

УДК 624.012.45

Азизов Т.Н., Иваницкий А.В.

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ШТУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГИБКОЙ ЗАМКНУТОЙ ОБОЙМЕ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Приведена методика расчета прочности и жесткости изгибаемых конструкций, состоящих из каменной кладки в пластиковой или металлической обойме с учетом предварительного напряжения обоймы, трения между обоймой и кладкой и нелинейных свойств материалов

Ключевые слова: изгибаемый элемент, замкнутая обойма, нелинейные свойства, прочность, жесткость

The methodology of calculating the strength and stiffness of flexible structures consisting of masonry in a plastic or metal cage with the prestressing clips, friction between the collar and the padding and the nonlinear properties of materials

Keywords: flexural members, a closed cage, non-linear properties, strength, toughness

В [1, 2] показано преимущество каменных конструкций в гибкой замкнутой обойме из стали или пластиковых полос. На сегодняшний день имеется методика предварительного расчета таких конструкций. В [3, 4] методика расчета развита на предварительно напряженные конструкции. В [5] авторами разработана методика расчета конструкций в замкнутой обойме с учетом трения обоймы о каменную кладку, что накладывает отпечаток на напряженно-деформированное состояние таких конструкций. Все вышеприведенные работы имеют цель решения частных задач. В настоящее

время отсутствует алгоритм расчета конструкций в замкнутой обойме, работающих на действие изгибающего момента

В связи с этим **целью настоящей статьи** является разработка методики расчета несущих конструкций из штучных материалов в замкнутой обойме с учетом трения, нелинейных свойств материалов и разработка алгоритма конструктивного расчета таких конструкций, а также рекомендации по изготовлению и применению таких конструкций в качестве перемычек.

Изложение основного материала. Предлагаемые балки в замкнутой обойме представляют собой обычную кладку из кирпича или легкого бетонных блоков, по периметру которой натянута замкнутая обойма из стальных полос или полипропиленовых лент [1, 2].

Для конструктивного расчета системы следует сначала определить усилия в верхней и нижней частях обоймы с учетом трения от усилия предварительного напряжения и от внешней нагрузки.

Обозначим усилие предварительного напряжения обоймы через F , внешнюю вертикальную нагрузку – через P . В общем случае на балку из штучных элементов действуют усилия, показанные на рис. 1.

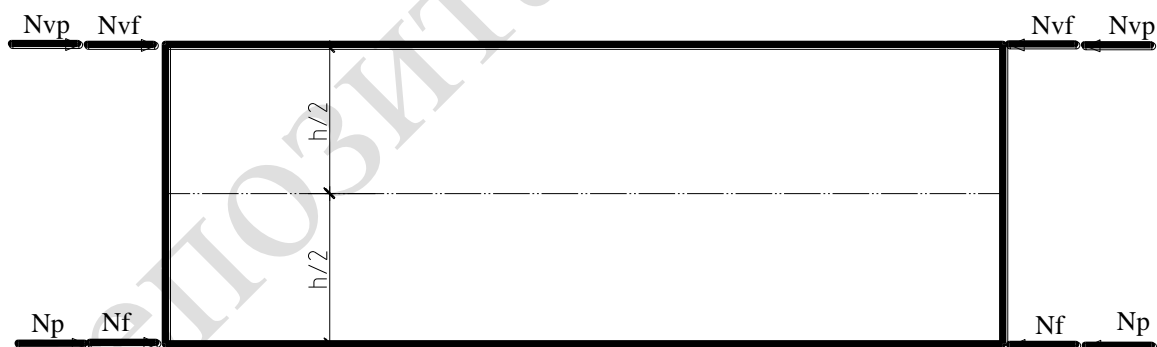


Рис. 1. Усилия, передающиеся на балку от замкнутой обоймы

У верхней грани – усилие в верхней ветви от предварительного натяжения обоймы N_{VF} и от действия внешней нагрузки N_{VP} . У нижней грани действуют усилия в нижней ветви обоймы от предварительного натяжения N_F и усилие от внешней нагрузки N_P .

Усилия от предварительного напряжения определяются по методике авторов [4]. При этом заданными величинами являются усилие натяжения в нижней ветви обоймы $F = N_n$ и коэффициент трения стали о кирпич K_{tr} , который согласно СНиП составляет 0.45 в сухом состоянии и 0.35 – во влажном состоянии кладки.

