

Для цитирования: А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Т.О. Устарханов. Расчёт металлодеревянной подкрановой балки. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (3):122-131. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-122-131

For citation: A. K. Yusupov, H. M. Muselemov, T.O. Ustarhanov. Metal-wood crane beam calculation. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(3):122-131. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-122-131

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.011

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-3-122-131

РАСЧЁТ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ

А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Т.О. Устарханов

Дагестанский государственный технический университет,
367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Разработка конструкций и расчет металлодеревянных подкрановых балок сопряжены с определенными трудностями. В статье рассматриваются методики расчета и проектирования металлодеревянных подкрановых балок. При этом излагается алгоритм, который позволяет проектировать рациональные по расходу материала системы. **Метод.** В качестве примера принята металлодеревянная балка пролетом 12м, на которую действуют мостовые краны грузоподъемностью 30тс. Работа металлодеревянной подкрановой балки сравнивалась с дощатоклееной подкрановой балкой без усиления. Для расчета дощатоклееной балки, усиленной металлическими элементами (или металлодеревянная балка), «отбрасываем» элементы усиления и заменяем их упругоподатливыми опорами. Податливость этих опор учитывается с помощью коэффициента упругих опор - r , который определяется в зависимости от жесткости опор, а усилие в металлических элементах находим из равновесия узлов. **Результат.** В обоих вариантах нагружения металлодеревянных подкрановых балок показало, что наибольший изгибающий момент имеет место при расположении колеса мостового крана над упругой опорой. **Вывод.** Металлодеревянную подкрановую балку рационально использовать при действии мостовых кранов грузоподъемностью до 30 тс; металлодеревянные подкрановые балки рекомендуется проектировать пролетами до 12 м; сравнение дощатоклееных подкрановых балок с металлодеревянными показало, что металлодеревянные балки на 40-55% эффективнее.

Ключевые слова: подкрановая балка, упругоподатливая опора, мостовой кран, усиление, грузоподъемность, дощатоклееная балка

METAL-WOOD CRANE BEAM CALCULATION

A. K. Yusupov, H.M. Muselemov, T. O. Ustarhanov

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The development of structures and calculation of metal-wood crane beams are associated with specific difficulties. The article discusses the methods of calculation and design of metal-wood crane beams. In this case, an algorithm is described that allows designing systems that are rational in terms of material consumption. **Methods.** As an example, a metal-wood beam with a span of 12 m is used, which is supported by overhead cranes with a load capacity of 30 tf. The operation of a metal-wood crane beam was compared with a glue laminate crane beam without reinforcement. The reinforcement elements are "discarded" and replaced with elasto-yielding supports to calculate a glue laminate beam reinforced with metal elements (or a metal-wood beam). The flexibility of these supports is taken into account using the elastic support ratio r , which is determined depending

on the stiffness of the supports, and the force in the metal elements is derived from the nodes balance. **Result.** In both variants of loading metal-wood crane beams, it was shown that the greatest bending moment occurred when the bridge wheel was located above the elastic support. **Conclusion.** It is rational to use a metal-wood crane beam when operating bridge cranes with a lifting capacity of up to 30 tf; metal-wood crane beams are recommended to be designed with spans up to 12 m; the comparison of glue laminate crane beams with metal-wood beams showed that metal-wood beams were 40–55% more efficient.

Keywords: crane beam, elasto-yielding support, bridge crane, reinforcement, lifting capacity, glue laminate beam

Введение. Алгоритм расчета металлодеревянных подкрановых балок приведен в работах авторов [1,8,12], где подробно показана последовательность определения внутренних усилий и размеров сечения конструкции. На рис. 1 показана конструктивная схема металла - деревянной подкрановой балки. Основным элементом конструкции является дощатоклееная балка. Для повышения несущей способности и усиления дощатоклееной подкрановой балки (как известно на подкрановые балки действуют крановые нагрузки при различных режимах работы мостовых кранов, которые вызывают большое напряжение и деформации) применяют металлические элементы [2-7,9].

В целом такая конструктивная схема позволит (по нашему мнению) применить их на практике, облегчая конструкцию и уменьшая расход металла. Как было отмечено в работах [8,12] металлодеревянную подкрановую балку желательно применять для мостовых кранов среднего режима работы и грузоподъемностью до 30тс при шаге колон 6 или 12м.

Постановка задачи. В качестве примера принята металлодеревянная балка пролетом 12м, на которую действуют мостовые краны грузоподъемностью 30тс. Работа металлодеревянной подкрановой балки сравнивалась с дощатоклееной подкрановой балкой без усиления. Как известно, для определения наибольшего изгибающего момента в однопролетной подкрановой балке обычно пользуются правилом Викалера, в соответствии с которым мостовые краны перемещают по длине пролета с определенным шагом [8], а на каждом шаге вычисляют внутренние усилия. Однако этот метод не применим для трех пролетных балок с упругими опорами. В этом случае для практических расчетов достаточно рассмотреть два варианта загрузки дощатоклееной подкрановой балки двумя мостовыми кранами:

1. Оба крана располагаются симметрично относительно середины пролета балки (рис.2);
2. Когда одно из колес двух кранов располагается над упругоподатливой опорой (рис.3).

