

РАСЧЕТ ДВУХШАРНИРНОЙ КРУГОВОЙ АРКИ, НАГРУЖЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ НАГРУЗКОЙ, МЕТОДОМ СИЛ

Рассматриваются двухшарнирные арки кругового очертания постоянной жесткости пролетом l , нагруженные статическими вертикальными распределенными по параболической зависимости нагрузками (рисунок 1). Выполним расчет рассматриваемых арок, который позволит находить зависимости изменения внутренних сил в таких системах.

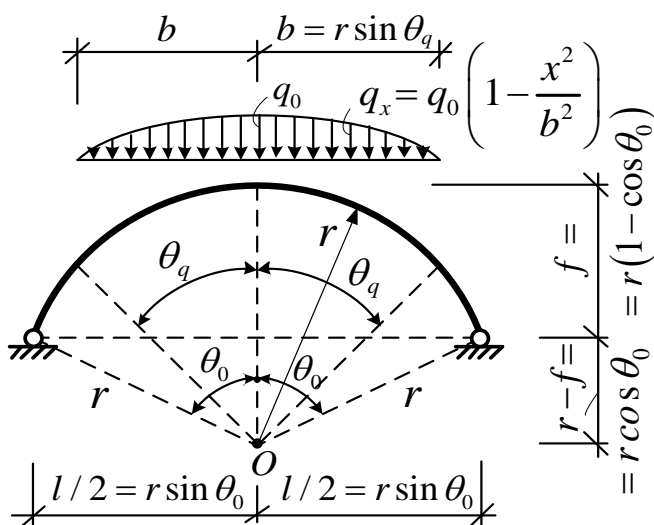


Рисунок 1 – Расчетная схема арки

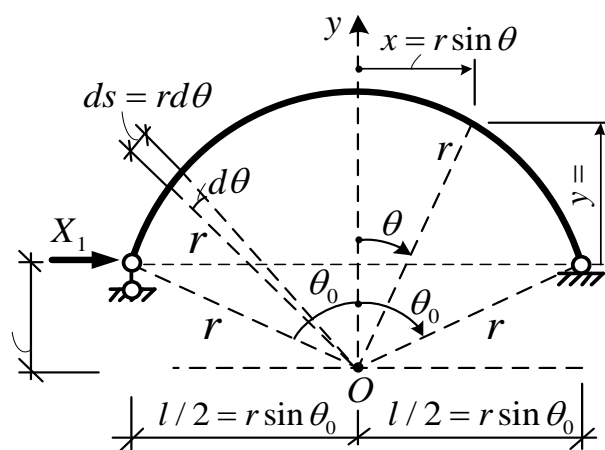


Рисунок 2 – Основная система метода сил

Для арок, оси которых изменяются по окружности, получение зависимостей удобно выполнять в полярной системе координат (рисунок 2). За полюс примем точку O в центре окружности, а в качестве оси для отсчета угла (θ) (по часовой стрелке) примем вертикальную ось y . Зависимость между декартовой (x, y) и полярной (r, θ) системами координат принимает вид:

$$x = r \sin \theta; \quad y = r(\cos \theta - \cos \theta_0). \quad (1)$$

Геометрические соотношения здесь определяется зависимостями

$$r = \frac{l^2/4 + f^2}{2f}; \quad l = 2r \sin \theta_0; \quad f = r(1 - \cos \theta_0); \quad \operatorname{tg} \theta_0 = \frac{l}{2(r - f)}; \quad ds = r d\theta. \quad (2)$$

Двухшарнирная арка является статически неопределимой системой, имеющей одну лишнюю связь, и ее расчет будем выполнять методом сил. Рассматриваемая арка (рисунок 1) является симметричной относительно оси y , а при рассматриваемой нагрузке и симметрично нагружена, поэтому при ее расчете целесообразно использовать упрощения симметрии [2]. Основную систему метода сил получим, отбросив левую горизонтальную связь (рисунок 2). Ввиду отсутствия горизонтальных внешних нагрузок такая основная система метода сил удовлетворяет всем условиям симметрии.