Для простоты пояснения алгоритма расчета приведем конкретный пример. Пусть имеется балка, состоящая из кирпича марки 200 на растворе марки 100. Высота сечения 355 мм (7 рядов кладки), ширина сечения – 250 мм (длина кирпича). Согласно СНиП II-22-81 при таких характеристиках будем иметь: Прочность кладки $R=2.7$ МПа; упругая характеристика кладки $\alpha=1000$. $R_U = K \cdot R=2 \times 2.7=5.4$ МПа. Начальный модуль упругости кладки $E_0 = \alpha \cdot R_U=5400$ МПа.

Обойма из стальной полосы 40x4 мм с расчетным сопротивлением $R_s=245$ МПа. Усилие предварительного напряжения обоймы $F = N_n=29$ кН; коэффициент трения стали о кладку $K_{tr}=0.45$. Алгоритм определения усилий в обойме разработан на основе методики авторов [5].

1. Определяем силу трения в нижней ветви обоймы:

$$F_{tn} = \frac{N_n}{1 + \frac{1}{k_t}} = 9000 \text{ Н} \quad (1)$$

2. Определяем силу трения в нижней боковой части балки:

$$F_{tbn} = (N_n - F_{tn}) \cdot k_t = 9000 \text{ Н} \quad (2)$$

3. Определяем усилие в боковой ветви обоймы:

$$N_b = N_n - F_{tn} - F_{tbn} = 11000 \text{ Н} \quad (3)$$

4. Определяем силу трения в верхней торцовой части кладки (балки):

$$F_{tbv} = \frac{N_b}{1 + \frac{1}{k_t}} = 3413.5 \text{ Н} \quad (4)$$

5. Определяем силу трения в верхней горизонтальной части:

$$F_{tv} = (N_b - F_{tbv}) \cdot k_t = 3413.5 \text{ Н} \quad (5)$$

6. Определяем усилие в верхнем поясе обоймы

$$N_v = N_b - F_{tbv} - F_{tv} = 4173 \text{ Н} \quad (6)$$

7. Определяем усилие, передающееся от обоймы на кладку, как обжимающее ее верхнюю грань

$$N_{VF} = N_b - F_{tbn} = 11000 - 3413.5 = 7586 \text{ Н} \quad (7)$$

8. Усилие, передающееся от обоймы на кладку как обжимающее ее нижнюю грань

$$N_F = N_b + F_{tbn} = 11000 + 9000 = 20000 \text{ Н} \quad (8)$$

Для вычисления составляющих усилий от действия внешней поперечной нагрузки воспользуемся методикой [5]. В качестве исходных данных кроме указанных выше здесь еще будем иметь: длина балки $L=165$ см; высота ее сечения $h=355$ мм; ширина сечения $b=247$ мм; расстояние от торца до оси опоры $C=75$ мм; модуль упругости $E_b=5400$ МПа; сечение обоймы $A_s=1.6$ см²; нагрузка (в нашем случае сила $P=1000$ Н в середине пролета).

Алгоритм расчета выглядит так:

1. Вычисляем момент инерции сечения балки $J = b \cdot h^3 / 12 = 92087$ см⁴.
2. Вычисляем площадь поперечного сечения балки $A = 877$ см².
3. Вычисляем расчетный пролет $l = L - 2 \cdot C = 1500$ мм.
4. По [5] вычисляем коэффициент обоймы

$$K_{ob} = 1 - K_t + \frac{(1 - K_t)^2}{1 + K_t} + \frac{2C}{l} \cdot \left(2 + 2 \frac{1 - K_t}{1 + K_t} + 1 - K_t \right) = 1.595 \quad (9)$$

5. Вычисляем усилие в нижней ветви обоймы

$$N_P = \frac{B}{A + C + D} = 287 \text{ Н} \quad (10)$$

где

$$A = \frac{l \cdot K_{ob}}{EA}; \quad B = \frac{Pl^2 \cdot h}{8E_b J_b}; \quad (11)$$

$$C = \frac{l \cdot h^2}{E_b J_b} \left[1 - \frac{(1 - K_t)^2}{1 + K_t} \right]; \quad D = \frac{l}{E_b A_b} \left[1 - \frac{(1 - K_t)^2}{1 + K_t} \right] \quad (12)$$