На данных рисунках элементы усиления заменены упругоподатливыми опорами. Как было отмечено выше, расчет металлодеревянной балки проводим по методам, изложенным в работах [8,12].

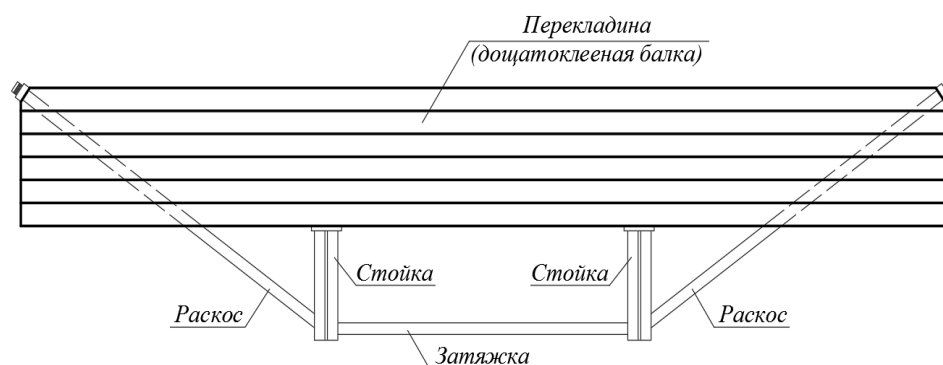


Рис.1. Конструктивная схема металлодеревянной подкрановой балки
Fig. 1. Structural diagram of a metal-wood crane girder

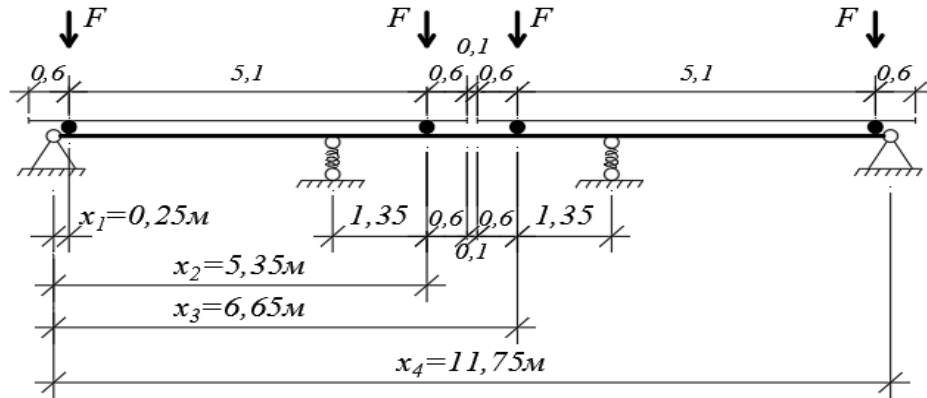


Рис. 2. Нагрузки подкрановой балки с упруго- податливыми опорами по первому варианту

Fig. 2. Loads of the crane girder with elastic yielding supports according to the first option

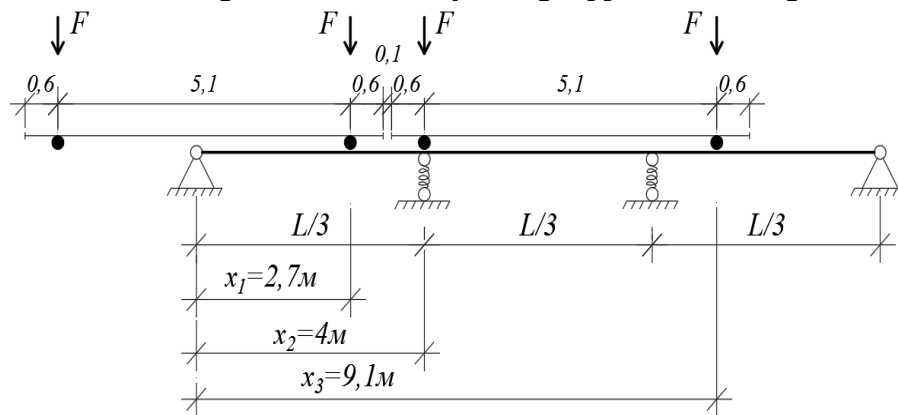


Рис. 3. Нагрузки подкрановой балки с упруго- податливыми опорами по второму варианту

Fig. 3. Loads of the crane girder with elastic-filing supports according to the second option

Методы исследования. Для расчета используем дифференциальное уравнение поперечного изгиба подкрановой балки [8,11,12]:

$$EJy''''(x) = y(x_0) - X_1\delta(x, l_1) - X_2\delta(x, l_2), \quad (1)$$

где: EJ- жесткость сечения подкрановой балки при изгибе;

y (x) - функция прогибов;

$\delta(x, l_i)$ - дельта функция;

X_1, X_2 - реакции упруго-податливых опор.

