

К РАСЧЕТУ КАМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ОДНОСТОРОННЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЙМОЙ

Т.Н.Азизов, *д.т.н., профессор*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Постановка задачи. Известно, что одним из наиболее эффективных методов повышения несущей способности существующей каменной кладки является включение ее в обойму. В этом случае кладка работает в условиях всестороннего сжатия, что значительно увеличивает ее сопротивляемость воздействию продольной силы.

В литературе [2-6] предлагаются различные способы устройства обойм для усиления. Это односторонние или двусторонние обоймы, которые крепятся к стене, как правило, сквозными хомутами или ершами. Обоймы могут иметь продольную арматуру или не иметь ее. На рис. 1 для примера показана схема устройства односторонних обойм с продольной арматурой. Схема обойм без продольной арматуры аналогична схеме, приведенной на рис. 1.

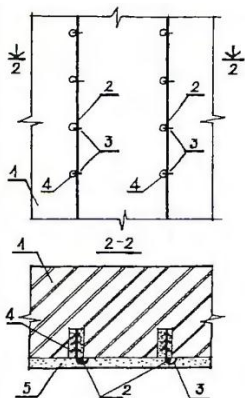


Рис. 1. Усиление каменных конструкций односторонней железобетонной обоймой [7]: 1 – усиливаемая стена; 2 – продольная арматура; 3 – поперечные хомуты; 4 – отверстия для хомутов; 5 – штукатурка

Расчет усиления каменных стен обоймами по [6] аналогичен расчету по нормам [8]. Соответственно и недостатки такого расчета аналогичны.

В литературе практически не встречаются работы, в которых рассматривались бы изгибаемые каменные конструкции, усиленные одно-

сторонней железобетонной обоймой, а также работы по исследованию усиления конструкций из легковесных блоков, усиленных железобетонными обоймами, в том числе легковесных изгибаемых конструкций.

Вопрос о возможности использования односторонних и двусторонних железобетонных обоек для усиления изгибаемых каменных конструкций, в том числе конструкций из легковесных блоков сдерживается отсутствием методики расчета таких конструкций.

В связи со сказанным **целью настоящей статьи** является разработка методики расчета изгибаемых каменных конструкций, усиленных односторонней железобетонной обоймой.

Изложение основного материала.

Рассмотрим изгибаемый элемент, состоящий из двух слоев (в вертикальной плоскости), соединенных между собой связями в отдельных точках (рис. 2).

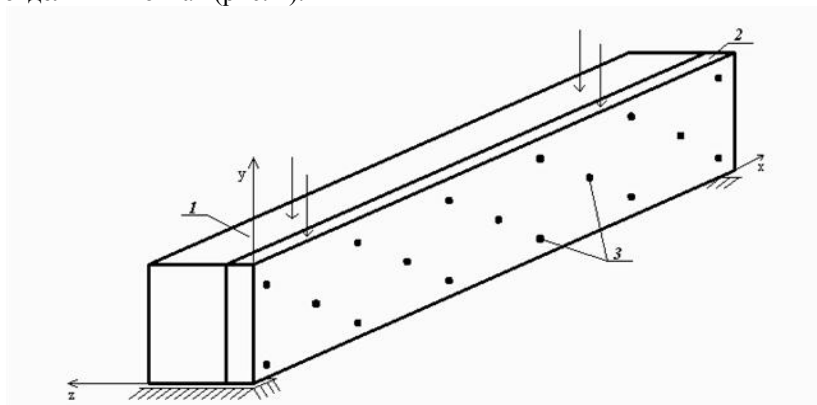


Рис. 2. Схема двухслойного изгибаемого элемента.

1 – каменная балка; 2 – железобетонная обойма; 3 - связи

Для расчета рассечем мысленно комбинированную конструкцию на два отдельных слоя (две балки) по слоям 1 и 2 (см. рис. 2). В местах рассечения связей и в первом, и во втором отсеченных слоях (балках) будут действовать неизвестные вертикальные S_i и горизонтальные T_i силы, где i – номер связи (рис. 3). Эти неизвестные могут быть определены составлением уравнений совместности деформаций (перемещений) для слоя 1 и слоя 2 комбинированной конструкции.

