

УДК 624.012.45

**РАСЧЕТ КАМЕННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ БОКОВОЙ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЙМОЙ, С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН**

**РОЗРАХУНОК КАМ'ЯНИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ БОКОВОЮ  
ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ОБОЙМОЮ, З ВРАХУВАННЯМ ТРІЩИН**

**CALCULATION OF THE STONE BEAMS, REINFORCED CONCRETE SIDE CLIP,  
TAKING INTO ACCOUNT THE FORMATION OF CRACKS**

**Азизов Т.Н., д.т.н., проф.** (Уманский государственный педагогический университет),

**Мыза А.С.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

**Азізов Т.Н., д.т.н., проф.** (Уманський державний педагогічний університет),

**Миза О.С.** (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

**Azizov T.N., Doctor of Engineering, Professor** (Uman State Pedagogical University),

**Miza A.S.** (Odessa State Academy of Construction and Architecture)

**Приведена методика расчета каменных балок, усиленных боковой железобетонной обоймой с учетом образования трещин. Методика основана на рассмотрении взаимного поворота двух блоков, отделенных трещиной. Показано отличие работы таких балок от традиционных железобетонных и каменных.**

**Наведена методика розрахунку кам'яних балок, підсилених боковою залізобетонною обоймою з врахуванням тріщино утворення. Методика ґрунтується на розгляданні взаємного повороту двох блоків, відокремлених тріщиною. Показані відмінність роботи таких балок від традиційних залізобетонних і кам'яних.**

**The design procedure of stone beams, reinforced concrete side-clip based on the formation of cracks. The technique is based on consideration of the relative rotation of the two units, separated by a crack. Results Unlike the works of such beams from traditional concrete and stone beams.**

**Ключевые слова: балка, блок, трещина, обойма, перемещение.**

**Ключові слова: балка, блок, тріщина, обойма, переміщення.**

**Tags: bar, block, crack, clip, movement.**

**Постановка задачи и анализ исследований.** В литературе [5, 6, 8-10] предлагаются различные способы устройства обойм для усиления. Это односторонние или двусторонние обоймы, которые крепятся к стене, как правило, сквозными хомутами или ершами.

В существующей литературе [5, 6, 8-10 и др.] практически не встречаются работы, в которых рассматривались бы изгибаемые каменные конструкции, усиленные односторонней железобетонной обоймой, а также работы по исследованию усиления конструкций из легкогобетонных блоков, усиленных железобетонными обоймами с точки зрения их работы как изгибаемых элементов.

Вопрос о возможности использования односторонних и двусторонних железобетонных обойм для усиления изгибаемых каменных конструкций, в том числе

конструкций из легковесных блоков сдерживается отсутствием методики расчета таких конструкций. В [1] приведен принцип расчета вышеописанных комбинированных конструкций. В [3] приведена методика расчета, основанная на членении комбинированной конструкции на две составляющие (каменная балка и железобетонная обойма), усилия в связях которой определяются из условия совместности деформаций в местах примыкания балки к обойме. Там же приведен алгоритм расчета таких конструкций. Однако в методике [3] отсутствует учет трещинообразования в каменной балке.

В связи со сказанным **целью настоящей статьи** является развитие методики расчета изгибаемых каменных конструкций, усиленных односторонней железобетонной обоймой, приведенной в [1 и 3] и разработка методики расчета с учетом трещинообразования.

**Изложение основного материала.** В [3] рассмотрен изгибаемый элемент, состоящий из двух слоев (в вертикальной плоскости), соединенных между собой связями в отдельных точках (рис. 1).