Прогиб определим по формуле:

$$y(x) = y_0(x) - X_1G(x, l_1) - X_2G(x, l_2), \quad (2)$$

$$\text{где: } y_0(x) = \sum_{i=0}^6 \int_0^l G(x, \xi) \cdot F_i \delta(\xi - x_i) d\xi = \sum_{i=0}^6 \int_0^l G(x, x_i),$$

$\delta(\xi - x_i)$ - дельта-функция;

$$G_1(x, \xi) = - \frac{1}{EJ} \left[\left(1 - \frac{\xi}{l} \right) \frac{x^3}{6} + A \cdot x \right],$$

$$G_2(x, \xi) = - \frac{1}{EJ} \left[- \frac{\xi}{l} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{\xi}{2} x^2 + Bx + D \right].$$

Каждая из функций G_1 и G_2 справедлива в пределах своего участка:

$G = G_1$ при $x < \xi$, $G = G_2$ при $x \geq \xi$.
 Неизвестные силы X_1 и X_2 , входящие в равенство (2) определяются формулами:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{y_0(l_2) \cdot G(l_1, l_2) - y_0(l_1) \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}{G(l_2, l_1) \cdot G(l_1, l_2) - [G(l_1, l_1) + \frac{1}{r}] \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}, \\ X_2 &= \frac{y_0(l_1) \cdot G(l_1, l_2) - y_0(l_2) \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}{G(l_2, l_1) \cdot G(l_1, l_2) - [G(l_1, l_1) + \frac{1}{r}] \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}. \end{aligned} \quad (3)$$

где: $r = E \rho$ A_p $h_{ст} / l_p$ – коэффициент податливости упругоподатливых опор; E , A_p , l_p , $h_{ст}$ – параметры металлических элементов усиления [2-5, 7, 10] Для облегчения дальнейших расчетов максимально упрощаем формулы (3)

$$\begin{aligned} G(l_1, l_2) &= G(\frac{l}{3}, \frac{2l}{3}) = G(4, 8) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{7l}{486}; \\ G(l_1, l_1) &= G(\frac{l}{3}, \frac{l}{3}) = G(4, 4) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{4l}{243}; \\ G(l_2, l_1) &= G(\frac{2l}{3}, \frac{l}{3}) = G(8, 4) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{7l}{486}; \\ G(l_2, l_2) &= G(\frac{2l}{3}, \frac{2l}{3}) = G(8, 8) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{4l}{243}; \end{aligned}$$

Для упрощения выражения для $y_0(x)$ (2) введём обозначение

$$\begin{aligned} \alpha(x) &= \sum F_i \{ [1 - e(x - x_i)] \cdot \left[(1 - \frac{x_i}{l}) \frac{x^3}{6} + x(\frac{x_i^2}{2} - \frac{x_i l}{3} - \frac{x_i^3}{6l}) \right] + \\ &+ e(x - x_i) \cdot \left[-\frac{x_i x^3}{6 \cdot l} + \frac{x_i x^2}{2} + x(\frac{x_i l}{3} - \frac{x_i^3}{6l}) + \frac{x_i^3}{6} \right] \}. \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда получаем

$$y_0(x) = -\frac{1}{EJ} \alpha(x). \quad (5)$$

Подставляя полученные значения в формулу (3), делая несложные преобразования и введя безразмерный коэффициент $k = \frac{EJ}{rl^3}$ неизвестные, представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} X_1 &= -\frac{\alpha(l_2) \cdot \frac{7}{486} - \alpha(l_1) \cdot (\frac{4}{243} + k)}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])}, \\ X_2 &= -\frac{\alpha(l_1) \cdot \frac{7}{486} - \alpha(l_2) \cdot (\frac{4}{243} + k)}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])}. \end{aligned} \quad (6)$$

Далее введём следующие обозначения:

$$\beta(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot \beta_1(x, \xi) + e(x - \xi) \cdot \beta_2(x, \xi);$$

$$\beta(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot \left[\left(1 - \frac{\xi}{l}\right) \frac{x^3}{6} + x \left(\frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l} \right) + \right. \\ \left. + e(x - \xi) \cdot \left[-\frac{\xi x^3}{6 \cdot l} + \frac{\xi x^2}{2} + x \left(\frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l} \right) + \frac{\xi^3}{6} \right] \right];$$

Тогда функция Грина (1) принимает вид

$$G(x, \xi) = -\frac{1}{EJ} \beta(x, \xi). \quad (7)$$

С учетом всех преобразований и новых обозначений функции прогибов (1) определяем формулой

$$y(x) = -\frac{1}{EJ} \Sigma F_i \cdot \alpha(x) + \frac{1}{EJ} X_1 \beta(x, l_1) + \frac{1}{EJ} X_2 \beta(x, l_2). \quad (8)$$

Изгибающие моменты и поперечные силы можно записать в виде:

$$M(x) = \Sigma F_i \cdot \alpha(x) - X_1 \frac{\partial^2 \beta(x, l_1)}{\partial x^2} - X_2 \frac{\partial^2 \beta(x, l_2)}{\partial x^2}, \quad (9)$$

$$Q(x) = \Sigma F_i \cdot \alpha(x) - X_1 \frac{\partial^3 \beta(x, l_1)}{\partial x^3} - X_2 \frac{\partial^3 \beta(x, l_2)}{\partial x^3}. \quad (10)$$

Для проверки правильности предложенных выше формул выполним расчет для первого и второго вариантов загрузки подкрановой балки (рис.2). Расчет первого варианта проведем для случаев - $k=0,0000061$ и $l_1 = \frac{l}{3} = 4$ м.

