

УДК 624.016

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОМБИНИРОВАННОЙ АРОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ
УСЛОВИЙ**

**SOME ASPECTS OF OPTIMAL PROJECTING OF COMBINED ARCH
STRUCTURE IF IT HAS ADDITIONAL CONSTRUCTIVE CONDITIONS**

Стоянов В.В. д.т.н., проф., **Бояджи А.А.** асп. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Stoyanov V.V. , doctor of technical sciences, professor, **Boyadzi A.A.** graduate student. (Odessa state academy of construction and architecture, Odessa)

В статье приводится методика оптимального проектирования комбинированной арочной пролетной конструкции при условии изначального задания прочных размеров одного из ее главных элементов – балки. Эта методика существенно опирается на применении узлов предварительной слабину.

The article provides the method of optimal design of combined metal and wooden arched span structures provided section size of one of its main elements – beam. This technique relies heavily on the use of pre-slack nodes.

При проектировании комбинированных арочных пролетных конструкций возможны случаи, когда прочные размеры одного из главных элементов этих конструкций задаются изначально (исходя из архитектурных, конструктивных, технологических и др. соображений). В таких случаях задача оптимального проектирования конструкции сводится к оптимальному подбору прочных размеров остальных элементов конструкции. В данной работе рассматривается вариант, когда заданными являются прочные размеры балки, непосредственно воспринимающей эксплуатационную нагрузку. Надлежит определить оптимальные размеры сечения арки, а также подвесок, которые обеспечивают расчетную несущую способность конструкции. Существенным является то обстоятельство, что вклад балки в общую несущую способность конструкции ограничивается не прочностью балки, а ее прогибом.

Уменьшить прогиб балки можно при помощи арки и подвесок. Проблему оптимального проектирования этих элементов конструкции позволяют решить специальные узлы (рис. 3), обеспечивающие предварительную слабину подвесок. Величина этой слабину (в каждой подвеске) рассчитывается из условия, что при любом перемещении нижнего конца подвесок на арку

передаются усилия, не вызывающие в ней напряжений, больших допустимых. Вторая часть задачи (прогиб балки не должен превышать допустимый) решается путем соответствующего подбора сечения арки.

Величины предварительных слабин определяются следующим образом:

1. Рассматривается прочность арки принятого сечения под действием сосредоточенных усилий в местах крепления подвесок – определяется наибольшее значение этих усилий исходя из условия прочности арки (отношение усилий в боковых и средней подвесках при расчетах варьируется $k = \frac{P_{cp}}{P_{кр}}$);

здесь же определяются перемещения точек крепления подвесок и величина распора – они будут использоваться в дальнейших расчетах;

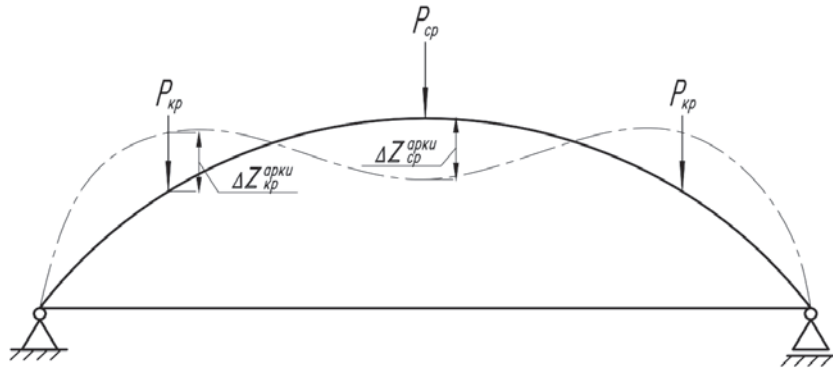


Рис. 1. Расчетная схема к определению $P_{кр}$ и $P_{ср}$, и перемещению арки в точках крепления подвесок

2. Рассматривается балка, нагруженная расчетной нагрузкой и реакциями в подвесках, которые были определены выше. Определяется прогиб балки (если прогиб отличается от допустимого, то следует изменить сечение арки – увеличить в случае, если прогиб больше допустимого или уменьшить в обратном случае).