Вертикальные перемещения в i -той точке складываются из составляющих:

1. от изгиба внешней нагрузкой;
2. от изгиба вертикальными силами S_i (см. рис. 3);

3. от изгиба моментами, создаваемыми горизонтальными силами T_i . При этом если сила находится выше нейтральной оси балки, момент положительный, если ниже – отрицательный (рис. 3);

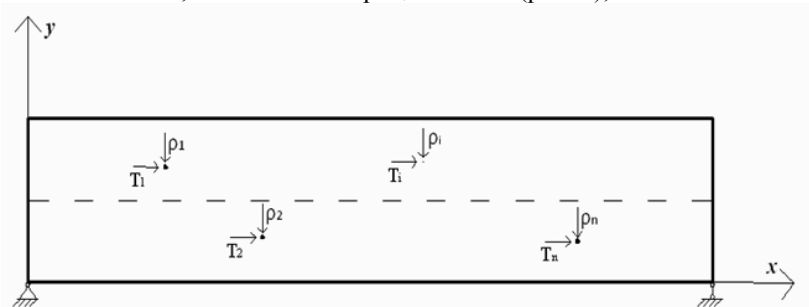


Рис. 3. Схема усилий в связях

4. от кручения, создаваемого вертикальными силами S_i (так как силы приложены к боковой грани и балки 1, и балки 2);

5. от местного смятия в точке приложения вертикальной силы S_i (деформация связи и смятие бетона под связью).

Горизонтальные перемещения в i -той точке складываются из составляющих (при этом если точка находится выше нейтральной оси или ниже ее, то перемещения имеют разные знаки):

6. от изгиба внешней нагрузкой;
7. от изгиба вертикальными силами S_i ;
8. от изгиба моментами, создаваемыми горизонтальными силами T_i в плоскости XOY (см. рис. 3);
9. от изгиба моментами, создаваемыми горизонтальными силами T_i в плоскости YOZ (см. рис. 2);
10. от сжатия (растяжения) силами T_i ;
11. от местного смятия в точке приложения горизонтальной силы T_i ;

Выражение для определения горизонтального перемещения в месте расположения i -той связи выглядит:

$$v_i = T_1 a_{i,1}^T + T_2 a_{i,2}^T + \dots + T_n a_{i,n}^T + S_1 a_{i,1}^S + S_2 a_{i,2}^S + \dots + S_n a_{i,n}^S + q a_i^q \quad (1)$$

где $a_{i,j}^T$, - коэффициенты при горизонтальных силах T_k , определяемые по известным формулам сопротивления материалов и являющиеся суммами влияния каждой составляющей по п. 6-11 для горизонтальных перемещений; $a_{i,j}^S$ - то же, при вертикальных силах S_k ; a_i^q – то же, от внешней нагрузки.

Выражение для определения вертикального перемещения в месте расположения i -той связи выглядит:

$$y_i = T_1 c_{i,1}^f + T_2 c_{i,2}^f + \dots + T_n c_{i,n}^f + S_1 c_{i,1}^s + S_2 c_{i,2}^s + \dots + S_n c_{i,n}^s + q c_i^q \quad (2)$$

где $c_{i,j}^f$ и $c_{i,j}^s$ - коэффициенты, аналогичные вышеописанным (пункты 1-5 для перемещений).

Так, например, составляющая коэффициента $c_{i,1}^s$ при S_1 (см. выражение 2) от изгиба этой вертикальной силой будет равна множителю при силе S_1 выражения (3) для определения вертикального перемещения в точке балки с координатой X_i от силы, расположенной в точке 1 с координатой X_1 (рис. 4) [5]:

$$y = S_1 * \frac{x_1^2 b^2}{6EJl} \left[2 \frac{l-x_i}{b} + \frac{l-x_i}{x_1} - \frac{(l-x_i)^3}{x_1 b^2} \right] \quad (3)$$