Координаты сосредоточенных сил, действующих на шпренгельную балку, в местах приложения колес мостового крана:

$$x_1=0.25\text{м}; x_2=5.35\text{м}; x_3=6.65\text{м}; x_4=11.75\text{м}; l_1 = \frac{l}{3}.$$

Вычислим 1-е слагаемое суммы в функции (13) при $x_1 = 0.25\text{м}$

$$\alpha(l_1) = -\left[-\frac{0.25\text{м} \cdot 12^2 \text{м}^2}{81 \cdot 2} + \frac{0.25\text{м} \cdot 12^2 \text{м}^2}{18} - \frac{12\text{м}}{3} \left(\frac{0.25\text{м} \cdot 12\text{м}}{3} + \frac{0.25^3 \text{м}^3}{6 \cdot 12} \right) + \frac{0.25^3 \text{м}^3}{6} \right].$$

$$\cdot 315\text{кН} = 2.22F = 699.3\text{кН} \cdot \text{м}^3.$$

Аналогично вычисляются и другие значения слагаемых функции (13).

При $x_2 = 5.35\text{м}$ и $F = 315\text{кН}$ 2-е слагаемое

$$9750.195\text{кН} \cdot \text{м}^3.$$

при $x_3 = 6.65\text{м}$ и $F_2 = 315\text{кН}$

3-е слагаемое

$$9303.84\text{кН} \cdot \text{м}^3.$$

при $x_4 = 11.75\text{м}$ и $F = 315\text{кН}$

4-е слагаемое

$$560.07\text{кН} \cdot \text{м}^3.$$

Суммируя все полученные выше значения слагаемых, окончательно найдем,

$$\alpha(l_1) = (699.3 + 9750.195 + 9303.84 + 560.07)\text{кН} \cdot \text{м}^3 = 20313.405\text{кН} \cdot \text{м}^3;$$

По изложенной выше методике вычислены и другие значения функции (13) при: $l_1 = \frac{2l}{3}$;

$$x_1=0.25\text{м}; x_2=5.35\text{м}; x_3=6.65\text{м}; x_4=11.75\text{м}.$$

$$\alpha(l_2) = (560.07 + 9303.84 + 9749.565 + 699.93)\text{кН} \cdot \text{м}^3 = 20313.405\text{кН} \cdot \text{м}^3;$$

Из системы (15) определим неизвестные X_1 и X_2 :

$$X_1 = - \frac{20313.405 kH \cdot m^3 \cdot \frac{7}{486} - 20313.405 kH \cdot m^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 m^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 380.789 kH;$$

$$X_2 = - \frac{20313.405 \cdot m^3 \cdot \frac{7}{486} - 20313.405 kH \cdot m^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 m^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 380.789 kH;$$

Аналогичный расчет проведем для второго варианта загрузки подкрановой балки (рис.3) при $l_1 = l/3 = 4m$ и $k = 0.0000061$.

Координаты сосредоточенных сил, действующих на шпренгельную балку, в местах приложения колес мостового крана:

$$x_1 = 2.7m; \quad x_2 = 4m; \quad x_3 = 9.1m; \quad l_1 = \frac{l}{3} = 4m.$$

Вычислим 1-е слагаемое суммы в функции (13) при $x_1 = 2.7m$

$$\alpha(l_1) = - \left[- \frac{2.7m \cdot 12^2 m^2}{81 \cdot 2} + \frac{2.7m \cdot 12^2 m^2}{18} - \frac{12m}{3} \left(\frac{2.7m \cdot 12m}{3} + \frac{2.7^3 m^3}{6 \cdot 12} \right) + \frac{2.7^3 m^3}{6} \right] \cdot 315 kH = 21.811 F = 6870.465 kH \cdot m^3.$$

Аналогично вычисляются и другие значения слагаемых функции (13).

При $x_2 = 4m$ и $F = 315 kH$ 2-е слагаемое

$$8119.755 kH \cdot m^3. \quad \text{при } x_3 = 9.1m \text{ и } F_2 = 315 kH \quad \text{3-е слагаемое}$$

$$6068.79 kH \cdot m^3.$$

Суммируя все полученные выше значения слагаемых, окончательно найдем,

$$\alpha(l_1) = (6870.465 + 8119.755 + 6068.79) kH \cdot m^3 = 21059.01 kH \cdot m^3;$$

По изложенной выше методике вычислены и другие значения функции (13) при: $l_1 = \frac{2l}{3}$;

$$x_1 = 2.7m; \quad x_2 = 4m; \quad x_3 = 9.1m.$$

$$\alpha(l_2) = (5702.445 + 7840.035 + 8210.79) kH \cdot m^3 = 20808.27 kH \cdot m^3;$$

Из системы (15) определим неизвестные X_1 и X_2 :

$$X_1 = - \frac{20808.27 kH \cdot m^3 \cdot \frac{7}{486} - 21059.01 kH \cdot m^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 m^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 427.528 kH;$$

$$X_2 = - \frac{21059.01 kH \cdot m^3 \cdot \frac{7}{486} - 20808.27 kH \cdot m^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 m^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 357.228 kH;$$

Определив опорные реакции R_A и R_B в металлодеревянных подкрановых балках построим эпюры $M(x)$ и $Q(x)$ для обоих вариантах загрузки (рис. 4 и 5).