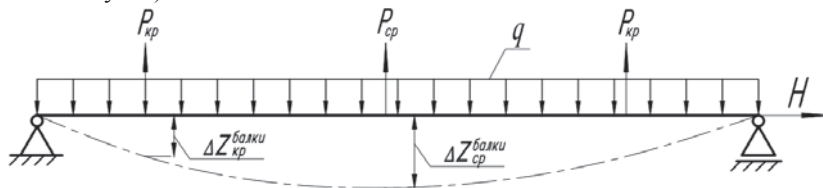


Рис. 2. Расчетная схема к определению перемещения точек крепления подвесок к балке

3. Определяются перемещения точек крепления подвесок к балке;

4. По $P_{кр}$ и $P_{ср}$ определяются сечения крайних и средней подвесок;
 5. Для подвесок составляются уравнения совместности деформаций с учетом перемещений точек крепления подвесок к арке и балке и слабины – из этих уравнений и определяется необходимая слабина:

$$\Delta_{кр} = \Delta z_{кр}^{балк} - \Delta z_{кр}^{арк} - \Delta l_{кр}^{подв} = \Delta z_{кр}^{балк} - \Delta z_{кр}^{арк} - \frac{P_{кр} l_{кр}}{EA}; \quad (1)$$

$$\Delta_{ср} = \Delta z_{ср}^{балк} - \Delta z_{ср}^{арк} - \Delta l_{ср}^{подв} = \Delta z_{ср}^{балк} - \Delta z_{ср}^{арк} - \frac{P_{ср} l_{ср}}{EA}, \quad (2)$$

где:

$\Delta_{кр}, \Delta_{ср}$ – слабина в крайней и в средней подвесках соответственно;

$\Delta z_{кр}^{балк}, \Delta z_{ср}^{балк}$ – перемещение балки в точках крепления к ней крайней и средней подвесок соответственно;

$\Delta z_{кр}^{арк}, \Delta z_{ср}^{арк}$ – перемещение арки в точках крепления к ней крайней и средней подвесок соответственно;

$\Delta l_{кр}^{подв} = \frac{P_{кр} l_{кр}}{EA}$ – удлинение крайней подвески;

$\Delta l_{ср}^{подв} = \frac{P_{ср} l_{ср}}{EA}$ – удлинение средней подвески.

Конструкция узла, обеспечивающего регулирующую предварительную слабину подвески, приведена на рис. 3.

Установка вычисленных по формулам (1) и (2) предварительных слабин осуществляется в следующей последовательности (рис. 4): контрагайка 5 и патрон 4 сворачиваются вниз; патрон 4 вворачивается в круглую гайку 3 до упора – это положение патрона 4 принимается в качестве нулевого; патрон 4 вместе с круглой гайкой 3 при помощи нижней контрагайки 5 фиксируется по отношению к нулевому положению на высоте, равной величине устанавливаемой слабину.

Приведенные выше общие положения были применены к вариантному расчету комбинированной арочной конструкции пролетом 12 м (поперечное сечение балки приведено на рис. 5). Варьировались сечения арки и подвесок, высота арки, количество и положение подвесок, способ крепления арки к балке.

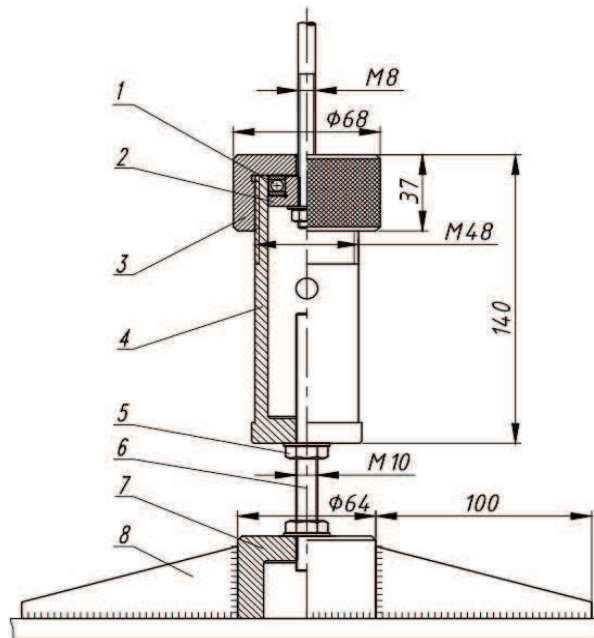


Рис. 3. Узел предварительной слабины

1 – подшипник упорный 8104 ГОСТ 6874-75; 2 – втулка упорная; 3 – гайка круглая; 4 – патрон; 5 – контрагайка нижняя; 6 – шпилька нижняя; 7 – основание; 8 – фасонка.

