УДК 624.011

ЛЕГКИЕ НАДЗЕМНЫЕ ПЕШЕХОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Бояджи А.А., *аспирант*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

Кафедра Металлических, деревянных и пластмассовых конструкций уже несколько лет занимается исследованиями надземных пешеходных переходов пролетом 12-24 м. В одном из проектных вариантов в качестве несущих элементов полотна рекомендуется использовать деревянные составные балки, работающие совместно с двумя металлическими арками, т.е. комбинированную конструкцию, представляющую собой металлодеревянную ферму. Нагрузка с полотна передаётся на арки при помощи подвесок, число и размеры которых надлежит принять исходя из определенных критериев оптимальности. Прочные размеры балок полотна и арок предполагается определять из условий прочности и жесткости конструкции с учетом некоторых дополнительных условий (эстетико-психологические соображения, требования некоторого изящества конструкции). С самого начала отметим, что задача многовариантна. Например, можно выбрать несущие балки определенного размера, которые сами по себе не удовлетворяют ни условиям прочности, ни условиям жесткости, но при совместной работе с арками достаточных прочных размеров обеспечивают общую жесткость и прочность конструкции. При этом ясно, что размеры арок и подвесок, которые обеспечивают общую прочность, желательно определить из условия минимальности геометрических размеров. Варьирование прочных размеров несущих балок приведет к необходимости изменения размеров арок и подвесок. При подборе соответствующих размеров необходимо удовлетворить условиям совместности деформаций балок, подвесок и арок. Упрощенно: если под действием расчетной равнораспределенной нагрузки $q^{расч}$ балка прогнётся на некоторую величину f, то при этом в подвеске возникает усилие, которое его растягивает. Это усилие передаётся на арку, которая под его действием

прогибается на некоторую величину $f^{арки}$, так что должно выполняться очевидное равенство:

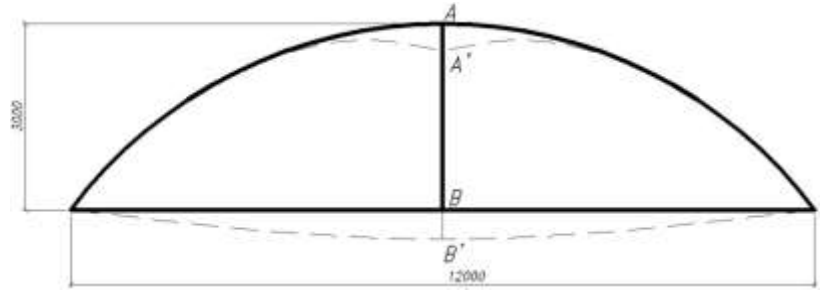
$$f - f^{арки} = \Delta l^{подв}, \qquad (1)$$

где

f – прогиб несущей балки под действием расчетной нагрузки $q^{расч}$ и реакции $P^{подв}$;

$f^{арки}$ – прогиб арки под действием силы $P^{подв}$;

$\Delta l^{подв}$ – растяжение (изменение длины) подвески под действием силы $P^{подв}$ (параметры подвески $I^{подв}$, $A^{подв}$, $E^{подв}$).



$AB = l^{подв}$; $AA' = f^{арки}$; $BB' = f$; $A'B' - AB = \Delta l^{подв}$.

Рис.1. Схема деформирования конструкции

Условие (1) можно расписать в виде системы двух уравнений, которые в конечном итоге должны быть решены относительно неизвестных f и $P^{подв}$.

Проверочный расчет несущей балки, подвески и арки можно произвести в соответствии со следующей схемой:

- задаемся некоторым значением прогиба балки f;

- усилие $P^{подв}$ выражаем через перемещение концов подвески и её удлинение следующим образом:

$$P = (f - f^{арки}) E^{подв} A^{подв} / l^{подв}, \qquad (2)$$

где $f^{арки}$ также является функцией от $P-$ эту зависимость мы можем определить, посчитав в ПК ЛИРА прогибы $f^{арки}$ для некоторой последовательности значений P.