Обсуждение результатов. Сравнение обоих вариантов нагружения подкрановых металлодеревянных балок показал, что наибольший изгибающий момент имеет место при втором варианте. Для этой балки максимальные внутренние усилия равны: $M_{\max} = 340.618 kH \cdot m$; $Q_{\max} = 280.911 kH$. Сечение дощатоклееного элемента металлодеревянной балки (рис.1) примем прямоугольной сплошной формы. Ширину сечения равным $b = 25cm$. Высоту

сечения, предварительную, определим при помощи формулы: $h = (1/8 - 1/12)L$. Исходя из этого берём $h = (1/10)L = 120\text{см}$.

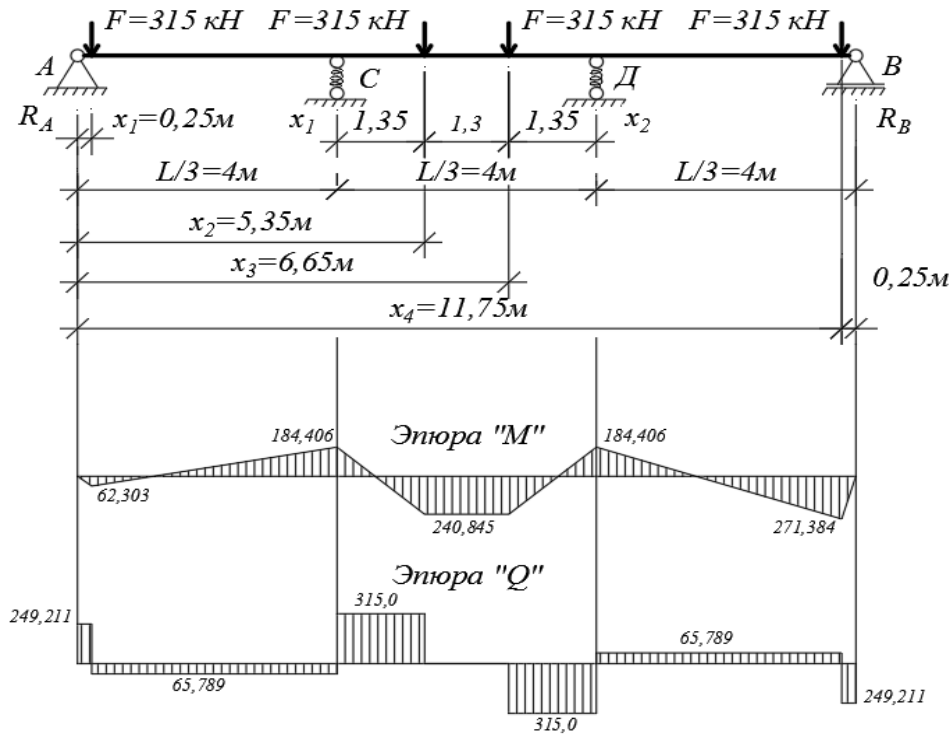


Рис. 4. Эпюры M и Q для первого варианта загрузки подкрановой балки
 Fig. 4. Diagrams M and Q for the first variant of loading the crane girder

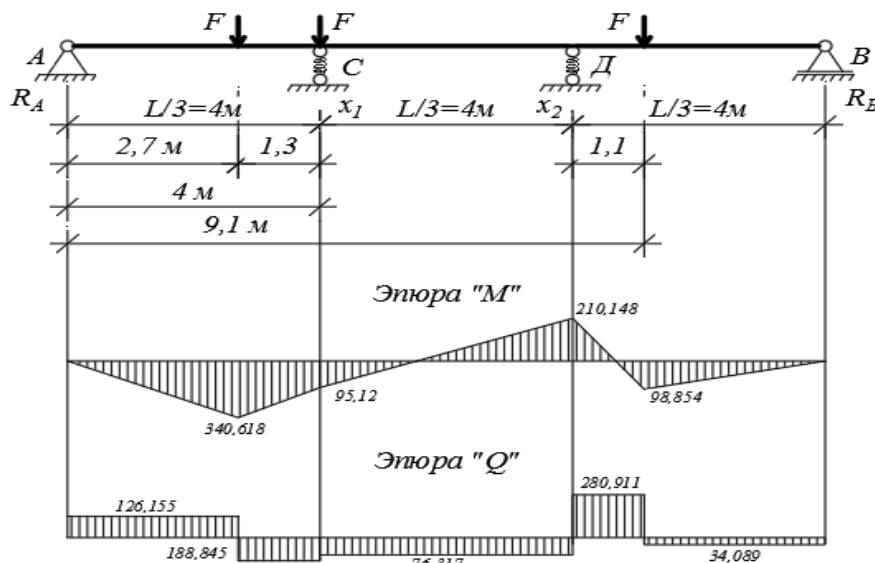


Рис. 5. Эпюры M и Q для второго варианта загрузки подкрановой балки
 Fig. 5. Diagrams M and Q for the second variant of loading the crane girder

Далее определим размеры металлических элементов усиления металлодеревянной подкрановой балки и проверим напряжение. Усилие в металлических элементах найдем из равновесия узлов показанных на рис. 6.