6. Вычисляем усилие в верхней ветви обоймы

$$N_{vp} = N_p \frac{1 - K_t}{1 + K_t} = 109 \text{ Н} \quad (13)$$

Здесь следует сделать примечание, что в силу того, что на данном этапе решается упругая задача, сила $P=1000 \text{ Н}$ принята условно для определения усилий N_p и N_{vp} . Так, в нашем случае получается (см. (10) и (13)):

$$N_p = 0.287P; N_{vp} = 0.109P \quad (14)$$

Так же, при действии усилия предварительного натяжения имеем (см. (7) и (8)):

$$N_{VF} = 0.261F; N_F = 0.69F \quad (15)$$

Зная усилия N_{VF}, N_{VP}, N_F, N_p , определяем суммарную продольную силу:

$$N_{tot} = N_{VF} + N_{VP} + N_F + N_p \quad (16)$$

Далее определяем изгибающий момент от действия поперечной нагрузки и усилий в обойме. Для пояснения рассмотрен расчет при действии сосредоточенной нагрузки в середине пролета балки (суть расчета при действии других схем нагрузки не изменяется, а изменяются лишь формулы расчета).

Изгибающий момент от внешней нагрузки определится по известным формулам сопротивления материалов

$$M_x = \frac{Pl}{2}x \quad (\text{при } 0 \leq x \leq l/2; \quad M_x = \frac{Pl}{2}x - P(x - l/2) \quad (\text{при } l/2 \leq x \leq l) \quad (17)$$

Учитывая выражения (14)-(15) будем иметь:

$$N_{tot} = 0.287P + 0.69F + 0.109P + 0.261F = 0.396P + 0.951F \quad (18)$$

Далее для рассматриваемого по длине балки сечения определяем изгибающий момент от внешней нагрузки по (17).

После этого вычисляем суммарный момент от действия внешней нагрузки M_x и от усилий в верхней и нижней ветвях обоймы по формуле:

$$M_{tot} = M_x + N_{VF} + N_{VP} \frac{h}{2} - N_F + N_p \frac{h}{2} \quad (19)$$

Так, в рассматриваемом случае с учетом вышеприведенных выражений будем иметь

$$M_{tot} = M_x - 0.429F \frac{h}{2} - 0.178P \frac{h}{2} \quad (20)$$

Далее определяем расчетный эксцентриситет для рассматриваемого сечения:

$$e = \frac{M_{tot}}{N_{tot}} \quad (21)$$

Таким образом мы получили схему внецентренно сжатого каменного элемента, который рассчитывается с учетом нелинейных свойств кладки по методике, приведенной в [6]. Эта методика основана на диаграммном методе, принятом в современных нормах Украины по расчету железобетонных конструкций. Отличие состоит в различных диаграммах работы бетона и каменной кладки.

Рассмотрим теперь применение перемычек из легкобетонных блоков в замкнутой гибкой обойме. Известно, что железобетонные перемычки обладают весьма низкими теплозащитными свойствами. В связи с этим в домах из легкобетонных блоков предусматривают различные конструктивные мероприятия, включая использование U-образных легкобетонных элементов, в которые укладывается арматура и заливается тяжелый бетон. Как показывает практика строительства, такая конструкция перемычки имеет ряд недостатков. Во-первых, ее теплозащитные свойства все равно остаются значительно более низкими, чем сам газобетонная стена; во-вторых, при внутренней отделке при попытке крепления карнизов и т.п. элементов защитный слой U-образных элементов легко отламывается.

Решением проблемы использования железобетонных перемычек может быть перемычка из газобетонных блоков (из которых выполняется сама стена), изготовленных с использованием замкнутых обойм, полученных с помощью пластиковых упаковочных лент.

На рис. 2 показана схема перемычки из газобетонных блоков в двух вариантах: без перевязки швов (одиночные блоки) и с перевязкой швов (из тонких газобетонных блоков).

Особенностями расчета таких перемычек является требование, что кроме расчета прочности, приведенного выше, следует проводить расчет требуемого усилия предварительного напряжения обоймы, достаточного для восприятия поперечной силы по неперевязанному сечению.

