

УДК 624.012.45

НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ШТУЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАМКНУТОЙ ОБОЙМЕ

НЕЛІНІЙНИЙ РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ З ШТУЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАМКНЕНІЙ ОБОЙМІ

Азизов Т.Н., д.т.н., проф., Иваницкий А.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Азізов Т.Н., д.т.н., проф., Іваницький О.В. (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Azizov T.N., Doctor of Engineering, Profesor, Ivanycky A.V. (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

Приведена методика расчета конструкций из штучных материалов в гибкой замкнутой обойме с учетом нелинейных свойств материалов. Расчет основан на диаграммном методе.

Наведена методика розрахунку конструкцій з штучних матеріалів в гнучкій замкненій обоймі з врахуванням нелінійних властивостей матеріалів. Розрахунок ґрунтується на діаграмному методі.

The methods of structural analysis of piece goods in flexible closed cage with the a non-linear material properties. The calculation is based on the diagram technique.

Постановка и задачи исследований.

Каменные конструкции из штучных элементов в замкнутой обойме имеют определенные преимущества по сравнению с конструкциями с обычным армированием. Это в первую очередь возможность работы при действии моментов разных знаков [1, 2, 3], возможность отказа от сложных анкерных устройств, простота изготовления, возможность эффективного использования кирпичных стен в качестве изгибаемых конструкций при усилении.

В [3, 4] методика расчета развита на предварительно напряженные конструкции. В [5] разработана методика учета трения между обоймой и элементами кладки, что существенно уточняет истинное напряженно-деформированное состояние системы.

Для конструктивного расчета требуется определение несущей способности и жесткости таких элементов с учетом трещинообразования.

В связи с этим **целью настоящей статьи** является разработка методики расчета несущих конструкций из штучных материалов в замкнутой обойме с учетом трещинообразования и нелинейных свойств материалов.

Изложение основного материала.

Конструкция из штучных материалов, по периметру которой расположена замкнутая обойма показана на рис. 1 [2].

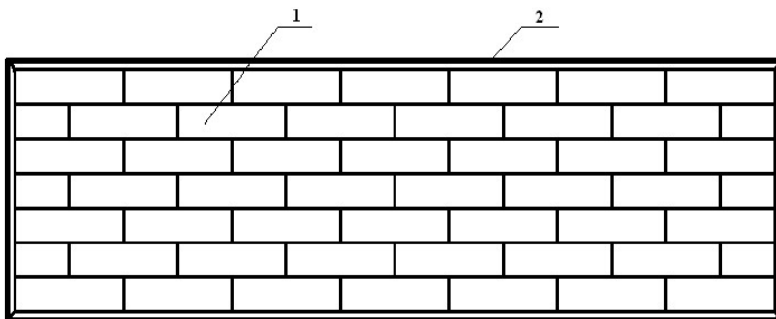


Рис. 1. Схема несущей конструкции из штучных элементов с замкнутой обоймой. 1- штучные элементы; 2- замкнутая обойма.

Усилия в обойме определяются из условия совместной работы кладки и обоймы по аналогии с [7]. При этом перемещения нижнего угла кладки (балки) от ее изгиба равны :

$$\Delta = h \cdot \varphi \cdot 2 \quad (1)$$

где φ - угол поворота балки в опорном сечении, определяемый с использованием реальных диаграмм деформирования каменной кладки; h - половина высоты сечения балки.

Однако, для вычисления усилий следует учитывать и силы трения между кладкой и обоймой.

Если коэффициент трения металла о кирпич принять $k_{tr} = 0.25$ и рассмотреть для примера балку, нагруженную по середине пролета сосредоточенной силой P , то расчет системы следует производить в следующем порядке.

Обозначим через F усилие в обойме от предварительного напряжения; через P - усилие в обойме от действия внешней нагрузки

Учитывая, что на этом этапе при определении усилий в обойме задача считается условно упругой, то по методике [4, 5] с учетом трения между кладкой и обоймой достаточно просто найти суммарную продольную силу (от усилия в обойме в верхней и нижней частях обоймы) N_{tot} и суммарный

