

5. Yail J. K. *Advanced Composites in Bridge Construction and Repair* / J. K. Yail // Elsevier, 2014. – 356 p.
6. Бабиченко В. Я. Удосконалена технологія улаштування незнімної опалубки із тонкостінних залізобетонних елементів / В. Я. Бабиченко, С. В. Кирилюк, Л. А. Черепашук // Будівельні матеріали та виробн. – 2015. – № 1. – С. 12–13.
7. Бабиченко В. Я. Устройство тонкостенной железобетонной несъемной опалубки / В. Я. Бабиченко, С. В. Кирилюк, Л. А. Черепашук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця, 2015. – № 2 – С. 52–55.

Рецензент: д-р техн. наук І.В. Шумаков

УДК 72.01

Михеев Ю.М., Дементьев В.В.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ПОДВЕСНАЯ КОНСТРУКЦИЯ КОЗЫРЬКА НАД ТРИБУНОЙ СТАДИОНА, НЕ ИМЕЮЩАЯ УСИЛИЙ ИЗГИБА

Основное, триединое требование, предъявляемое к любым зданиям и сооружениям – обеспечение прочности, жесткости и устойчивости. Поэтому считается, что мгновенно-изменяемые статические системы в строительстве неприемлемы.

Однако общеизвестно, что во всем мире используются козырьки – навесы над входами в здание, оконными витринами, остановками общественного транспорта и т.п. Они представляют собой балочные элементы, подвешенные одним концом или в пролете с помощью тросов или цепей. Эти системы являются мгновенно-изменяемыми и сохраняют свое положение за счет сил гравитации (рис. 1).

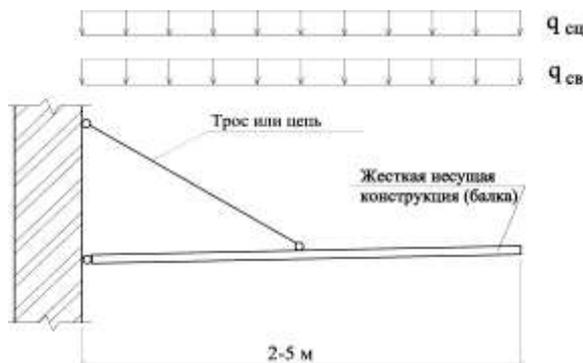


Рис. 1. Типичная конструкция козырька.

Таким образом, эти системы имеют два недостатка: они должны иметь значительный собственный вес и конструкцию, обеспечивающую хорошую сопротивляемость ветровым нагрузкам – подъемной силе ветрового давления при значитель-

ной скорости ветра. В связи с этими обстоятельствами такие системы всегда имеют очень ограниченные размеры.

С точки зрения строительной механики такие системы представляют собой консоли с конструктивным решением, показанным на рис. 1. Эта конструкция имеет два рабочих элемента – жесткую балку, работающую на изгиб, и гибкую подвеску, обеспечивающую вторую опору для этой балки.

Таким образом, противоречие между большой массой балок и необходимостью снижения величин изгибающих моментов приводит к ограничению расчетного вылета конструкции и, следовательно, к использованию ее в очень ограниченной области применения.

К этому следует добавить, что неподвижные опоры конструкции должны обладать соответствующей несущей способностью, а этого не всегда можно достичь, в особенности при решении задач реконструкции.

Существует особая статическая система балки на двух опорах (рис. 2), которая не рассматривается, как правило, в учебниках сопротивления материалов.

Эта система подробно показана в «Сопротивлении материалов» С.П. Тимошенко [1], книги, которая после перевода с английского языка в СССР не получила статуса учебника.

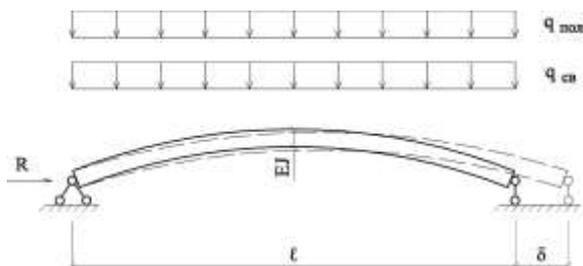


Рис. 2. Схема работы «кривого бруса»

У С.П. Тимошенко эта статическая схема носит название «кривой брус». Суть расчета кривого бруса заключается в том, что его жесткость должна быть такой, чтобы свободное перемещение « δ » стремилась к нулю. Это является условием работы кривого бруса под действием прикладываемых нагрузок.