Из равновесии узлов 1, 2, 3 и 4 найдем усилия в их элементах:

$$N_{1-3} = -X_1 = -427.528\text{кН} = F_{\text{ст}}; \quad N_{2-4} = -X_2 = -357.228\text{кН} = F_{\text{ст}};$$

$$N_{3-4} = N_{A-3} \cdot \cos\alpha = 2180.153 \cdot 0.9806 = 2137.858\text{кН};$$

$$N_{A-3} = N_{1-3} / \sin\alpha = 427.528 / 0.1961 = 2180.153\text{кН};$$

$$N_{B-4} = N_{4-2} / \sin\alpha = 357.226 / 0.1961 = 1821.662\text{кН};$$

$$N_{4-3} = N_{B-4} \cdot \cos\alpha = 1821.662 \cdot 0.9806 = 1786.322\text{кН}.$$

В качестве расчетного значения усилия будем возьмем бóльшее из двух, т.к. элементы конструкций симметричны.

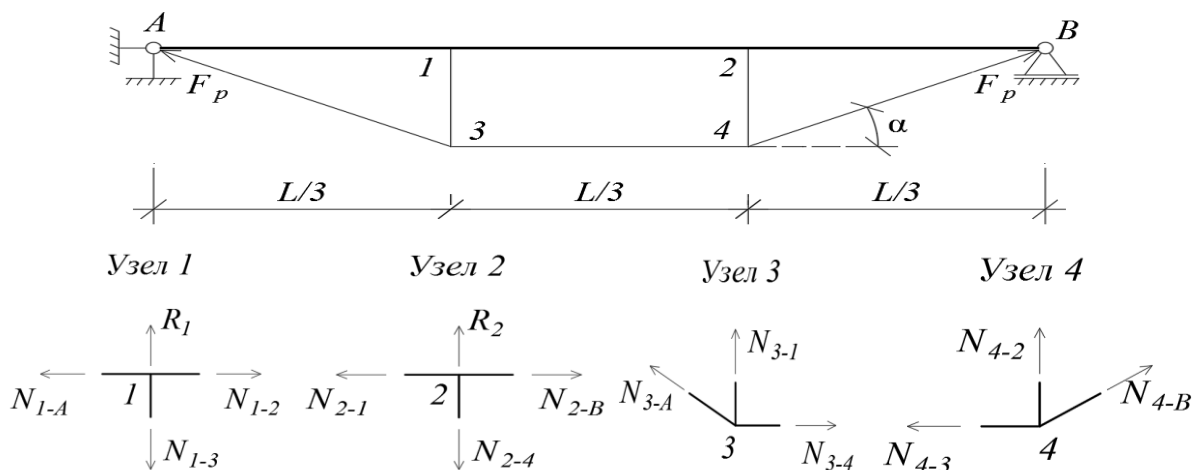


Рис. 6. Расчетная схема элемента усиления и его узлов

Fig. 6. Design diagram of the reinforcement element and its nodes

Нормальные напряжения в дощатоклееной балке подкрановой конструкции определим по формуле [1,6,12]: $\sigma = N_{3-4}/A_{нт} + M_{\max}/W_{нт} \leq R_c m_c m_b = 213785.8/25 \cdot 120 + 3406180/60000 = 71.262 + 56.77 = 128.032 \text{ кгс/см}^2 \leq R_c m_c m_b = 180 \cdot 1 \cdot 0.8 = 144 \text{ кгс/см}^2$.

Касательные напряжения:

$$\tau = \frac{S \cdot Q_{\max}}{I_n \cdot b} = \frac{45000 \text{ см}^3 \cdot 218.911 \text{ кН}}{3600000 \text{ см}^4 \cdot 25 \text{ см}} = 0.11 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < \gamma R_{cc} = 0.9 \cdot 2.4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 2.16 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

где S – статический момент половины сечения перекладины;

$Q_{\max}$ – максимальная поперечная сила;

I_n – момент инерции перекладины;

b – ширина сечения перекладины.

1. Подбор сечения раскосов. Растягивающее усилие $F_p = N_{A-3} = 2180.153 \text{ кН}$.

$$\frac{F_p}{A_{\text{нетто}}} \leq \gamma R$$

Здесь $A_{\text{нетто}}$ – площадь поперечного сечения элемента в ослабленном месте;

γ – коэффициент условий работы, принимаем 0,9;

R – расчетное сопротивление стали, принимаемое по СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [5].