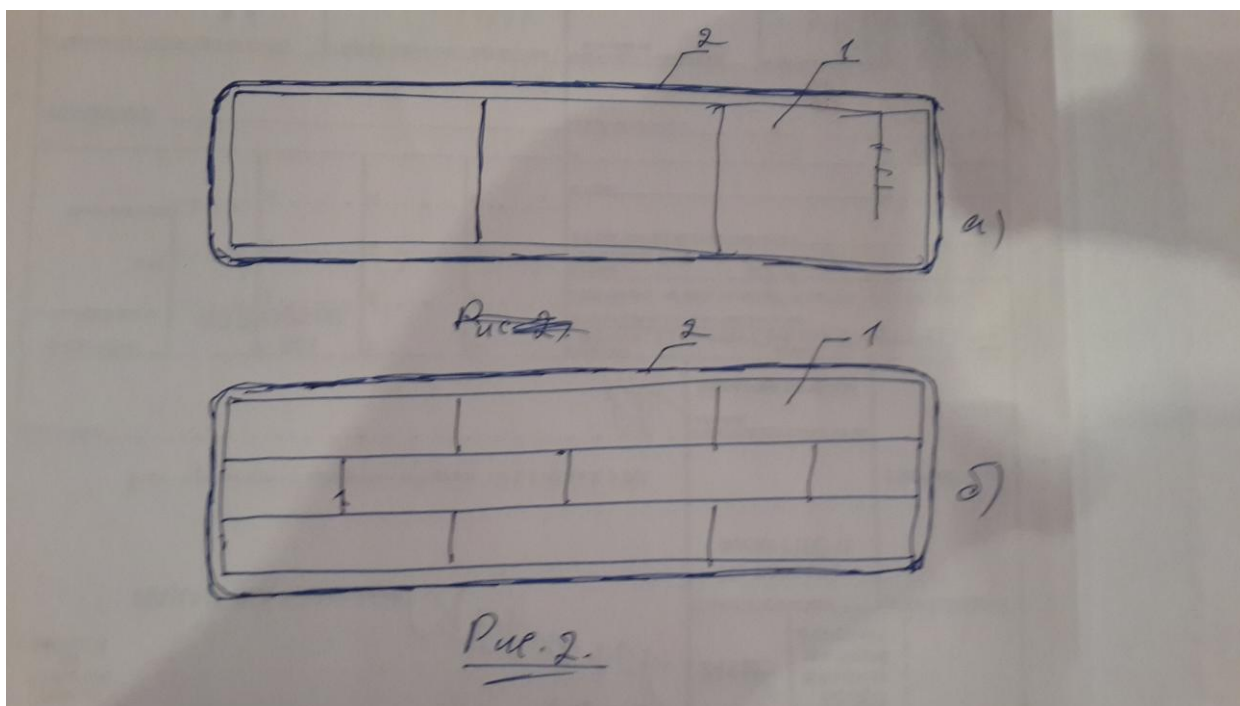


Рис. 2. Схема газобетонных перемычек в замкнутой обойме: а) – без перевязки швов; б) – с перевязкой швов. 1 – газобетонные блоки, 2 – замкнутая преднапряженная обойма из полипропиленовой ленты

Экспериментальные исследования авторов показали преимущества второго варианта изготовления перемычек (по рис. 2, б) по сравнению с вариантом без перевязки блоков. Однако и перемычка без перевязки блоков способна нести нагрузку, достаточную для восприятия веса конструкций, расположенных над перемычкой до устройства монолитного пояса по верху стен этажа. В перемычках, устроенных без перевязки швов рекомендуется принимать такое усилие предварительного напряжения обоймы, чтобы она работала без трещин. В перемычках с перевязкой швов можно допустить образование трещин.

В произвольном сечении перемычки суммарная продольная сила N_{tot} , умноженная на коэффициент трения кирпича о кирпич (газоблока о газоблок) должна быть не меньше поперечной силы в сечении. Следует также отметить, что при отсутствии нормальной трещины это требование также будет справедливым.

Экспериментальные исследования, проведенные авторами, показали, что прочность перемычки из газобетонных блоков не очень велика в связи с достаточно малой прочностью самих блоков. Так как изготовление таких перемычек с использованием стеклопластиковых лент достаточно просто, то для увеличения их несущей способности предлагается комбинированная перемычка (рис. 3), в которой верхний слой выполнен из обыкновенного кирпича.

