

НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ДВУХШАРНИРНОЙ СТАЛЕБЕТОННОЙ АРКЕ ПРИ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Предложено обоснование учета гибкости сталебетонных строительных элементов на примере арок постоянного поперечного сечения и численные расчеты, подтверждающие необходимость учета гибкостных характеристик при расчетах элементов малого поперечного сечения.

Запропоновано обґрунтування урахування гнучкості сталебетонних будівельних елементів на прикладі арок постійного поперечного перерізу і чисельні розрахунки, підтверджуючі необхідність урахування характеристик гнучкості при розрахунках елементів малого поперечного перерізу.

The basis of calculation of flexibility of steel-concrete building elements is offered on the example of arches of continual cross-section. The numerical calculations, confirming the necessity of calculation of flexibility characteristics while calculating elements of small cross-section.

Нередки случаи, когда возникает необходимость пересмотра состояния действующих бетонных конструкций, нагрузки на которые возросли либо изменились. При этом конструктивно сооружение нет возможности изменить изнутри и остается наращивать его снаружи. Часто с точки зрения технологии рациональнее использовать наружную стальную опалубку при бетонировании, а после этого – и как наружную арматуру. Однако измененная схема сталебетонного сооружения требует перерасчета с учетом действия такой арматуры в зоне контакта бетона и стали, что является достаточно сложным вопросом.

Для разрешения поставленного вопроса исследуем напряженно-деформированное состояние двухшарнирной сталебетонной арки, ось которой представляет собой квадратную параболу, нагруженную в замке сосредоточенной силой $P = 500$ кН, стрела арки равна 3 м, расстояние между опорами – 12 м (рис. 1), поперечное сечение арки прямоугольное, 0,2 на 0,3 м (рис. 2), по низу арки пущен сплошной стальной лист, толщина листа – 2 мм, прикреплен лист к бетону с помощью стальных петлевых анкеров, расположенных с шагом 100 мм (рис. 3). Бетон используется марки В30, сталь – Ст. 3.

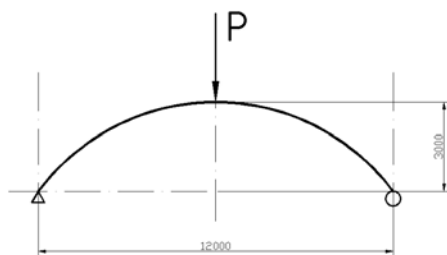


Рис. 1

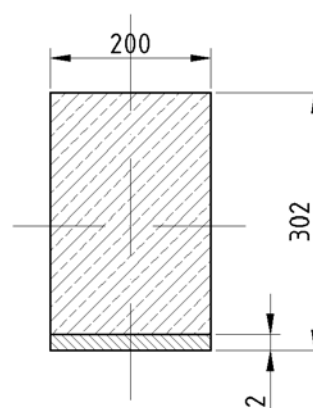


Рис. 2

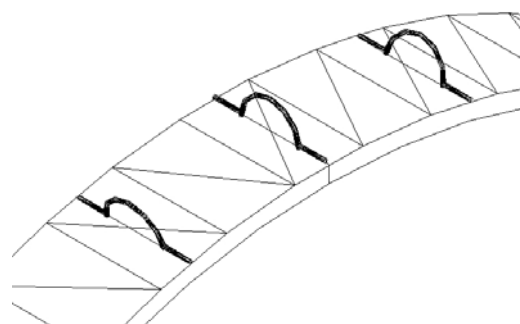


Рис. 3

Характеристики материалов:
 Бетон марки В 30: $R_b = 17$ МПа
 $E = 31,5 \cdot 10^3$ МПа
 $\nu = 0,16$.

Сталь марки Ст. 3: $R_s = 160$ МПа
 $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа
 $\nu = 0,24$.

Определив геометрические характеристики очертания арки – ось арки описывается уравнением,

$$f = f(x) = f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{L^2} \right). \quad (1)$$

где L – пролет арки, x – горизонтальная координата, а f_0 – стрела подъема арки, примем в качестве неизвестного усилия распор X и проведем расчет по методу сил методами численного интегрирования. Отношение f_0 к L примем равное $1/4$.