Каноническое уравнение метода сил записывается в виде [1]

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1P} = 0. \quad (3)$$

Выражения для внутренних усилий в сечениях основной системы метода сил (для произвольного сечения x (θ)) от действия единичного неизвестного ($X_1 = 1$) записываются в виде:

$$\bar{M}_1 = -y = -r(\cos \theta - \cos \theta_0); \quad \bar{Q}_1 = \sin \theta; \quad \bar{N}_1 = -\cos \theta. \quad (4)$$

Единичное перемещение δ_{11} (6) вычислим по формуле Мора

$$\delta_{11} = \int_0^s \frac{\bar{M}_1^2 ds}{EJ} + \int_0^s \eta \frac{\bar{Q}_1^2 ds}{GA} + \int_0^s \frac{\bar{N}_1^2 ds}{EA}, \quad (5)$$

где EJ , GA , EA – жесткости сечений арки соответственно на изгиб, сдвиг и растяжение-сжатие; η – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по высоте сечений при изгибе.

Подставив выражения (4) в (5), учитывая, что $ds = r d\theta$ (2), и выполнив интегрирование по θ (в пределах от $-\theta$ до $+\theta$), получим перемещение δ_{11} в виде

$$\delta_{11} = \frac{r^3}{EJ} \left[\theta_0 (1 + 2 \cos^2 \theta_0) - 1,5 \sin 2\theta_0 \right] + \frac{\eta r}{GA} \left[\theta_0 - \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right] + \frac{r}{EA} \left[\theta_0 + \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right], \quad (6)$$

где первое слагаемое учитывает влияние изгибающих моментов, второе и третье – соответственно поперечных и продольных сил.

Внешняя нагрузка, действующая на арку, изменяется по параболической зависимости и симметрична (рисунок 4).

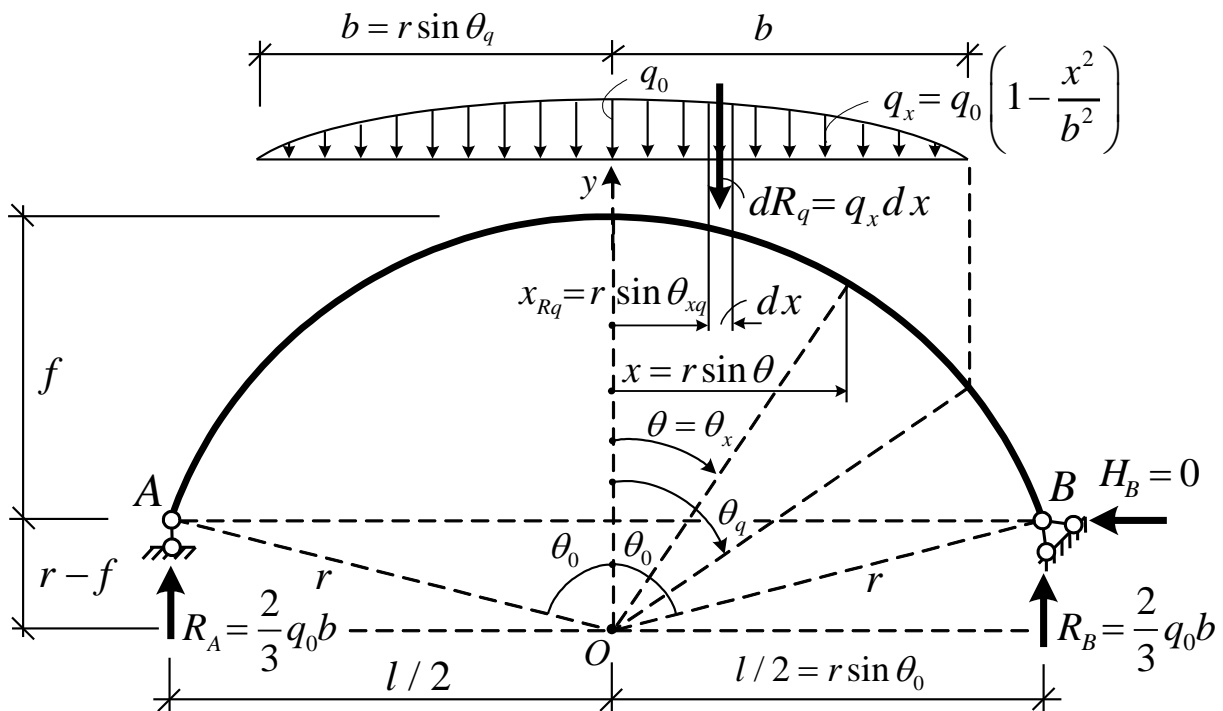


Рисунок 4 – Расчетная схема действия внешней нагрузки

Равнодействующая внешней нагрузки равна:

$$R_q = \int_{-b}^b q dx = q_0 \int_{-b}^b \left(1 - \frac{x^2}{b^2}\right) dx = \frac{4}{3} q_0 b.$$

Вертикальные опорные реакции ввиду симметричности системы и нагрузки будут равны половине равнодействующей нагрузки

$$R_A = R_B = \frac{2}{3} q_0 b. \quad (7)$$

Для получения выражений внутренних сил в сечении x от действия внешних нагрузок, распределенных по параболической зависимости, рассмотрим равновесие правых частей арки относительно сечений и выразим внутренние силы через опорные реакции и внешнюю нагрузку (рисунок 5).