Проведенные расчеты показывают, что зависимость $f^{арки}$ от P в рассматриваемом диапазоне изменения $P-$ линейна, то есть:

$$P = kf^{арки}. \tag{3}$$

Из уравнений (2) и (3):

$$P = (f - P/k)E^{подв}A^{подв}/l^{подв}. \tag{4}$$

Разрешив уравнение (4) относительно P, получим:

$$P = kfE^{подв}A^{подв}/(kl^{подв} + E^{подв}A^{подв}). \tag{5}$$

Запишем уравнение изогнутой оси балки, на которую действует $q^{расч}$ и сосредоточенная сила $P^{подв}$, равная реакции подвески:

$$y = \varphi_0 x + \frac{R_A x^3}{6EI_z} - \frac{P(x-b)^3}{6EI_z}|_{x>b} - \frac{qx^4}{24EI_z}, \tag{6}$$

где:

R_A- реакция опоры А, которая определяется по формуле (7);

$b-$ координата точки крепления подвески.

$$R_A = \frac{ql}{2} - \frac{P}{2}. \tag{7}$$

Подставив (5) в (7), а затем (7) в (6) и учитывая, что прогиб на правой опоре равен нулю $y_{(x=l)} = 0$, находим φ_0. После этого выражение для стрелки прогиба балки приобретает вид:

$$f = y_{\left(x=\frac{l}{2}\right)} = \varphi_0 \frac{l}{2} + \frac{1}{6EI_z}\left[\left(\frac{ql}{2} - \frac{y_{\left(x=\frac{l}{2}\right)}E^{подв}A^{подв}}{2l^{подв}}\right)\left(\frac{l}{2}\right)^3 - \frac{q\left(\frac{l}{2}\right)^4}{4}\right] \tag{8}$$

Решение уравнения (8) относительно f можно получить методом итераций. Таким образом, в результате проведенных вычислений мы получаем полную информацию о параметрах напряженно-деформированного состояния элементов системы арка-подвеска-балка, которые следует сравнить с нормативными величинами. Анализ этого сравнения позволяет выбрать геометрические параметры для следующего приближения.

Очевидно, что с точки зрения оптимального проектирования наиболее подходящим вариантом будет та конструкция, напряжения и деформации всех элементов которой будут близки к допускаемым.

Проведенные расчеты конструкции на нагрузку $q^{расч}$ показывают, что при минимально возможных подобранных размерах сечений арки и подвески, напряжения в балке (прочные размеры которой уже не представляется возможным уменьшить из-за того, что типоразмер базового элемента – ОСП-профиля был принят минимальным) составляют около половины от допустимых. Некоторого перераспределения напряжений в сторону их увеличения в балке и уменьшения в арке и подвеске предполагается достичь за счет некоторых изменений в конструкции, а именно:

- нагружение балки усилием распора от арки;
- увеличение упругих деформаций в подвеске за счет уменьшения её поперечного сечения при увеличении расчетного сопротивления R_y материала подвески;
- введение предварительной «слабины» подвески за счет талрепа или каким-либо другим способом.

Исследование вышеперечисленных изменений показало, что их применение положительно сказывается на работе конструкции:

- восприятие балкой горизонтальной растягивающей силы (распора) увеличивает в ней напряжения при одновременном уменьшении её максимального прогиба f; кроме того, в этом случае распор арки не передается на опоры, что немаловажно для надземных пешеходных переходов, в которых арки располагаются на значительной высоте, являющейся, по сути, плечом для этой силы;
- уменьшение площади поперечного сечения подвески незначительно увеличивает напряжения в балке;
- механизм предварительной "слабины" подвески приводит к тому, что арка включается в работу конструкции при нагружении с "запаз-

дыванием" - доля нагрузки, которая воспринимается в такой ситуации балкой увеличивается.

Далее исследуем эффект от ***введения двух дополнительных подвесок***. Используем для этого один из рассмотренных выше вариантов конструкций с одной подвеской, в котором напряжения и деформации несколько превышали допускаемые:

$\sigma_{балки}=0,77$ *кН/см*^{2};

$\sigma_{арки}=25,66$ *кН/см*^{2};

$\sigma_{подвески}=24,82$ *кН/см*^{2};

$f_{балки}=35,1$ *мм*.

Дополнительные боковые подвески установим в тех точках арки, в которых при одной подвеске возникают максимальные положительные перемещения d_{max} точек арки по вертикали (рис.2). Прочные размеры остальных элементов конструкции оставим без изменения.

Результаты расчета в ПК ЛИРА этого варианта следующие:

$\sigma_{балки}=0,43$ *кН/см*^{2};

$\sigma_{арки}=10,57$ *кН/см*^{2};

$\sigma_{подвески}=14,96$ *кН/см*^{2};

$f_{балки}=16,668$ *мм;*

т.е. напряжения и деформации во всех элементах значительно уменьшились.