Соединение двух статических схем, показанных на рис. 1 и 2, позволяет, во-первых, снизить собственный вес конструкции, во-вторых, значительно увеличить вылет консоли при проектировании, например, козырьков над трибунами стадионов.

При криволинейной форме жесткого бруса можно найти кривую давлений, при которой изгибающие моменты от действия нагрузки собственного веса могут быть сведены к нулю. Таким образом, кривой брус получит изгибающие моменты только от снеговой нагрузки, что значительно уменьшит его массу.

Что касается действия ветровой нагрузки, то оно может быть в значительной степени снижено благодаря организации динамических воздействий ветра за счет правильного решения общего поперечного контура навеса. Этот вопрос решается чисто конструктивно с помощью отсутствия части ограждения на вертикальном участке контура покрытия.

В основу расчета положен принцип конструирования консоли, состоящей из сжатого и растянутого элементов, в которых отсутствует изгиб.

В этом случае растянутым элементом является стальной трос, а сжатый элемент должен иметь соответствующую криволинейную форму. По существу эта конструкция представляет собой кривой брус, одна из опор которого является упруго-податливой вантовой подвеской.

Первоначально задача ставится следующим образом: требуется найти уравнение оси кривого бруса (кривой давлений) из условия равенства нулю момента в любом его сечении.

Статическая схема бруса приведена на рис. 3.

Исходя из рассматриваемой схемы, можно записать:

$$H_0 = H + \alpha \operatorname{tg} \alpha$$

Уравнение линии растянутого элемента (затяжки) в этом случае будет иметь вид:

$$y_3 = H + \alpha \operatorname{tg} \alpha - x \operatorname{tg} \alpha$$

Тогда величина усилия в затяжке составит:

$$N = \frac{qL^2}{2B_0}$$

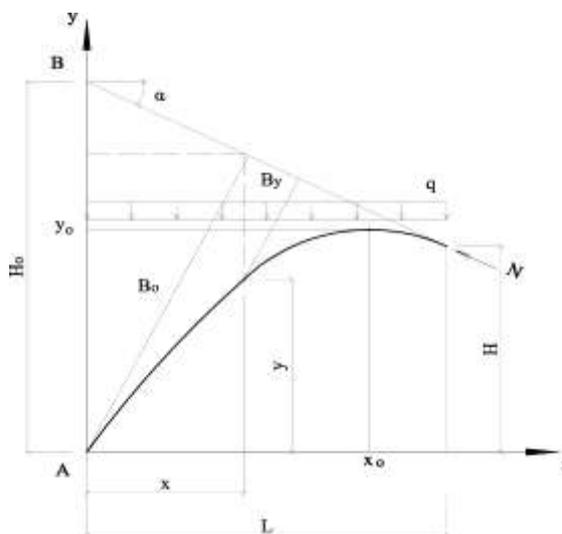


Рис. 3. Предлагаемая расчетная схема козырька.

Поскольку $B_0 = H_0 \cos \alpha = H \cos \alpha + L \sin \alpha$

$$N = \frac{qL^2}{2(H \cos \alpha + L \sin \alpha)}$$

Величина момента в любом сечении M_x определяется уравнением:

$$M_x = N B_y - \frac{q(L-x)^2}{2} = 0$$

$$B_y = (y_3 - y) \cos \alpha = H \cos \alpha + L \sin \alpha - x \sin \alpha - y \cos \alpha$$

Тогда уравнение моментов принимает вид:

$$M_x = \frac{qL^2(H \cos \alpha + L \sin \alpha - x \sin \alpha - y \cos \alpha)}{2(H \cos \alpha + L \sin \alpha)} - \frac{q(L-x)^2}{2} = 0$$