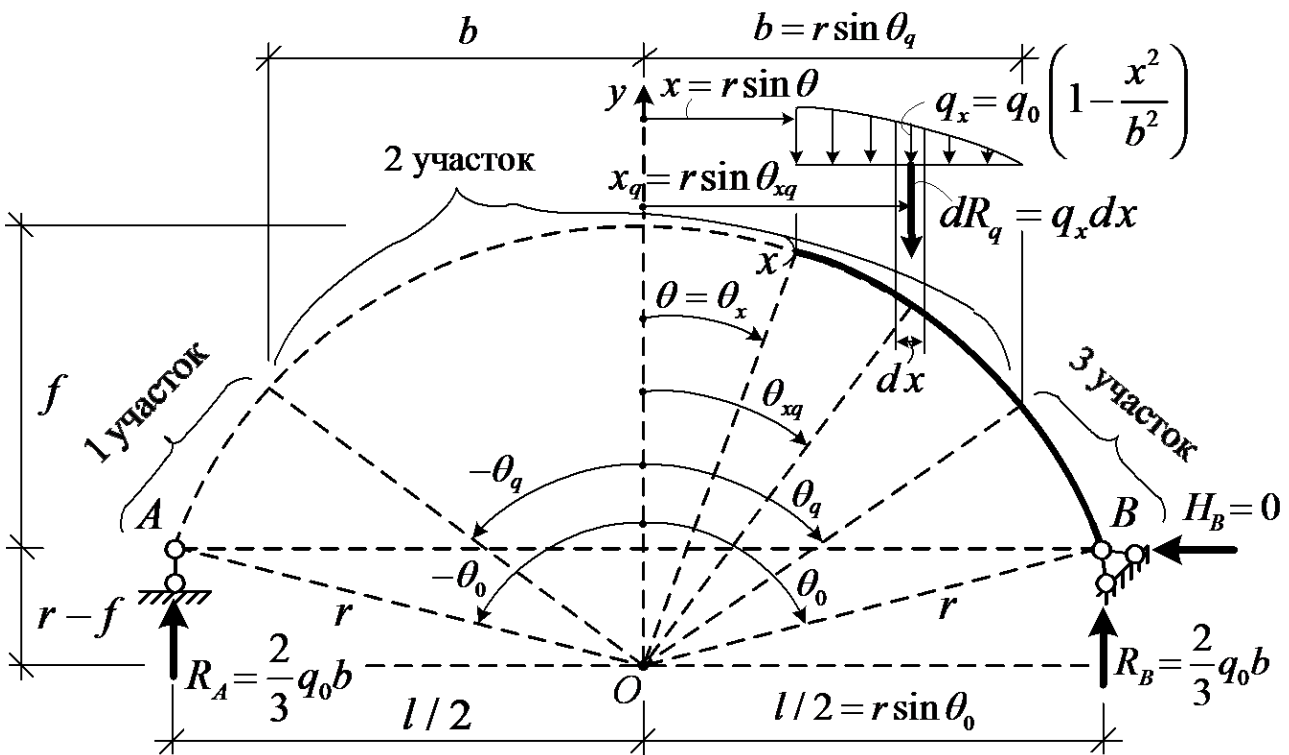


Рисунок 5 – Правая отсеченная часть арки

На участке 1 при рассмотрении левой части арки изгибающий момент в сечении можно выразить только через опорную реакцию

$$M_{q(1)} = R_A \left(\frac{l}{2} + x \right) = R_A \left(\frac{l}{2} + r \sin \theta \right). \quad (8)$$

Изгибающий момент в сечении, расположенном на участке действия распределенной нагрузки (участок 2 – см. рисунок 5), вычислим из рассмотрения правой части, интегрируя элементарную нагрузку на бесконечно малом участке dx в пределах действия нагрузки

$$M_{q(2)} = R_B \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right) - q_0 \int_x^b \left(1 - \frac{x_q^2}{b^2} \right) (x_q - x) dx_q =$$

$$= +R_B \left(\frac{l}{2} - x \right) - q_0 \left[\frac{1}{2} (b^2 - x^2) - x(b - x) - \frac{1}{4b^2} (b^4 - x^4) + \frac{x}{3b^2} (b^3 - x^3) \right],$$