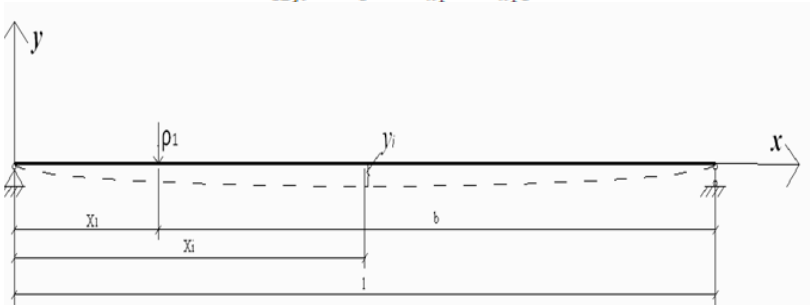


Рис. 4. Схема к определению перемещения от сосредоточенной силы

Выражения для горизонтальных и вертикальных перемещений для второй балки (справа) будут аналогичны выражениям (2) и (3).

Приравнявая перемещения v_i и y_i для балки слева аналогичным перемещениям для балки справа, получим уравнение совместности деформаций в i -той точке конструкции. Составляя такие уравнения для всех n точек комбинированной балки, получим систему $2*n$ уравнений с $2*n$ неизвестными $T_1...T_n, S_1...S_n$.

Далее каждая балка в отдельности рассчитывается как статически определимая балка, на которую действуют внешняя нагрузка и определенные из решения системы уравнений неизвестные усилия $T_1...T_n, S_1...S_n$.

Следует отметить, что описанная методика может быть с успехом применена и в случае, когда слои комбинированной конструкции соединены без использования связей за счет адгезии бетона. В этом случае на боковой поверхности выбирается определенное количество точек, в которых будет учтена совместная деформация слоев и составляется система уравнений совместности деформаций. При этом в составляющих перемещений будет отсутствовать деформация связи в точке ее расположения (п. 5 и 11 в определениях перемещений).

Учет нелинейных свойств материала обоймы и каменной балки, их трещинообразования производится итерационно. При этом на каждом шаге итерации определяется эквивалентная условно упругая жесткость каждого элемента, равная истинной жесткости элемента с трещинами.

В случае, когда железобетонные обоймы устраиваются с обеих сторон каменной кладки, расчет следует производить аналогично выше описанному. Разница состоит в том, что жесткость второй балки (справа на рис. 2) должна быть принята равной суммарной жесткости обеих железобетонных обойм. Жесткость связей также должна быть равна сумме жесткостей связей с двух сторон.

Если изгибаемый элемент короткий, то использование формул сопротивления материалов не правомерно. В таком случае для определения составляющих перемещений по п. 1-11 следует пользоваться методами теории упругости. Однако, для практических расчетов для того, чтобы не решать каждый раз громоздкие задачи теории упругости можно использовать метод аппроксимационных конечных элементов [1]. Для этого следует создать базу данных для горизонтальных и вертикальных перемещений в различных точках балки-стенки при различном расположении нагрузок по ее длине и высоте

Преимуществом предложенного подхода к определению НДС и прочности рассматриваемых конструкций по сравнению с использованием программных комплексов является факт возможности учета трещинообразования по любой из проверенных методик расчета железобетонных и каменных конструкций, а также простота метода, реализуемая в любой математической среде (например, «Mathcad»).

Выводы и перспективы исследований

Разработана методика расчета комбинированной каменной балки, усиленной односторонней железобетонной обоймой, позволяющая без применения программных комплексов рассчитывать названные конструкции с учетом нелинейных свойств материалов и трещинообразования.

В перспективе следует детализировать расчет и разработать программу для реализации методики на ЭВМ, а также экспериментально проверить достоверность методики.

Summary

The principles of calculating reinforced concrete one-sided cage with stone masonry in bending elements are described. The advantages of the proposed method in comparison with the use of software packages are shown.

Литература

1. Азизов Т.Н. Использование аппроксимационных конечных элементов в расчетах конструкций / Т.Н. Азизов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 39, частина 1. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2010. – С. 4-9.
2. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будинків та споруд: Навчальний посібник. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2008. – 108 с.
3. Гриневич Є.О. Підсилення залізобетонних балок локальним обтисненням додатковою зовнішньою арматурою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Є.О.Гриневич. - Х., 2004. – 19 с.
4. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-162:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 97 с.
5. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
6. Мальганов А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук. – Томск: Из-во Томского ун-та, 1992. – 456 с.
7. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.
8. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81*) / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП, 1989. – 152 с.