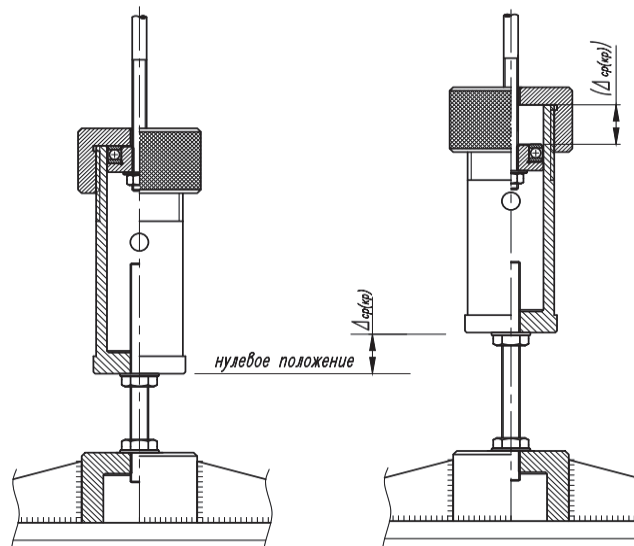


Рис. 4. Установка предварительной слабины

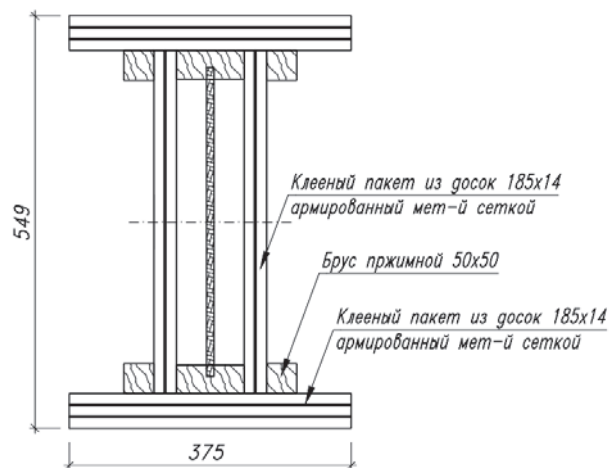


Рис. 5. Поперечное сечение балки

В результате расчета определились оптимальные параметры конструкции:

- 1) поперечное сечение арки – 2 прямоугольные трубы сечением 45x30x3;
- 2) поперечное сечение подвесок – металлический прут $\varnothing 8$ мм;
- 3) высота арки – 2,75м;
- 4) число подвесок – 3 шт.;
- 5) расположение боковых подвесок – 3,5м от средней подвески;

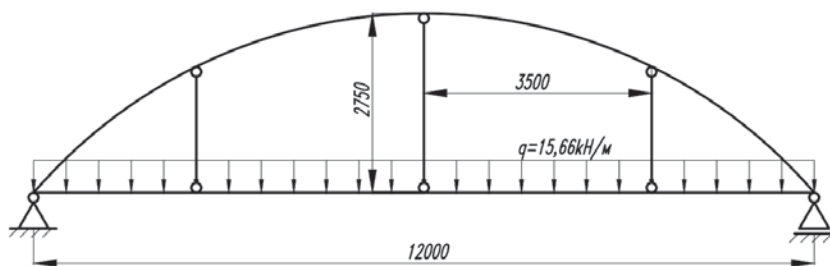


Рис. 5. Расчетная схема арочной пролетной конструкции

Вспомогательные величины ($\Delta z_{кр}^{балк}$ – перемещение балки в точке крепления к ней крайней подвески; $\Delta z_{кр}^{арк}$ – перемещение арки в точке крепления к ней крайней подвески; $\Delta z_{ср}^{балк}$ – перемещение балки в точке крепления к ней средней подвески; $\Delta z_{ср}^{арк}$ – перемещение арки в точке крепления к ней средней подвески; $\Delta l_{кр}^{подв} = \frac{P \cdot l_{кр}}{EA}$ – удлинение крайней подвески; $\Delta l_{ср}^{подв} = \frac{P \cdot l_{ср}}{EA}$ – удлинение средней подвески), входящие в формулы (1) и (2) для определения предварительных слабин, были вычислены при помощи программного комплекса ЛИРА 9.6.