По временному сопротивлению

$$R = \frac{R_s^H}{\gamma_m} = \frac{365 \text{ МПа}}{1.025} = 356 \text{ МПа}; \quad A_{\text{нетто}} = \frac{F_p}{\gamma \cdot R_B^H} = \frac{2180.153 \text{ кН}}{0.9 \cdot 35.6} = 68.045 \text{ см}^2$$

Назначаем 2 стержня диаметром 5 см.

2. Подбор сечения затяжки. Растягивающее усилие $F_3 = N_{4-3} = 1786.322 \text{ кН}$.

По временному сопротивлению

$$R = \frac{R_s^H}{\gamma_m} = \frac{365 \text{ МПа}}{1.025} = 356 \text{ МПа}; \quad A_{\text{нетто}} = \frac{F_3}{\gamma \cdot R_B^H} = \frac{1786.322 \text{ кН}}{0.9 \cdot 35.6} = 55.75 \text{ см}^2;$$

Назначаем 2 стержня диаметром 4.5 см.

3. Подбор сечения стоек. Сжимающее усилие $F_c = 427.528 \text{ кН}$.

Условие устойчивости продольного изгиба стойки:

$$\frac{F_c}{\varphi_x \cdot A_c} \leq \gamma R = 0,9 \cdot 20 \frac{kH}{cm^2} = 18 \frac{kH}{cm^2}; \text{ где } A_c = \frac{F_c}{\varphi_x \cdot \gamma \cdot R} = \frac{427.528 kH}{0,782 \cdot 0,9 \cdot 20 \frac{kH}{cm^2}} = 30.37 cm^2;$$

Для определения коэффициента φ_x необходимо задаться гибкостью λ .

При известном расчетном сопротивлении $R = 20 \frac{kH}{cm^2}$ и $\lambda = 70$ коэффициент продольного изгиба $\varphi_x = 0,782$. Принимаем сечение стойки в виде двух швеллеров №18 с параллельными поясами.

Для оценки правильности выбора металлодеревянной подкрановой балки сравним её с дощатоклееной подкрановой балки. Пролет дощатоклееной балки и крановая нагрузка аналогичная, что и для металлодеревянной. Для определение размера поперечного сечения дощатоклееной балки приложим крановую нагрузку как ко второму варианту (без упругих опор, рис.7) и определим в ней внутренние усилия. С помощью них определим размеры поперечного сечения.

Ширину сечения балки назначим равным 25см, как и для металлодеревянной балки. Высоту сечения определим из допустимого изгибного напряжения $\sigma = M_{\max}/W_{\text{нт}} = M_{\max}/(b \cdot h^2/6) \leq R_c \cdot m_c \cdot m_b = 180 \cdot 1 \cdot 0.8 = 144 \text{ кгс/см}^2$, $h = (1711.5 \cdot 6 / b \cdot R_c \cdot m_c \cdot m_b)^{0.5} = 169 \text{ см}$, что на 40% больше чем высота металлодеревянной балки.

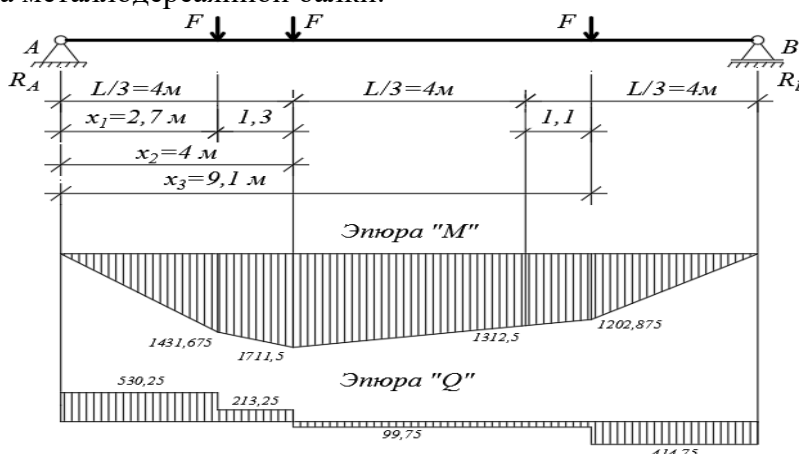


Рис. 7. Эпюры М и Q для однопролетной подкрановой балки
 Fig. 7. Diagrams M and Q for a single-span crane girder

Вывод. Анализ теоретических расчетов металлодеревянной подкрановой балки показал:

1. Металлодеревянную подкрановую балку рационально использовать при действии мостовых кранов грузоподъемностью до 30тс;
2. Металлодеревянные подкрановые балки рекомендуется проектировать пролетами до 12 м;
3. Сравнение дощатоклееных подкрановых балок с металлодеревянными показало, что металлодеревянные балки на 40-55% эффективнее.

