

К РАСЧЕТУ КАМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ОДНОСТОРОННЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЙМОЙ

Азизов Т.Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Приведен принцип расчета совместной работы железобетонной односторонней обоймы с каменной кладкой в изгибаемых элементах. Показаны преимущества предложенной методики по сравнению с использованием программных комплексов.

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.

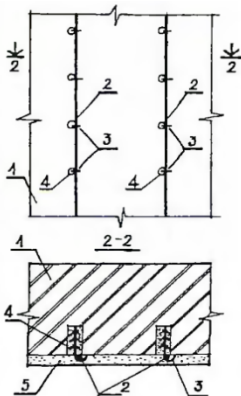


Рис. 1. Усиление каменных конструкций односторонней железобетонной обоймой [9]
1 – усиливаемая стена; 2 – продольная арматура; 3 – поперечные хомуты; 4 – отверстия для хомутов; 5 – штукатурка

Расчет усиления каменных стен обоями 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 односторонней железобетонной обоймой, а также работы по исследованию усиления конструкций из легковесных блоков, усиленных железобетонными обоями, 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).

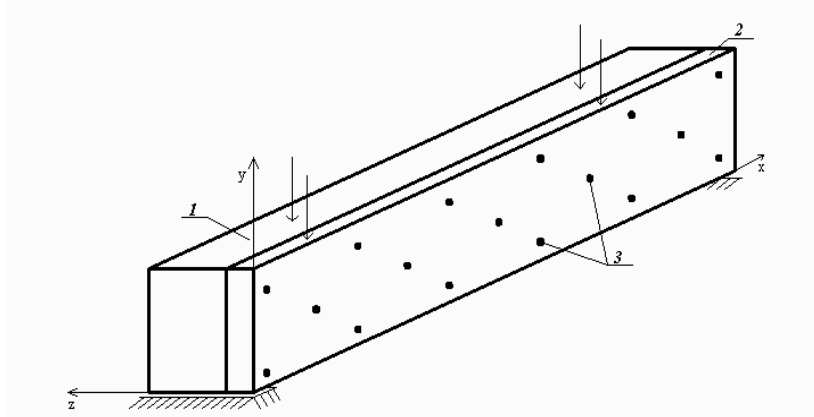


Рис. 2. Схема двухслойного изгибаемого элемента.

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.

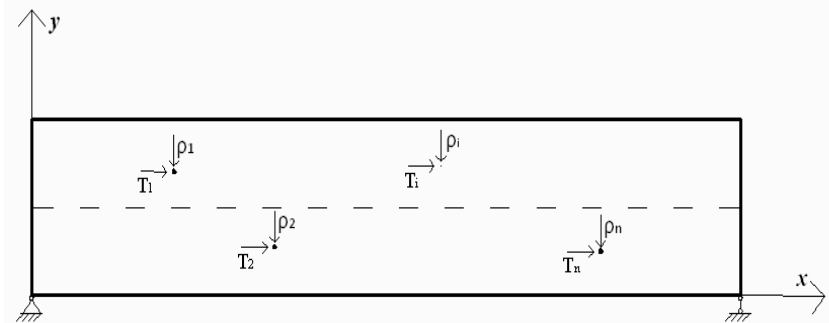


Рис. 3. Схема усилий в связях

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);
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 HOY (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:

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

где $c_{i,j}^t$ 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]:

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

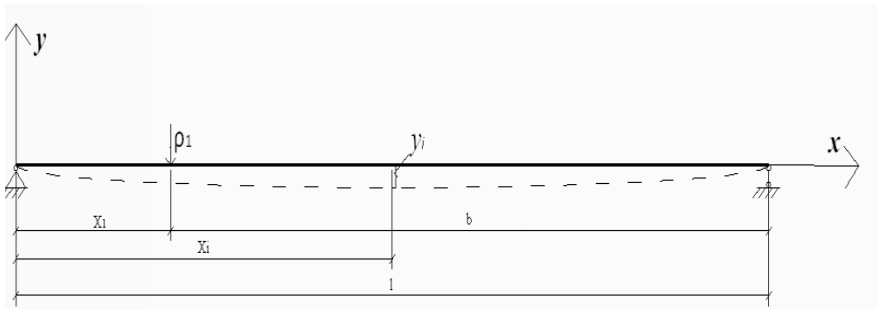


Рис. 4. Схема к определению перемещения от сосредоточенной силы

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 $2 \cdot n$ уравнений с $2 \cdot n$ неизвестными $T_1 \dots T_n, S_1 \dots S_n$.

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

Следует отметить, что описанная методика может быть с успехом применена и в случае, когда слою 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.

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 П-22-81*) / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП, 1989. – 152 с.