В результате проведенного расчета по методу сил и после определения распора, равного $X = 0,785P$, было составлено уравнение моментов для построения эпюры изгибающих моментов в произвольных точках арки. Для выбранной арки это уравнение будет иметь вид

$$M(x) = M_q + 0,785P \cdot M_1, \quad (2)$$

где M_q – момент от нагрузки; M_1 – момент от единичного распора, равный

$$-f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{L^2} \right);$$

$$M_1 = -f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{L^2} \right).$$

С учетом симметричности формы арки и нагрузки были определены ординаты эпюры моментов только в правой части (рис. 4).

По построенной эпюре моментов видно (табл. 1, табл. 2), что максимальный сжимающий изгибающий момент от внешней нагрузки в арке в замке равен 322,5 кН/м, нулевой изгибающий момент в точке с координатой 1,65 м от замка арки, максимальный растягивающий момент равный 155,207 кН/м в точке с координатой 3,82 м от замка арки.

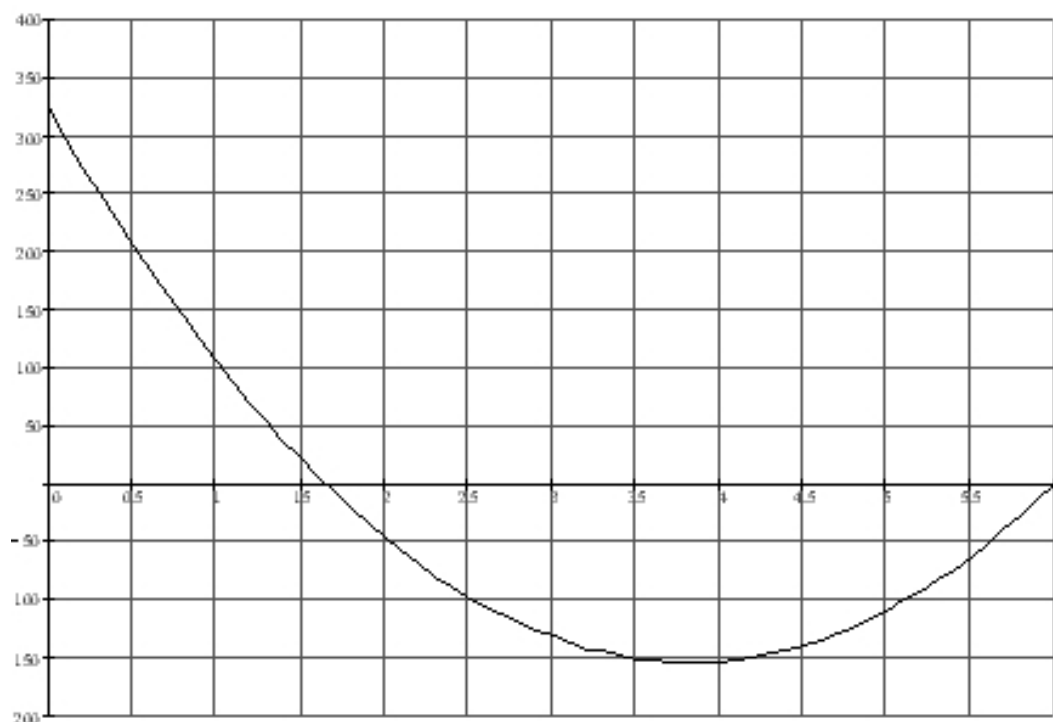


Рис. 4

Если учитывать при расчете влияние продольных сил, то коэффициенты канонического уравнения метода сил необходимо рассчитывать с учетом гибкости арки, приведенной к гибкости стержня равного по длине пролету арки и того же поперечного сечения.

По геометрическим характеристикам сечения определим $\lambda = 138,56406$ – гибкость балки такого же сечения и длины, равной пролету балки. Заново определив коэффициенты метода

сил, получим распор равный $0,78284P$. При таком значении распора эпюра моментов изменится слабо – максимальный сжимающий момент станет равен 325,74 кН/м – в замке арки, максимальный растягивающий момент станет равным – 153,285 кН/м в точке с координатой 3,83 м от замка арки, а нулевой изгибающий момент находится в точке с координатой 1,6644 м от замка арки (рис. 5, табл. 3 и 4).