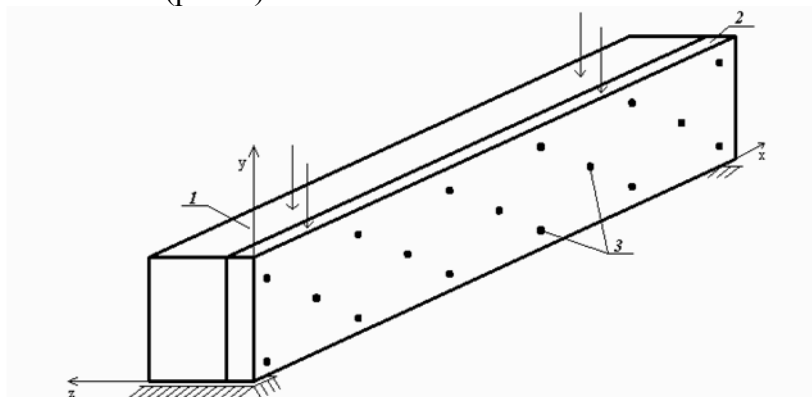


Рис. 1. Схема двухслойного изгибаемого элемента по [1, 9].  
1 – каменная балка; 2 – железобетонная обойма; 3 – связи

Для расчета согласно [1] комбинированная конструкция мысленно рассекается на два отдельных слоя (две балки) по слоям 1 и 2 (см. рис. 1). 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. Эти неизвестные определяются составлением уравнений совместности деформаций (перемещений) для слоя 1 и слоя 2 комбинированной конструкции.

В [3] приведена методика расчета такой конструкции. При этом для определения неизвестных усилий в связях между слоями используются условия совместности деформаций двух слоев в местах их примыкания друг к другу. Эта методика справедлива в том числе и для расчета с учетом трещинообразования, т.к. на каждой стадии итерации можно принять условно постоянную изгибающую эквивалентную жесткость каждого слоя. Если оба слоя комбинированной конструкции армированы, то эта методика вполне приемлема. Однако на практике часто встречается, что каменная часть усиленной конструкции (кирпичная стена, газобетонная стена и т.д.) не армирована. И, как показывают экспериментальные исследования авторов, при образовании трещин в каменной короткой балке она делится на два блока, которые поворачиваются один относительно другого. Поворот происходит относительно центра приложения сжимающей силы над трещиной – условного шарнира (рис. 2).

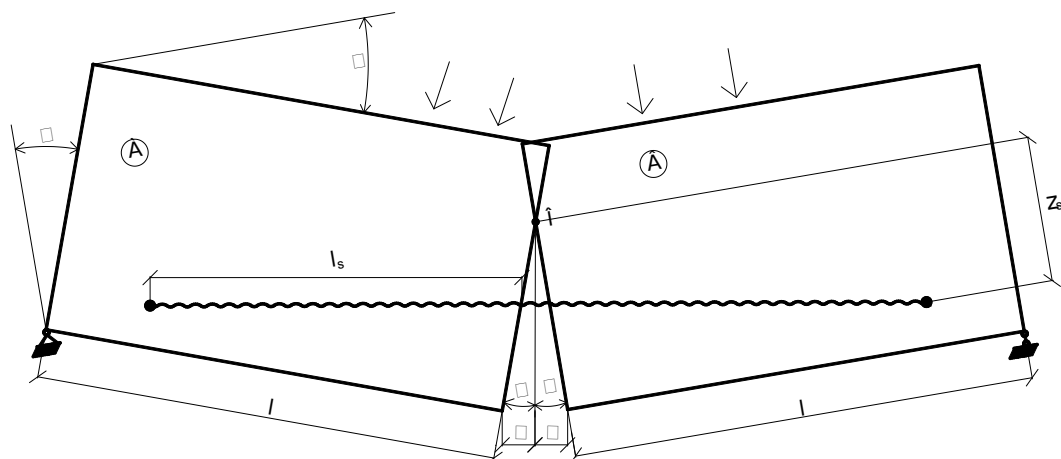


Рис. 2. Схема деформирования блоков, соединенных одной связью

В этом случае рассчитывать элемент как железобетонный (каменный) с нормальными трещинами нельзя, т.к. при такой схеме основными составляющими перемещения будут перемещения от поворота блоков, отделенных трещиной.