или в полярной системе координат

$$M_{q(2)} = \frac{1}{2} R_B \cdot l + q_0 \left(-\frac{1}{4} b^2 - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta + \frac{1}{12} \frac{r^4}{b^2} \sin^4 \theta \right). \quad (9)$$

На участке 3 (без распределенной нагрузки) изгибающий момент в сечении при рассмотрении правой части, будет определяться только опорной реакцией

$$M_{q(3)} = R_B \left(\frac{l}{2} - x \right) = R_B \left(\frac{l}{2} - r \sin \theta \right). \quad (10)$$

Поперечная сила на участках 1, 2 и 3 определится зависимостями

$$Q_{q(1)} = R_A \cos \theta; \quad Q_{q(3)} = -R_B \cos \theta; \quad (11)$$

$$Q_{q(2)} = -R_B \cos \theta + \left[q_0 r \int_{\theta}^{\theta_q} \left(1 - \frac{r^2 \sin^2 \theta}{b^2} \right) d\theta \right] \cos \theta =$$

$$= q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \cos \theta. \quad (12)$$

Продольная сила на участках 1, 2 и 3 определяется зависимостями

$$N_{q(1)} = R_A \sin \theta; \quad N_{q(3)} = -R_B \sin \theta; \quad (13)$$

$$N_{q(2)} = -R_B \sin \theta + \left[q_0 r \int_{\theta}^{\theta_q} \left(1 - \frac{r^2 \sin^2 \theta}{b^2} \right) d\theta \right] \sin \theta =$$

$$= q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \sin \theta. \quad (14)$$

Грузовое перемещение найдём по формуле Мора вида [1]

$$\Delta_{1q} = \Delta_{1q}^M + \Delta_{1q}^Q + \Delta_{1q}^N = \sum \int \frac{\bar{M}_1 M_q ds}{EJ} + \sum \int \eta \frac{\bar{Q}_1 Q_q ds}{GA} + \sum \int \frac{\bar{N}_1 N_q ds}{EA}. \quad (15)$$

Вычислим отдельно каждое из слагаемых, учитывающих соответственно три вида внутренних сил в арке – усилия M , Q и N . Учитывая симметричность арки, нагрузки и эпюры усилий, выполним интегрирование отдельно по правой половине участка 2 и участку 3 и удвоим полученные результаты

