

УДК 624.012.45

КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ГАЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК В ЗАМКНУТОЙ ОБОЙМЕ ИЗ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ЛЕНТЫ

КОНСТРУКЦІЯ ТА РОЗРАХУНОК ГАЗОБЕТОННИХ ПЕРЕМИЧОК У ЗАМКНЕНІЙ ОБОЙМІ З ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЇ СТРІЧКИ

Design and calculation of aerated concrete bridges with a holder of polypropylene tape

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. (Одесска державна академія будівництва та архітектури)

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

Предложены перемычки из газобетонных блоков, объединенных замкнутой обоймой из полипропиленовой ленты. Показана простота их изготовления и преимущества. Приведена методика расчета прочности таких конструкций.

Запропоновані перемички з газобетонних блоків, об'єднаних між собою замкнутою обоймою з поліпропіленової стрічки. Показана простота їх виготовлення та переваги. Наведена методика розрахунку міцності таких конструкцій.

Proposed bridges of concrete blocks, a closed joint yoke of polypropylene tape. Shows the simplicity of their construction and advantages. The technique for calculating the strength of such structures

Постановка и задачи исследований.

Преимущество и принципы расчета и конструирования конструкций из штучных материалов в замкнутой обойме приведены в [1-4], где приведена также методика расчета с учетом предварительного напряжения обоймы, а также с учетом нелинейных свойств материалов.

Однако, экспериментальные исследования авторов статьи показали, что если модуль упругости обоймы мал (были испытаны перемычки из газобетонных блоков в замкнутой предварительно напряженной обойме из полипропиленовой упаковочной ленты), то использование обычных формул

расчета прочности не представляется возможным, т.к. такие перемычки разрушаются при напряжениях, далеких от предельной прочности обоймы на растяжение. В вышеуказанных работах [1-4], а также в нормативных документах [5, 6] отсутствует методика расчета таких конструкций.

В связи с этим **целью настоящей статьи** является разработка методики расчета несущих конструкций из штучных материалов в замкнутой обойме с малым модулем упругости.

Изложение основного материала.

Рассмотрим инженерный способ расчета конструкций из штучных каменных элементов в гибкой замкнутой обойме.

Сделаем мысленный разрез в сечении элемента с трещиной и рассмотрим усилия в этом сечении (рис. 1). Предположим, что в предельном состоянии эпюра напряжений в сжатой зоне имеет прямоугольную форму.

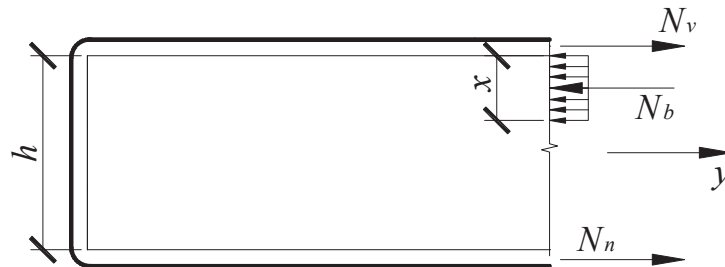


Рис. 1. Схема к расчету прочности нормального сечения

Усилия в верхней ветви обоймы N_v и в ее нижней ветви N_n определяются по [1-4]. В предельном состоянии можно считать, что напряжения в нижней ветви равны расчетному сопротивлению материала обоймы. Изгибающий момент, воспринимаемый сечением, будет равен (относительно точки приложения усилий в сжатой зоне)

$$[M] = N_n \left(h - \frac{x}{2} \right) - N_v \frac{x}{2}. \quad (1)$$

Если обойма предварительно напряженная, то N_n и N_v будут складываться из составляющих от предварительного напряжения и от внешней нагрузки, т.е.

$$\begin{aligned} N_n &= N_F + N_{sp} \quad , \\ N_v &= N_{vF} + N_{sp}^I \end{aligned} \quad (2)$$

В этом случае для определения внутреннего момента в сечении М и высоты сжатой зоны X имеется система уравнений:

$$N_{VF} + N_{sp}^I + N_F + N_{sp} = R_b b x \quad (3)$$

$$\left[(N_F + N_{sp}) - (N_{VF} + N_{sp}^I) \right] \cdot \left(h - \frac{x}{2} \right) = M_{ext}$$

Учитывая, что при текучести нижней ветви обоймы в верхней ветви напряжения могут быть еще значительно меньшими ее текучести (т.к. N_V существенно меньше N_n), то можно допустить, что при разрушении элемента деформации в нижней ветви могут превышать деформации, соответствующие напряжениям текучести, что можно учитывать при расчете деформативности (см. ниже).

Кроме замкнутой обоймы в перемычках из газобетона можно использовать армирование полипропиленовой лентой только в растянутой от действия нагрузки зоне. В этом случае на растянутой от внешней нагрузки зоне перемычки устраивается обойма по периметру нижней грани балки. При этом никаких устройств для анкеровки не требуется, т.к. арматура выполнена в виде замкнутой предварительно напряженной ленты.