Предварительные слабину, определенные по формулам (1) и (2), оказались следующими:

$$\Delta_{кр} = 1,9 \text{ см} ;$$

$$\Delta_{ср} = 0,8 \text{ см} .$$

При проверочном расчете арочной конструкции в целом в ПК ЛИРА введение предварительной слабину в подвесках учитывалось при помощи приведенной жесткости $EA^{привед}$, которая определяется из формул (1) и (2), в которых $\Delta_{ср}$ и $\Delta_{кр}$ принимаются равными нулю:

$$EA_{ср}^{привед} = \frac{P \cdot l_{ср}}{\Delta z_{ср}^{балк} - \Delta z_{ср}^{арк}} ; \quad (3)$$

$$EA_{кр}^{привед} = \frac{P \cdot l_{кр}}{\Delta z_{кр}^{балк} - \Delta z_{кр}^{арк}} . \quad (4)$$

Здесь следует заметить, что если в результате вычислений по формулам (1) и (2) значение какой-либо из величин $\Delta_{кр}$ или $\Delta_{ср}$ получается отрицательным, то это означает, что в соответствующей подвеске должна быть обеспечена не предварительная слабину, а предварительное натяжение, которое также можно реализовать при помощи узла предварительной слабину.

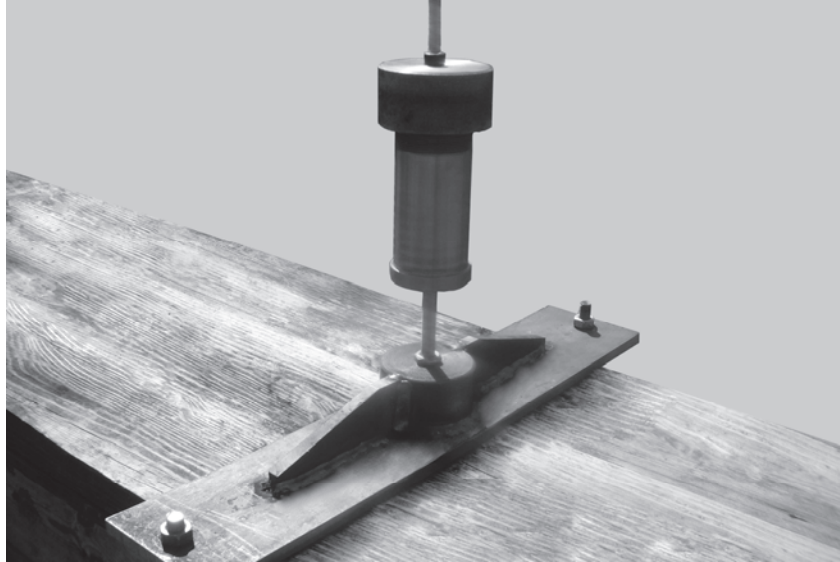


Рис.6. Установка узла предварительной слабину на конструкции

Выводы:

- в тех случаях, когда несущая способность балки определяется в первую очередь жесткостью, увеличить ее можно путем введения в конструкцию арки и подвесок. При этом естественным является стремление использовать арку минимального поперечного сечения. Однако при небольшом сечении арки может оказаться, что несущую способность конструкции ограничивают уже не прогиб балки, а напряжения в самой арке. В статье предлагается в таких случаях использовать специальные узлы (конструкция узлов приводится), обеспечивающие такую предварительную слабину подвесок, при которой допустимый прогиб балки и допустимые напряжения в арке возникают одновременно в процессе нагружения конструкции при достижении этой нагрузкой расчетного значения;

- по приведенной в статье методике были рассчитаны величины предварительных слабину и оптимально подобраны сечения арки и подвесок в конструкции, для которой поперечное сечение балки (затяжки) и величина расчетной нагрузки были заданы изначально.

1. Стоянов В.В. и др. Архитектурные конструкции транспортных развязок на перегруженных городских магистралях / Сб. науч. тр. Современные строительные конструкции из металла и древесины. - Одесса. №15 ч.1, стр. 72-80, ВРС, 2011

2. Окунь И.В. Эффективные клееноскатные несущие конструкции надземных пешеходных переходов / И.В. Окунь, С.М. Чучмай, В.П. Приступлюк // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, вип. № 46, Одеса: Зовнішньорекламсервіс, 2012. – С. 263 – 267

3. Серов, Е. Н. Клеенные деревянные конструкции: состояние и проблемы развития / Е. Н. Серов, Б. В. Лабудин // Известия вузов. Лесной журнал. - 2013. - № 2. - С. 137-146.