$$\begin{aligned}
\Delta_{1q}^M &= \frac{2}{EJ} \left[\int_0^{\theta_q} (M_{q(2)} \cdot \bar{M}_{1x}) + \int_{\theta_q}^{\theta_0} (M_{q(3)} \cdot \bar{M}_{1x}) \right] r d\theta = \\
&= \frac{2}{EJ} \int_0^{\theta_q} \left\{ \left[\frac{1}{2} R_B \cdot l + q_0 \left(-\frac{1}{4} b^2 - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta + \frac{1}{12} \frac{r^4}{b^2} \sin^4 \theta \right) \right] \cdot [-r(\cos \theta - \cos \theta_0)] \right\} r d\theta + \\
&\quad + \frac{2}{EJ} \int_{\theta_q}^{\theta_0} \left\{ R_B \left(\frac{l}{2} - r \sin \theta \right) \cdot [-r(\cos \theta - \cos \theta_0)] \right\} r d\theta = \\
&= \frac{q_0 r^4}{EJ} \left\{ \left(\frac{2lb}{3r^2} - \frac{b^2}{2r^2} \right) (\theta_q \cos \theta_0 - \sin \theta_q) + \frac{2}{3} \sin^3 \theta_q + \cos \theta_0 \left(\frac{1}{2} \sin 2\theta_q - \theta_q \right) + \right. \\
&\quad \left. + \frac{r^2}{6b^2} \left[\frac{1}{4} \sin \theta_0 \left(\theta_q - \sin 2\theta_q + \frac{1}{8} \sin 4\theta_q - \frac{1}{5} \sin^5 \theta_q \right) \right] \right\} + \frac{4q_0 b r^3}{3EJ} \left\{ \frac{1}{2} (\sin^2 \theta_0 - \sin^2 \theta_q) - \right. \\
&\quad \left. - \frac{l}{2r} (\sin \theta_0 - \sin \theta_q) + \cos \theta_0 \left[(\cos \theta_0 - \cos \theta_q) + \frac{l}{2r} (\theta_0 - \theta_q) \right] \right\}; \quad (16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{1q}^Q &= \frac{2}{GA} \left[\int_0^{\theta_q} (Q_{q(2)} \bar{Q}_{1x}) + \int_{\theta_q}^{\theta_0} (Q_{q(3)} \bar{Q}_{1x}) \right] r d\theta = \frac{2}{GA} \int_0^{\theta_q} \left\{ q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \cos \theta \sin \theta \right\} r d\theta - \frac{2}{GA} \int_{\theta_q}^{\theta_0} \left(\frac{2q_0 b}{3} \cos \theta \sin \theta \right) r d\theta = \\
&= \frac{q_0 r^2}{GA} \left\{ \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \theta_q + \frac{r^2}{4b^2} \sin 2\theta_q \right] \cdot \sin^2 \theta_q + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \left[\theta_q (\cos 2\theta_q - 1) - \frac{1}{2} \sin 2\theta_q \right] + \right. \\
&\quad \left. + \frac{r^2}{8b^2} \left(\frac{1}{4} \sin 4\theta_q - \theta_q \right) + \frac{2b}{3r} (\sin^2 \theta_q - \sin^2 \theta_0) \right\}; \quad (17)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{1q}^N &= \frac{2}{EA} \left[\int_0^{\theta_q} (N_{q(2)} \bar{N}_{1x}) + \int_{\theta_q}^{\theta_0} (N_{q(3)} \bar{N}_{1x}) \right] r d\theta = \quad (18) \\
&= \frac{2}{GA} \int_0^{\theta_q} \left\{ q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \sin \theta \cos \theta \right\} r d\theta + \\
&\quad + \frac{2}{GA} \int_{\theta_q}^{\theta_0} \left(\frac{2q_0 b}{3} \sin \theta \cos \theta \right) r d\theta = \frac{q_0 r^2}{GA} \left\{ - \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \theta_q + \frac{r^2}{4b^2} \sin 2\theta_q \right] \cdot \sin^2 \theta_q - \right. \\
&\quad \left. - \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \left[\theta_q (\cos 2\theta_q - 1) - \frac{1}{2} \sin 2\theta_q \right] - \frac{r^2}{8b^2} \left(\frac{1}{4} \sin 4\theta_q - \theta_q \right) - \frac{2b}{3r} (\sin^2 \theta_q - \sin^2 \theta_0) \right\};
\end{aligned}$$

Подставляя вычисленные единичное и грузовое перемещения в уравнение (3) и решая его, найдем неизвестное метода сил X_1 , зная которое зависимости для внутренних сил в сечениях арки могут быть получены по формулам:

$$\begin{aligned}
 M_{\theta} &= \bar{M}_{1\theta} \cdot X_1 + M_{q\theta}; \\
 Q_{\theta} &= \bar{Q}_{1\theta} \cdot X_1 + Q_{q\theta}; \\
 N_{\theta} &= \bar{N}_{1\theta} \cdot X_1 + N_{q\theta}.
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Список цитированных источников

1. Дарков, А. В. Строительная механика : учебник / А. В. Дарков. – М. : Высшая школа, 1976. – 600 с.

УДК 316.4

Пенченков И. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.

КОМФОРТ И УСТОЙЧИВОСТЬ: АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ УЛИЦ ГОРОДА БРЕСТА

Введение

Архитектурная среда улиц города играет ключевую роль в формировании комфортной и устойчивой городской среды. Исследование архитектурной среды улиц города Бреста имеет особое значение, учитывая его историческое наследие, географическое положение и социокультурный контекст. В данной работе проведен анализ пяти участков улицы Советской в городе Бресте с целью выявления проблем, преимуществ и недостатков архитектурной среды.

Цель исследования заключается в систематическом изучении архитектурной среды улиц города Бреста с точки зрения комфорта и устойчивости. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Описать особенности и характеристики каждого из пяти участков улицы Советской.
- Выявить проблемы, влияющие на комфорт, с которыми сталкиваются жители и посетители улицы Советской.
- Определить преимущества и достоинства архитектурной среды каждого участка.
- Предложить рекомендации по улучшению архитектурной среды улиц города Бреста на основе проведенного анализа.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью создания современной, функциональной и устойчивой городской среды, способствующей повышению качества жизни горожан и привлечению туристов. Результаты исследования могут быть использованы городскими властями, архитекторами и градостроителями для принятия обоснованных решений по улучшению архитектурной среды города Бреста.

Понятие комфорта

Комфорт в контексте городской среды относится к уровню удобства, удовлетворения и благополучия, которое люди ощущают в данном месте или пространстве. Комфорт может включать в себя физиологические, психологические