момент M_{tot} от действия как усилий обжатия, так и от внешней нагрузки. При нагружении балки по середине пролета, эти величины будут определяться по выражениям:

$$N_{tot} = 1.28F + 0.605P;$$

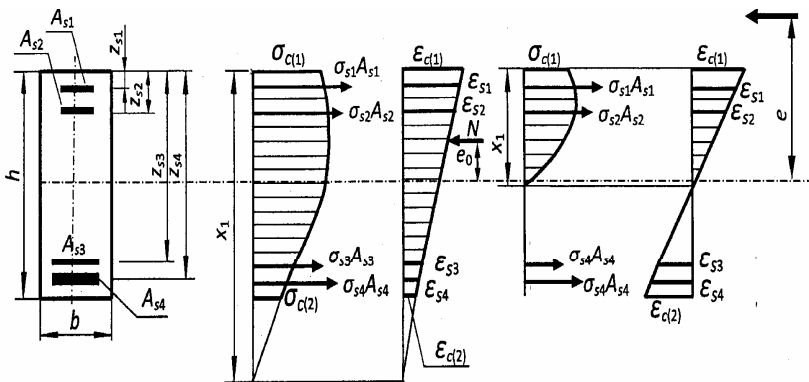
$$M_{tot} = M_x - \frac{h}{2}(0.32F + 0.151P) \quad (2)$$

где M_x - балочный изгибающий момент в рассматриваемом сечении.

Для определения углов поворота и перемещений кладки с учетом нелинейных свойств последней воспользуемся подходом, принятым при расчете железобетонных конструкций с учетом диаграмм деформирования бетона.

Для расчета поперечное сечение балки (кладки) разобьем на n частей. Задача решается итерационно по аналогии с ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [6] с некоторыми отличиями, о которых будет идти речь ниже. На первом шаге задается величина деформаций в наиболее сжатой грани ϵ_b (на рис. 2 эта величина обозначена $\epsilon_{c(1)}$) как определенная доля максимальных деформаций. Деформация на нижней грани ϵ_t (на рис. 2 эта величина обозначена $\epsilon_{c(2)}$) принимается для первого шага равной нулю. Затем определяется кривизна в сечении (см. рис. 2 из [6]):

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_b - \epsilon_t}{h} \quad (3)$$



После этого определяется величина внутренней продольной силы:

$$N = b \cdot a \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i + \sigma_s A_s \quad (4)$$

Далее определяем момент внутренних сил в сечении

$$M_{\text{int}} = b \cdot a \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i Z_i + \sigma_s A_s Z_s \quad (5)$$

Затем проверяется условие:

$$M_{\text{int}} < N \cdot e, \quad (6)$$

где (см. рис. 2) $e = X - y + e_0$, Y - расстояние от центра тяжести сечения до наиболее сжатой фибры [6].

Если условие выполняется, то в сечении возникают растягивающие напряжения и для дальнейших итераций увеличиваются деформации на растянутой грани $\varepsilon_t = \varepsilon_t + \Delta\varepsilon_t$ и расчет повторяется. Если условие (6) не выполняется, то все сечение сжато и для дальнейших итераций уменьшаются деформации растяжения (увеличиваются деформации сжатия) на менее сжатой грани $\varepsilon_t = \varepsilon_t - \Delta\varepsilon_t$. Итерации продолжаются до тех пор, пока не нарушится неравенство (6) в ту или другую сторону в зависимости от случая полностью сжатого сечения или сечения, в котором есть и сжимающие, и растягивающие напряжения.

При достижении конца итераций будет получена первая точка диаграммы «момент-кривизна». Для получения следующих точек диаграммы нужно увеличить величину деформаций ε_b на более сжатой грани и повторить итерационный расчет.

Напряжения в i -том бетонном слое и в арматуре в выражениях (4) и (5) определяются в зависимости от деформаций в этом слое

$$\sigma_i = \varepsilon_i E_i \quad (7)$$

Переменный модуль деформаций E_i рекомендуется определять по известной методике, учитывающей уменьшение модуля при увеличении уровня напряжений [8]:

$$E = E_0 \left(1 - \frac{\sigma}{1.1 \cdot R_u} \right), \quad (8)$$

где R_u – временное сопротивление кладки, определяемое по нормам.

Жесткость элемента в рассматриваемом сечении определяется из построенной диаграммы «момент-кривизна» по формуле:

$$B_{crc} = \frac{M}{1/\rho} \quad (9)$$

где величины M и $1/\rho$ берутся из вышеприведенной диаграммы.

