 – 2651.
14. Дегтярев И.А. Исследование прочностных деформативных свойств каменной кладки на растворах из различных вяжущих: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Белорусский политех. ин-т.– Минск, 1989. – 20 с.
15. Ломакин В.А. О теории нелинейной упругости и пластичности анизотропных сред.// Механика и машиностроение.– 1960.– № 4.– С. 60 – 64.
16. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести: Справ. пособие / Г.С. Писаренко, Н.С. Можаровский. – К.: Наук. думка, 1981. – 496 с.
17. Гениев Г.А. Вариант деформационной теории пластичности бетона.// Бетон и железобетон. – 1969. – № 2.– С. 14 – 18.
18. Ковальчук Б.И. О деформировании полухрупких тел.// Проблемы прочности.– 1982.– № 9.– С. 51 – 57.
19. Панферов В.М. Теория упругости и деформационная теория пластичности для твёрдых тел с разными свойствами на сжатие, растяжение, кручение.// Докл. АН СССР. –т. 180. Вып. 1.– 1968.– С. 41–44.
20. Победря Б.Е. Деформационная теория пластичности анизотропных сред.// Прикладная математика и механика. т. 48.–1984.–№1.– С. 29–37.