Для расчета такой системы рассмотрим сначала расчет двухблочной модели с трещиной, блоки которой соединены упругой связью (арматурой, железобетонной обоймой и т.д.), а в верхней зоне имеют шарнир. Так как система является статически определимой, то усилие  $N$  в связи определится по формуле:

$$N = M_{\text{ext}} / Z_s, \quad (1)$$

где  $M_{\text{ext}}$  – внешний момент,  $Z_s$  – расстояние от связи до шарнира (точки поворота, см. рис. 2). Т.к. усилие в связи известно горизонтальное перемещение блоков от их поворота будет равно

$$\Delta \approx \frac{N l_s}{E A_s} \quad (2)$$

где  $l_s$ ,  $E A_s$  – соответственно длина и осевая жесткость связи (см. рис. 2).

Из геометрических соображений имеем (приблизительно как длина хорды при повороте линии  $Z_s$  на угол  $\alpha$ ):

$$\Delta \approx 2 Z_s \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

Из выражения (3) следует:

$$\alpha \approx 2 \arcsin \left[ \frac{\Delta}{2 Z_s} \right] \quad (4)$$

Когда известен угол поворота  $\alpha$  прогиб (имеется в виду составляющая прогиба от поворота блока как жесткого тела) определится из выражения (см. рис.2):

$$f \approx l \sin \frac{\alpha}{2} \quad (5)$$

Теперь перейдем к собственно расчету комбинированной балки с помощью вышеописанного подхода. Мысленно рассечем все связи между каменной балкой и железобетонной обоймой, оставив только две крайние (например, две нижние крайние справа и слева) связи и заменим действие этих связей неизвестными силами,

направленными по горизонтали  $T_i$  и по вертикали  $S_i$ . В результате получим статически определимую систему с одной связью и шарниром в середине пролета, на которую действует  $n$  неизвестных горизонтальных и  $n$  неизвестных вертикальных сил (рис. 3).

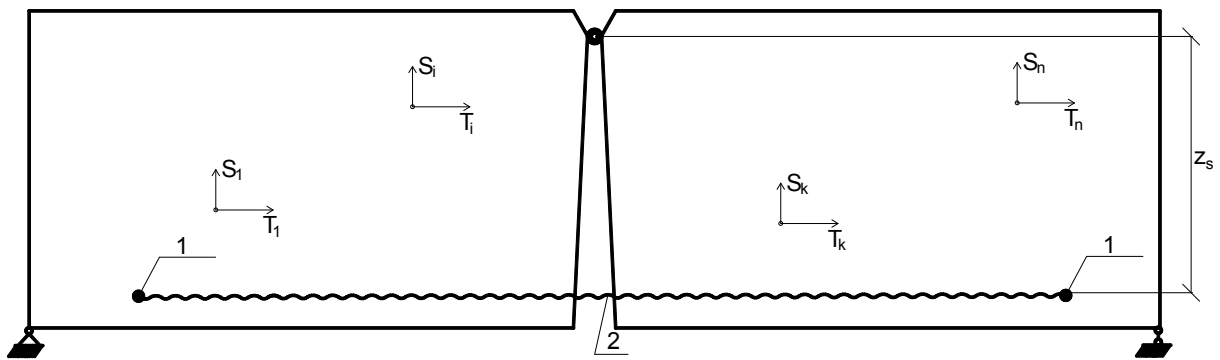


Рис. 3. Приведение конструкции к статически определимой блочно-шарнирной системе  
1 – базовые связи; 2 – затяжка (роль которой играет ж/б балка)

Как показано в [1,3] неизвестные силы в местах рассечения связей определяются из условия совместности деформаций (перемещений) точек каменной балки и железобетонной обоймы в местах расположения этих связей.

Схема определения перемещений  $i$ -той точки в месте расположения  $i$ -той связи показана на рис. 4 (сначала рассматривается без учета перемещения от деформации анкера).