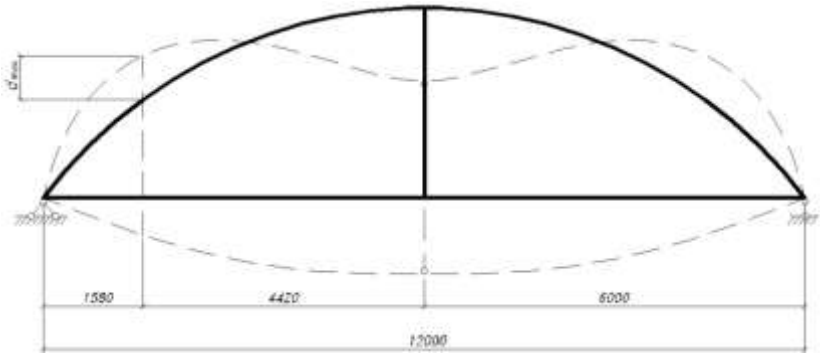


Рис.2. Схема установки боковых подвесок

Из этих результатов видно, что схема с тремя подвесками позволяет значительно рациональнее использовать несущую способность элемен-

тов конструкции. Другими словами – для принятой расчетной нагрузки $q=8.075$ *кН/м* можно существенно уменьшить прочные размеры элементов конструкции. Но ввиду того, что сечение балки и так принято минимально, в последующих вариантах уменьшались только сечения арки и подвесок до достижения в них напряжений, близких к допускаемым.

Из проведенных расчетов следует, что легко определить размеры сечения арки и диаметра подвесок, при которых в арке и подвесках возникают напряжения, близкие к допускаемым. Напряжения и деформации балки по-прежнему значительно меньше допускаемых. За счет эффекта "слабины" прочные размеры арки и подвесок можно еще уменьшить – при этом напряжения и деформации балки увеличиваются.

Здесь уместно следующее замечание: очевидно, что конструкция, у которой напряжения и деформации в одних элементах близки к допускаемым, а в других не составляют и половины от них, не может считаться оптимальной (рациональной). В этом смысле вариант, о котором шла речь выше, не является оптимальным. Но уменьшать сечение балки, как уже говорилось, не представляется возможным. Поэтому о ресурсах конструкции можно будет судить более определенно, если подойти к вопросу несколько иначе: будем увеличивать нагрузку q до тех пор, пока напряжения и деформация балки станут близки к допускаемым, одновременно меняя (увеличивая) сечение арки и подвески так, чтобы напряжения в этих элементах не превышали допускаемых. Очевидно, что отдельного исследования требует и вопрос об оптимальном месте установки боковых подвесок. Иными словами будем рассчитывать конструкцию на предельную нагрузку.

В серии расчетов, проведенных с помощью ПК ЛИРА, варьировались:

- расстояние боковых подвесок от опор от $a=2.5$*м* до $a=3.0$*м* с шагом *0,1м*;

- интенсивность равнораспределенной нагрузки от $q=20$*кН/м* до $q=30$ *кН/м* с шагом в *1кН/м.*

Среди этих вариантов вполне удовлетворительным оказался следующий: $a = 2,7$*м*; диаметр подвески $d = 24$*мм*; сечение составного двутавра арки: $b \times s = 100 \times 10$; $t \times h = 160 \times 6$. При нагрузке (предельной) $q=28$ *кН/м* прогиб балки $f = -21.33$*мм*; $\sigma^{арки} = 23.71$*кН/см*^{2}; $\sigma^{бал} = 1.176$ *кН/см*^{2}; $\sigma^{подв} = 23.1$ *кН/см*^{2};

В дальнейшем предполагается более тонкое исследование поведения балки при варьировании остальных элементов конструкции осуществить при помощи теории линий влияния.

Результаты первых исследований металлодеревянных ферм, которые предполагается использовать в надземных пешеходных переходах, позволяют сделать следующие предварительные

Выводы:

- участие деревянной балки в общей прочности конструкции не является определяющим и её прочные размеры можно назначать исходя из других проектных соображений, например эстетико-психологических;
- прочные размеры поперечного сечения арки и подвесок играют основную роль в общей прочности конструкции и их легко можно определить при помощи численных методов таким образом, чтобы предельно-допустимая нагрузка превышала расчетную в соотношении, которое должно быть определено на этапе составления технического задания.

Summary

Preliminary studies problems of calculating the strength of the metal timber trusses show the author's opinion that the main focus in the development of methods for calculating these trusses should be paid to the definition of the optimality criteria of design and implementation.

Литература

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. Снитко Н.К. Строительная механика: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. - М.: Высш. школа, 1980. - 431 с., ил.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учебник для вузов. - 10-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. - 592 с.