или

$$M_x = \frac{L^2(H \cos \alpha + L \sin \alpha - x \sin \alpha - y \cos \alpha)}{H \cos \alpha + L \sin \alpha} - (L-x)^2 = 0$$

Далее производим ряд преобразований:

$$\frac{L^2(H \cos \alpha + L \sin \alpha)}{H \cos \alpha + L \sin \alpha} - \frac{L^2 x \sin \alpha}{H \cos \alpha + L \sin \alpha} - \frac{L^2 y \cos \alpha}{H \cos \alpha + L \sin \alpha} - L^2 + 2xL - x^2 = 0$$

$$\frac{L^2 y \cos \alpha}{H \cos \alpha + L \sin \alpha} = -x^2 + x(2L - \frac{L^2 x \sin \alpha}{H \cos \alpha + L \sin \alpha})$$

Решаем уравнение относительно y :

$$y = -\frac{x^2(H \cos \alpha + L \sin \alpha)}{L^2 \cos \alpha} + x \left[\frac{2(H \cos \alpha + L \sin \alpha)}{L \cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha \right];$$

$$y = -\frac{H + L \operatorname{tg} \alpha}{L^2} x^2 + \left[\frac{2(H \cos \alpha + L \operatorname{tg} \alpha)}{L} - \operatorname{tg} \alpha \right] x;$$

$$A = -\frac{H + L \operatorname{tg} \alpha}{L^2};$$

$$B = \frac{2(H \cos \alpha + L \operatorname{tg} \alpha)}{L} - \operatorname{tg} \alpha$$

Таким образом, можно построить кривую, являющуюся осью бруса, момент, в любой точке которого равен нулю.

Предложенное решение конструкции консоли было использовано при проектировании козырька над трибунами в г. Людиново Калужской области по заказу дирекции тепловозостроительного завода и выполнено НТКЦ «Вертикаль» [2].

Разработке предлагаемого конструктивного решения предшествовал анализ ситуации и существующих вариантов решений козырьков над трибунами стадионов в СССР и за рубежом.

В данном случае, поскольку консольный вылет козырька невелик (15 м.), использование предлагаемой статической системы (кривой однопролетный брус на упруго-податливой подвесной опоре) позволяет добиться получения минимального собственного веса, минимального стального проката и, как следствие, «вписать» фундаментную часть в существующую

насыпь трибун. Кроме того, для изготовления конструкции козырька и фундаментов можно использовать простейшие технологии, поскольку кривой брус выполняется из прокатных профилей малой высоты (2[№20а), основой фундамента являются забивные сваи, а для тросов – тяжей можно использовать тросы, отработавшие регламентные сроки на подъемно-транспортном оборудовании.

На рис. 4 показана схема конструктивного решения козырька.

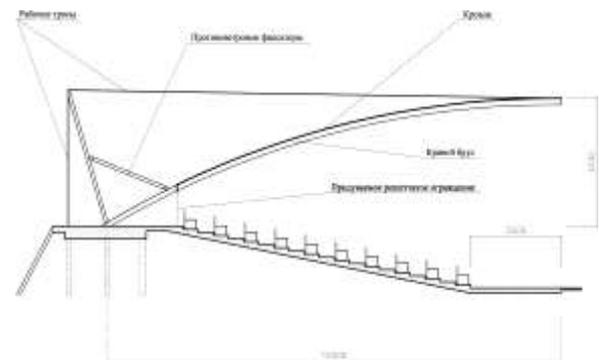


Рис. 4. Конструктивная компоновка козырька над трибунами

Исходя из архитектурно-эстетических соображений, при проектировании козырька форма кривого бруса была незначительно скорректирована до геометрии окружности, что практически не повлияло на его расчет, поскольку в нескольких точках появились изгибающие моменты очень малых величин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тимошенко С.П., Сопротивление материалов, М.: изд. «Наука», 1965. – 480 с.
2. НКТЦ «Вертикаль», Михеев Ю.М. (рук. проекта), рабочий проект покрытия трибун стадиона в г. Людиново, Харьков, 1990 г.

Рецензент: д-р техн. наук М.Ю. Избаиш