При расчете перемычек из газобетона использование вышеописанной методики, а также методики ДСТУ [6] не возможно. Это связано с фактом, что форма диаграммы « $\sigma - \varepsilon$ » для газобетона, полученная по формулам ДБН [5] не справедлива.

Подстановка характеристик для газобетона $f_{ck,prism} = 1.9$ МПа; $\varepsilon_{bu} = 0.002$; $\varepsilon_{c1} = 0.001$; $E_{cd} = 1250$ МПа дает нам вид диаграммы « $\sigma - \varepsilon$ », показанный на рис. 2. Как видно из рисунка, для тяжелых бетонов формула ДБН справедлива, а попытка ее использования для газобетона не приводит к положительному результату.

С другой стороны, использование вышеприведенной методики, а также методики СНиП 2.03.01-84, когда эпюра напряжений в сжатой зоне бетона принимается в виде прямоугольника, а высота сжатой зоны X определяется из выражения $R_b b x = R_s A_s$ также не возможно.

Экспериментальные исследования авторов показали, что при малых значениях модуля упругости арматуры (обоймы) использование методики СНиП не возможно, т.к. газобетонные балки разрушались при напряжениях в ленте, далеких от предельных.

В связи с вышесказанным для расчета перемычек, армированных материалом с малым модулем упругости, предлагается следующая методика, основанная на экспериментальных исследованиях.

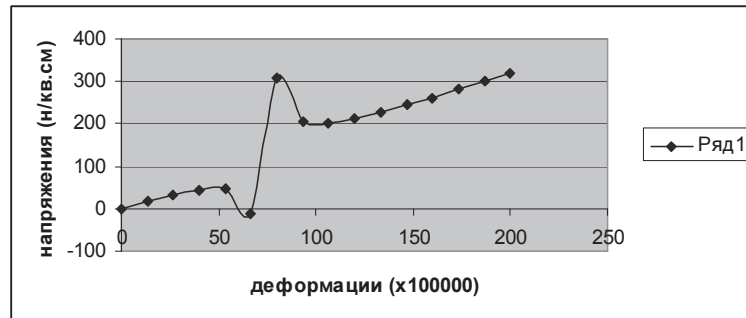


Рис. 2. Диаграмма « $\sigma - \varepsilon$ » для газобетона, построенная по формуле ДБН [5]

Т.к. в экспериментах при разрушении газобетонных балок происходило в результате потери несущей способности сжатой зоны, то можно предположить (по аналогии с работой тяжелых бетонов), что в момент разрушения в крайней фибре сжатой зоны деформации равны предельным $\varepsilon_c = \varepsilon_{bu}$.

Если как обычно принять гипотезу плоских сечений, то деформации в арматуре можно определить из выражения:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{bu} \frac{h - x}{x} \quad (4)$$

В выражении (4) имеются две неизвестные величины ε_s и x . Для их нахождения к уравнению (4) добавим еще одно уравнение равновесия:

$$R_b b x = \sigma_s A_s = \varepsilon_s E_s A_s \quad (5)$$

Подставляя (4) в (5), получим квадратное уравнение, из которого легко определить высоту сжатой зоны X .

Рассмотрим теперь расчет по деформациям. Учитывая факт, что после образования трещины в каменных конструкциях в замкнутой гибкой обойме, как правило, эта трещина становится критической, то максимальный прогиб будет в месте расположения критической трещины (как правило, в середине пролета или под сосредоточенной силой).

Рассмотрение двухблочной модели с одной трещиной вполне оправдано особенно для относительно коротких балок (каковыми являются перемычки). Экспериментальными исследованиями авторов этот факт был подтвержден. Причиной отсутствия других трещин кроме первоначально образовавшейся является факт, что после образования трещины в блоках А и В конструкции действуют значительно меньшие изгибающие моменты и в пределах длины блоков трещины не образуются (рис. 3), т.е. кирпичная балка превращается как бы в трехшарнирную арку с затяжкой, роль которой играет обойма.

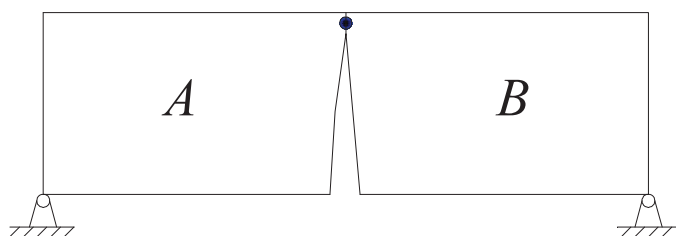


Рис. 3. Схема деления конструкции трещиной на два блока

Для доказательства существенного уменьшения растягивающих напряжений на нижних гранях блоков А и В перемычки был проведен расчет с помощью МКЭ с применением программы «Ли́ра» в двух вариантах: сплошная балка с двумя неподвижными опорами и балка с трещиной.