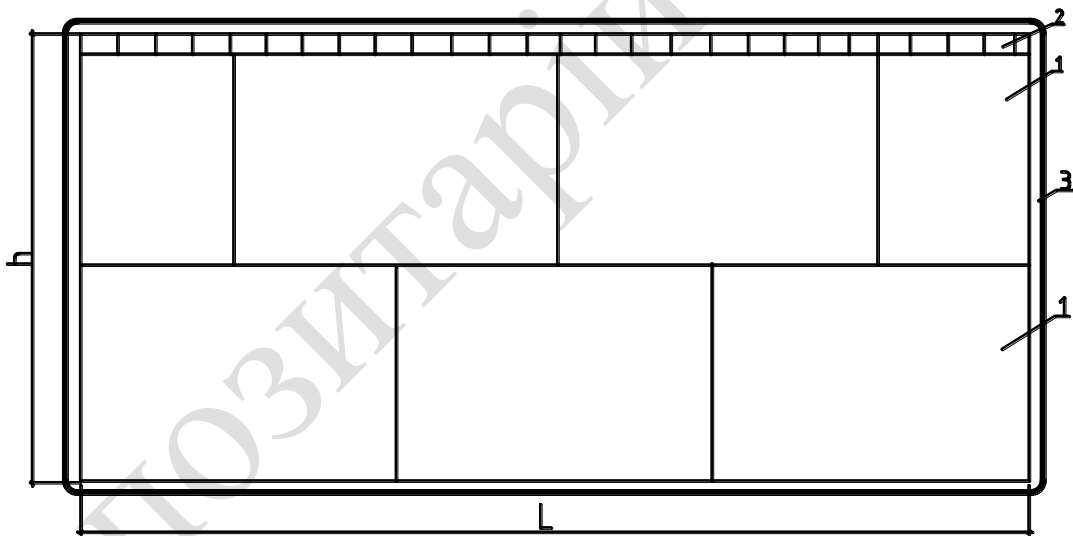


Рис. 3. Схема комбинированной перемычки в замкнутой обойме. 1 – газобетонные блоки; 2 – кирпич обыкновенный; 3 – замкнутая предварительно напряженная обойма из полипропиленовой ленты

Прочности верхнего слоя кирпича с большим запасом достаточно для обеспечения несущей способности комбинированной перемычки. Однако, при

этом следует иметь в виду возможность отрыва верхнего кирпичного слоя от легкобетонных блоков.

Выводы и перспективы исследований.

Изгибаемые конструкции из штучных элементов в гибкой замкнутой предварительно напряженной обойме являются достаточно простыми в изготовлении. Они могут быть использованы в качестве перемычек, изготавливаемых непосредственно на строительной площадке, и не требующих применения опалубки.

Расчет изгибаемых каменных элементов в замкнутой предварительно напряженной обойме сводится к расчету внецентренно сжатого элемента с учетом нелинейных свойств материалов. Усилия в обойме определяются с учетом предварительного напряжения, трения обоймы о кладку, нелинейных свойств материалов по приведенному в статье алгоритму.

Перспективой исследований является экспериментальная проверка разработанных конструкций и методики их расчета.

Источники:

1. Азизов Т.Н. Использование стеклопластиковой обоймы для создания изгибаемых конструкций из штучных элементов // 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 // Реставрація, реконструкція, урбоекологія RUR-2011. Щорічник південно-українського національного комітету ICOMOS/ Одеса: Optimum, 2011. – С. 190-196.

3. Азизов Т.Н., Иваницкий А.В. К расчету несущих конструкций из штучных материалов в замкнутой обойме //Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 47 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012. – С. 11-15.

4. Азизов Т.Н., Иваницкий А.В. Расчет несущих конструкций из штучных элементов в замкнутой предварительно напряженной обойме //Ресурсоекономні

матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 24., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2012. – С. 55-61.

5. Азизов Т.Н., Иваницкий А.В. Учет трения при расчете конструкций в замкнутой обойме // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 25., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2013. – С. 180-187.

6. Азизов Т.Н., Иваницкий А.В. Нелинейный расчет конструкций из штучных материалов в замкнутой обойме // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 27., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2013. – С. 10-15.

Статья отправлена 27.11.2013 г.

©Азизов Т.Н., Иваницкий А.В.