Задача решается следующим образом. Балка разбивается по длине на определенное количество участков (достаточно десяти). На каждом участке определяется жесткость по вышеприведенной методике. Далее с помощью интеграла Мора или по правилу Верещагина определяется прогиб в середине пролета. Далее определяется фиктивная жесткость условно упругого элемента, прогиб в середине пролета которого равен прогибу реального элемента, определенного по вышеприведенной методике.

Условие совместности деформаций балки и обоймы записывается аналогично [7] из условия, что реально относительное перемещение обоймы и балки равно нулю:

$$\delta_x - \delta_q + \delta_m + \Delta_x = 0 \quad (10)$$

где δ_q - перемещение от изгиба внешней нагрузкой ; δ_M - перемещение от изгиба моментом от действия торцевых сил ; Δ_x - перемещение от укорочения балки силами, приложенными в торце.

Так, например, при действии сосредоточенной силы P на середину балки усилие в обойме будет равно [4, 5]

$$N = \frac{B}{A + C + D} \quad (11)$$

где приняты обозначения:

$$A = \frac{l \cdot K_{ob}}{EA}; \quad B = \frac{Pl^2 \cdot h}{8E_b J_b} \quad (12)$$

$$C = \frac{l \cdot h^2}{E_b J_b} \left[1 - \frac{(1 - K_t)^2}{1 + K_t} \right] \quad (13)$$

$$D = \frac{l}{E_b A_b} \left[1 - \frac{(1 - K_t)^2}{1 + K_t} \right] \quad (14)$$

где l - полная длина балки; K_{ob} - коэффициент обоймы, определяемый по [5] и учитывающий трение обоймы в углах конструкции; h - высота сечения балки; K_t - коэффициент трения материала обоймы о кладку; EA - осевая жесткость обоймы; $E_b J_b$ - изгибная жесткость условно упругого

элемента кладки, определяемая по вышеприведенной методике; $E_b A_b$ - осевая жесткость кладки.

После определения N остальные составляющие эпюры усилий в обойме вычисляются по [5]. Далее, имея реальную жесткость элемента и величины приложенных усилий к его торцам от обоймы деформативность и прочность определяются по известным методикам.

Выводы и перспективы исследований. Предложена методика расчета несущей конструкции из штучных элементов с замкнутой обоймой с учетом нелинейной работы материала кладки. Задача решается итерационным методом. На каждом шаге итерации конструкция рассматривается как условно упругая, перемещения в которой равны истинным перемещениям балки с трещинами. При этом при определении усилий в обойме с учетом трения обоймы о кладку на каждом шаге итераций кирпичная кладка рассматривается как условно упругий элемент. Простота расчета заключается в объединении известных методик [6] (для определения жесткости рассматриваемого сечения с учетом нелинейных свойств кладки) и [4, 5] (для определения усилий в обойме с учетом предварительного напряжения и трения), которое достаточно просто реализуется в программах на ЭВМ.

В перспективе предполагается разработка программы на ЭВМ для проектирования таких конструкций и экспериментальная проверка разработанной методики расчета.

1. Азизов Т.Н. Использование стеклопластиковой обоймы для создания изгибаемых конструкций из штучных элементов / Т.Н. Азизов // Современные строит. констр.из металла и древесины// Сб.научн. тр. ОГАСА. - №15. Часть 2, Одесса,2011. – С. 24-28. 2. Азизов Т.Н. Учет совместной работы каменной кладки с монолитным железобетонным поясом / Т.Н. Азизов // Реставрація, реконструкція, урбоєкологія RUR-2011. Щорічник південно-українського національного комітету ICOMOS/ Одеса: Optimum, 2011. – С. 190-196. 3. Азизов Т.Н. К расчету несущих конструкций из штучных материалов в замкнутой обойме/ Т.Н. Азизов, А.В. Иваницкий //Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 47 – Одеса: овнішрекламсервіс, 2012. – С. 11-15. 4. Азизов Т.Н. Расчет несущих конструкций из штучных элементов в замкнутой предварительно напряженной обойме Т.Н. Азизов, А.В. Иваницкий //Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 24., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2012. – С. 55-61. 5. Азизов Т.Н. Учет трения при расчете конструкций в замкнутой обойме/ Т.Н. Азизов, А.В. Иваницкий // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 25., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2013. – С. 180-187. 6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 117 с. 7. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М., Л.: Стройиздат, 1965. – 342 с. 8. Ротко С.В. Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій / С.В. Ротко, О.А. Ужєгова, І.В. Задорожнікова. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ Луцького національного технічного університету, 2010. – 355 с.