Расчет показал, что при схеме по рис. 3 продольные нормальные напряжения существенно меньше напряжений в сплошной балке. В виду малости напряжений на нижних гранях блоков, отделенных трещиной, не возникают дополнительные трещины. Поэтому рассмотрение поворота двух блоков при исследовании деформаций вполне оправдано.

Схема деформирования приведена на рис. 4

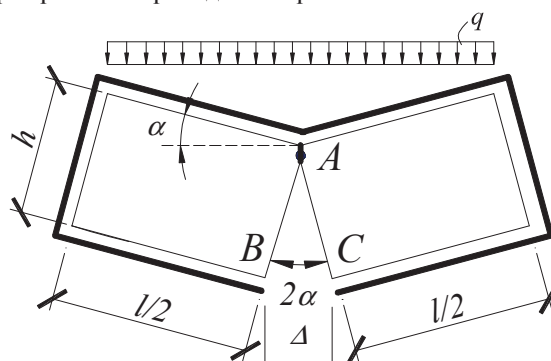


Рис. 4. Схема деформирования балки с нормальной трещиной

Из треугольника ABC на рис. 4.15 имеем:

$$\frac{\Delta}{2} = h \sin \alpha; \quad \Delta = 2h \sin \alpha. \quad (6)$$

В виду того, что длина обоймы в деформированном по рис. 4 состоянии отличается от периметра $\Pi = 2(l + h)$ на величину Δ , т.к. верхняя часть обоймы повторяет контур верхней грани балки в силу приложенной к верхней грани нагрузки, то прогиб определится по выражению:

$$f = a = \frac{l}{2} \sin \alpha. \quad (7)$$

Для определения угла наклона α блоков, разделенных трещиной, следует решить задачу, когда известной является величина удлинения обоймы Δl и надо определить угол α .

Когда определены усилия N_n, N_b и N_v (см. рис. 1) общее удлинение обоймы можно определить:

$$\Delta l = \frac{1}{EA} (N_n l + 2N_b h + N_v l), \quad (8)$$

где EA – осевая жесткость обоймы.

Зная абсолютное удлинение, можно определить средние относительные деформации и средние напряжения в обойме:

$$\varepsilon_{sr} = \frac{\Delta l}{l}; \quad \sigma = \varepsilon E. \quad (9)$$

Т.к. по схеме по рис. 4 $\Delta l = \Delta$, а по формуле (6) $\Delta = 2h \sin \alpha$, то для определения угла α будем иметь выражение:

$$2h \sin \alpha = \Delta l, \quad (10)$$

где Δl определяется по (8).

Из (10) будем иметь:

$$\alpha = \arcsin \frac{\Delta l}{2h}. \quad (11)$$

Сравнение с экспериментальными данными показали удовлетворительное совпадение.

Как было сказано выше, ввиду того, что $N_v < N_n$ при текучести нижней ветви обоймы можно допустить работу за границей текучести. При этом усилие N_n не будет увеличиваться, прогиб будет увеличиваться, а усилия N_b и N_v увеличатся за счет увеличения Δl .

Если в качестве обоймы принята полосовая сталь, которая как правило изготавливается из мягких сталей, то диаграмму деформирования полосы можно принять в виде диаграммы Прандля. Условно упругие деформации ε_{sr} определяются по этой диаграмме

$$\varepsilon_{sr} = \frac{\sigma_{sr}}{E}. \quad (12)$$

Зная ε_{sr} , легко определить абсолютное удлинение обоймы $\Delta l = \varepsilon l_0$ и по выше приведенной методике определить прогиб.

Такой подход удобен для решения обратной задачи, когда задан предельно допустимый прогиб.

Условие допустимости пластических деформаций в одной из ветвей обоймы позволяет экономно проектировать статически неопределимые (например, многопролетные) конструкции.

Выводы и перспективы исследований. Перемычки из легкого теплоизоляционного бетона, армированные замкнутой обоймой в виде

полипропиленовой упаковочной ленты являются достаточно надежными в эксплуатации, просты в изготовлении. Расчет перемычек в обойме из полипропиленовой ленты не возможен по традиционному методу предельного равновесия, т.к. при разрушении напряжения в обойме (арматуре) далеки от предела их прочности. В статье разработана методика расчета, основанная на экспериментальных исследованиях. Методика основана на предположении, что при разрушении деформации в крайней сжатой фибре перемычки достигают своих предельных значений. Деформация в арматуре определяется из условия плоского поворота сечения в зависимости от деформаций в сжатой зоне.

При расчете перемещений считается (подтверждено экспериментами), что перемычка разделяется на два блока. Перемещения определяются из условия плоского поворота этих блоков.

В перспективе предполагается разработка программы на ЭВМ для проектирования таких конструкций.

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, урбоєкологія 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: овнішрекламсервіс, 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. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд, 2011. – 71 с.
6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Мінрегіонбуд, 2011. – 110 с.