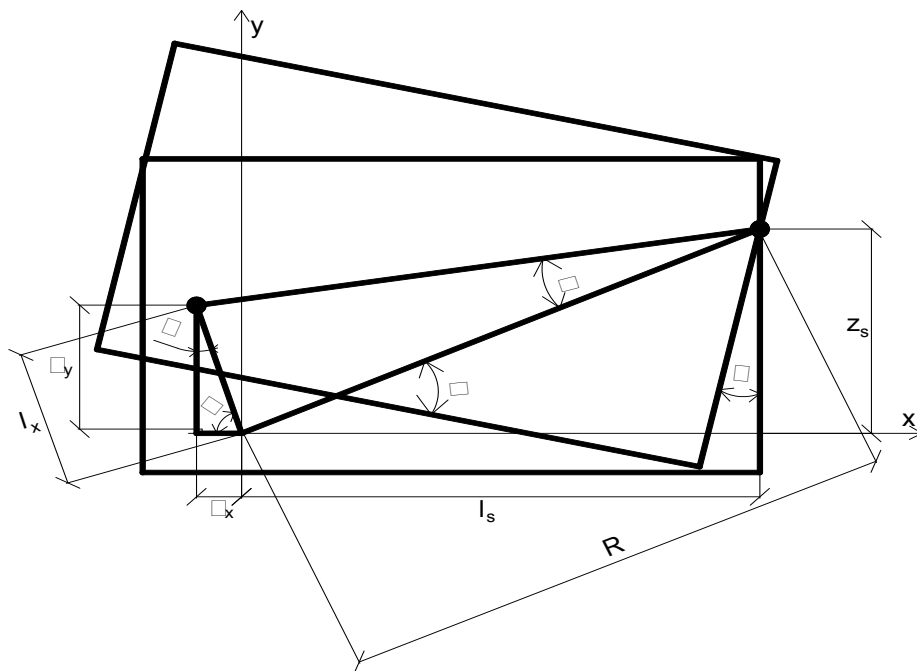


Рис. 4. Схема к определению перемещений точки расположения связи от поворота блока

Т.к. величина  $\Delta$  известна, то угол  $\alpha$  тоже известен (см. выражение 4). Радиус поворота точки  $i$  относительно точки  $O$  равен  $R$  (см. рис. 4). Длина хорды  $l_x$  равна:

$$2 R \sin \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

где  $R$  – расстояние от  $i$ -той точки до центра поворота  $O$  (см. рис. 4).  
 С другой стороны величина  $R$  также является известной величиной:

$$R = \sqrt{l_s^2 + z_s^2} \quad (7)$$

Угол  $\beta$  между радиусом поворота  $R$  и горизонталью:

$$\beta = \text{Arctg} \frac{z_s}{l_s} \quad (8)$$

Из геометрических соображений по рис. 4 имеем:

$$\alpha = 180^\circ - \frac{180^\circ}{2} = 90^\circ \quad (9)$$

$$\alpha = 180^\circ - 90^\circ = 90^\circ \quad (10)$$

Перемещения точки  $i$  по горизонтали  $\Delta x$  и по вертикали  $\Delta y$  соответственно равны:

$$\Delta x = l_x \sin \alpha; \quad \Delta y = l_x \cos \alpha \quad (11)$$

Если считать поворот левого блока по часовой стрелке положительным, то  $\Delta x$  будет иметь отрицательный знак (перемещение влево),  $\Delta y$  - тоже отрицательный знак (перемещение вверх). Для правого блока  $\Delta x$  - положительно, а  $\Delta y$  - отрицательно.

По выражениям (1)-(11) определяются и перемещения от действия неизвестных сил  $S_i$  и  $T_i$ . При этом в качестве условно внешнего момента принимается момент от каждой из этих сил относительно шарнира  $O$  (на рис. 4).

Точку расположения условного шарнира  $O$ , относительно которого поворачиваются блоки следует считать находящейся в месте нулевой точки эпюры нормальных напряжений над трещиной, которую можно определить по известной методике нелинейного расчета, принятой в ДСТУ. При этом за жесткость условной арматуры (связи на рис. 2 и 3) принимается осевая жесткость условного стержня, перемещения по горизонтали которого равны перемещениям железобетонной балки (обоймы), к которой приложено усилие  $N$  в точках расположения анкеров (поз. 1 на рис. 3).