Табл. 1	
х	момент
0	322,500
0,5	205,677
1	105,208
1,5	21,094
2	-46,667
2,5	-98,073
3	-133,125
3,5	-151,823
4	-154,167
4,5	-140,156
5	-109,792
5,5	-63,073
6	0,000

Табл. 2	
х	момент
3,76	-155,083
3,77	-155,120
3,78	-155,150
3,79	-155,174
3,8	-155,192
3,81	-155,203
3,82	-155,207
3,83	-155,205
3,84	-155,196
3,85	-155,181
3,86	-155,159
3,87	-155,131
3,88	-155,096

Табл. 3	
х	момент
0	325,74
0,5	208,89458
1	108,35833
1,5	24,13125
2	-43,78667
2,5	-95,39542
3	-130,695
3,5	-149,6854
4	-152,3666
4,5	-138,7387
5	-108,8016
5,5	-62,55542
6	0

Табл. 4	
х	момент
3,77	-153,15889
3,78	-153,19621
3,79	-153,227
3,8	-153,25127
3,81	-153,26901
3,82	-153,28023
3,83	-153,28493
3,84	-153,2831
3,85	-153,2747
3,86	-153,2598
3,87	-153,2384
3,88	-153,2105
3,88	-155,096

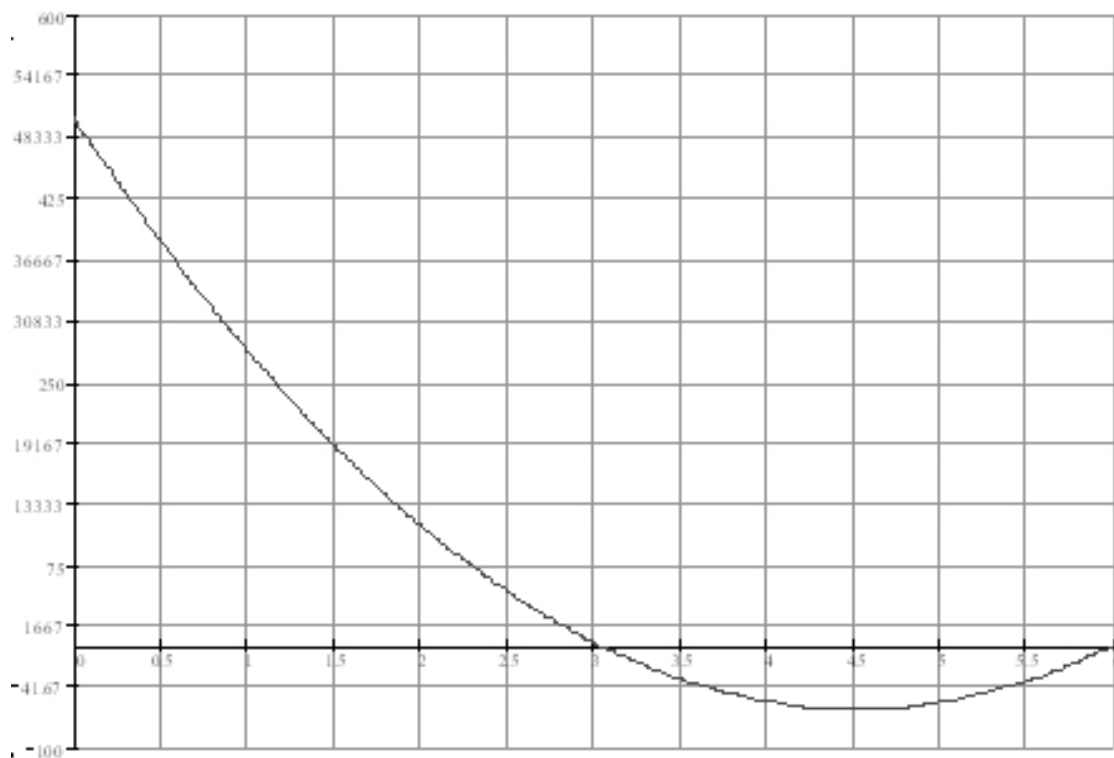


Рис. 5

Как видно из результатов расчетов, при учете гибкости арочной системы приобретает значение учет продольных сил, действующих в системе. При этом, принимая во внимание, что на сжатие работает в основном бетонный слой, а на растяжение – практически только стальной лист, следует отметить, что увеличение сжимающего расчетного момента слабо скажется на усилиях в бетоне, а уменьшение растягивающих моментов уменьшает нагрузку на стальной лист.

Выводы

При расчетах арочных сооружений на прочность методом сил или методом перемещений следует учитывать действие продольных сил от внешней нагрузки при построении эпюр изгибающих моментов, а также для определения опасных сечений с максимальными растягивающими и сжимающими моментами, хоть их влияние и слабо изменяет эти величины.

Поступила в редакцию 25.11.2007.