Следует отметить, что перемещения в каменной балке при относительно больших пролетах можно определить методике определения перемещений железобетонных балок, не имеющих сцепления арматуры с бетоном [11], а также с использованием блочной модели по [4, 7] но с учетом деформаций анкеров (связей) по [3].

К перемещениям от поворота блоков следует добавить перемещения от деформации самих блоков (по известной теории изгиба балок), а также перемещения от деформации анкеров (связей) по методике [1,3] в каждой точке расположения связи от неизвестных сил  $T_i$  и  $S_i$ .

Система уравнений получается из приравнивания перемещений каменной балки и железобетонной обоймы в точках расположения связей.

После решения системы уравнений каждая балка (каменная и железобетонная) рассматривается отдельно с приложенной к ней внешней нагрузкой и усилий в связях, определенных по приведенной выше методике.

Следует отметить, что во всех вышеприведенных формулах предполагается плоская задача, т.е. условно боковая железобетонная обойма и каменная балка находятся в одной плоскости. Это справедливо, когда обойма двусторонняя (расположена симметрично по обоим боковым граням каменной балки). Если обойма односторонняя, то в результате внецентренного приложения усилия к граням каменной балки и железобетонной обоймы в них возникают еще и изгибающие моменты в перпендикулярном направлении, а также крутящие моменты, которые оказывают влияние на перемещения в точках расположения анкеров. Этот факт следует учитывать. Однако, как показывают предварительные расчеты, этот фактор оказывает не существенное влияние на перемещения рассматриваемых точек каменной и железобетонной балки, т.е. не сильно влияет на величины искомых усилий в связях. Учет одностороннего приложения усилий в анкерах является предметом дальнейших исследований

Разработанный алгоритм расчета, основанный на методике [1,3], позволяет рассчитывать каменные балки, усиленные боковой железобетонной обоймой, что в свою очередь позволяет проводить детальный анализ эффективности усиления при варьировании различных факторов с точки зрения подбора необходимой проектировщику толщины обоймы, количества и диаметра анкеров, связывающих обойму с усиливаемым каменным изгибаемым элементом.

#### **Выводы и перспективы исследований.**

Разработана методика расчета комбинированной каменной балки, усиленной односторонней железобетонной боковой балкой (обоймой). Главная цель этого расчета состоит в определении усилий в анкерах, связывающих каменную и железобетонную балки между собой. После определения усилия в анкерах каждый элемент комбинированной конструкции рассматривается как отдельная балка с приложенными к ней внешними нагрузками и определенными из решения задачи усилиями в анкерах. Разработанная методика позволяет проводить детальный анализ эффективности усиления при варьировании различных факторов без применения программных комплексов.

В перспективе предполагается учесть изгибающие моменты в поперечном направлении и крутящие моменты при расположении железобетонной балки усиления только с одной стороны.

1. Азизов Т.Н. К расчету каменных элементов, усиленных односторонней железобетонной обоймой / Т.Н. Азизов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 61 – Одеса: ОДАБА, 2016. – С. 3-8.

2. Азизов Т.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами / Т.Н. Азизов // Дороги і мости. Збірник наукових праць. Вип. 7. Том 1. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – С. 3-8.

3. Азизов Т.Н. Каменные балки, усиленные односторонней железобетонной обоймой / Т.Н. Азизов, А.С. Мыза // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 32., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2016. – С. 428-435.

4. Белов В.В. Силовое сопротивление массивных бетонных и железобетонных конструкций с трещинами и швами / Автореф. дисс. докт. техн. наук. 05.23.01. – Санкт-Петербург, 1998. – 33 с.

5. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будинків та споруд: Навчальний посібник. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2008. – 108 с.
6. 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.
7. Иваненко А.Н. Раскрытие трещин в железобетонных элементах с учетом сопротивления их развитию / дисс. канд. наук. 05.23.01 – Сочи, 2015. – 156 с.
8. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-162:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 97 с.
9. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
10. 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.
11. Образцов Л.В. Исследование железобетонных предварительно напряжённых балок без сцепления арматуры с бетоном на действие изгибающего момента и поперечной силы: дис. . канд. техн. наук. -Л. 1980. -196с.