Библиографический список:

1. Калугин А.В. Деревянные конструкции. М.: АСВ, 2008. 288 с.
2. Клыков В.М., Я.М. Лихтарников. Расчет стальных конструкций. М–75г. 230 с.
3. Металлические конструкции – под редакцией Е.И. Беленя, Москва, Стройиздат, 1986 г. 560 с.
4. Металлические конструкции/ Под ред. Ю.И. Кудишина. М.: Академия, 2008. 688 с.
5. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». М.: Стандартинформ, 2017. АО "НИЦ "Строительство" – ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 92 с.
6. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. М.: Стандартинформ, 2017. АО "НИЦ "Строительство" – ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 92 с.
7. Стальные конструкции. Справочник конструктора. Под ред. Мельникова Н.П. М.: Стройиздат, 1976. 328с.
8. Устарханов О.М., Юсупов А.К., Муселемов Х.М. Шпренгельные подкрановые балки. Махачкала: ДГТУ, 2016. 120 с.

9. Шуко В. Ю., Рощина С.Ю. Армированные деревянные конструкции в строительстве: учеб. пособие/2002. 68 с.
10. Юсупов А.К. Металлические конструкции в вопросах, в ответах и в проектировании. ДГТУ. Махачкала, 2010. 160с.
11. Юсупов А.К. Методы прикладной математики в строительной механике. Том 1. ДГТУ. Махачкала, 2008. 346с.
12. Юсупов А.К., Муселемов Х.М., Устарханов Т.О., Джалалов Ш.Г. Исследование металлодеревянной балки. Вестник машиностроения. №12. 2019. С.16-20

References:

1. Kalugin A.V. Derevyannyye konstruksii. M.: ASV, 2008. 288 s. [Kalugin A.V. Wooden structures. M. : ASV, 2008.288 p. (In Russ)]
2. Klykov V.M., YA.M. Likhtarnikov. Raschet stal'nykh konstruksiy. M-75g. [Klykov VM, Ya.M. Likhtarnikov. Calculation of steel structures. M-75. 230p. (In Russ)]
3. Metallicheskiye konstruksii – pod redaktsiyey Ye.I. Belenya, Moskva, Stroyizdat, 1986 g. [Metal structures - edited by E.I. Belenya, Moscow, Stroyizdat, 1986. 560 p. (In Russ)]
4. Metallicheskiye konstruksii/ Pod red. YU.I. Kudishina. M.: Akademiya, 2008. 688 s. [Metal structures / Ed. Yu.I. Kudishina. M. : Academy, 2008. 688 p. (In Russ)]
5. SP 16.13330.2017 «Stal'nyye konstruksii». M.: Standartinform, 2017. AO "NITS "Stroitel'stvo" – TSNIISK im. V.A. Kucherenko, 92 s. [SP 16.13330.2017 "Steel structures". M. : Standartinform, 2017. JSC "Research Center" Construction "-TsNIISK named after VA Kucherenko, 92 p. (In Russ)]
6. SP 64.13330.2017. Derevyannyye konstruksii. M.: Standartinform, 2017. AO "NITS "Stroitel'stvo" – TSNIISK im. V.A. Kucherenko, 92 s. [SP 64.13330.2017. Wooden structures. M. : Standartinform, 2017. JSC "Research Center" Construction "- TsNIISK named after VA Kucherenko, 92 p. (In Russ)]
7. Stal'nyye konstruksii. Spravochnik konstruktora. Pod red. Mel'nikova N.P. M.: Stroyizdat,1976. [Steel structures. Constructor reference. Ed. Melnikova N.P. Moscow: Stroyizdat, 1976. 328p.(In Russ)]
8. Ustarkhanov O.M., Yusupov A.K., Muselemov KH.M. Shprengel'nyye podkranovyye balki. Makhachkala: DGTU, 2016. 120 s. [Ustarkhanov OM, Yusupov AK, Muselemov Kh.M. Sprengel crane beams. Makhachkala: DSTU, 2016.120 p. (In Russ)]
9. Shchuko V. YU., Roshchina S.YU. Armirovannyye derevyannyye konstruksii v stroitel'stve: ucheb. posobiye/2002. 68 s. [Shchuko V. Yu., Roshchina S.Yu. Reinforced wooden structures in construction: textbook manual / 2002. 68 p. (In Russ)]
10. Yusupov A.K. Metallicheskiye konstruksii v voprosakh, v otvetakh i v proyektirovanii». DGTU. Makhachkala, 2010. [Yusupov A.K. Metal structures in questions, answers and design. " DSTU. Makhachkala, 2010. 160p.(In Russ)]
11. Yusupov A.K. Metody prikladnoy matematiki v stroitel'noy mekhanike. Tom 1. DGTU . Makhachkala, 2008. [Yusupov A.K. Methods of applied mathematics in structural mechanics. Volume 1. DSTU. Makhachkala, 2008. 346p.(In Russ)]
12. Yusupov A.K., Muselemov KH.M., Ustarkhanov T.O., Dzhalalov SH.G. «Issledovaniye metalloderevyannoy balki». Vestnik Mashinostroyeniya. №12. 2019g. [Yusupov A.K., Muselemov H.M., Ustarkhanov T.O., Dzhalalov Sh.G. "Study of a metal-wood beam". Bulletin of Mechanical Engineering. No. 12. 2019. pp.16-20 (In Russ)]

Сведения об авторах:

Юсупов Абусупян Курашевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; e-mail: hairulla213@mail.ru

Муселемов Хайрулла Магомедмурадович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; e-mail: hairulla213@mail.ru

Устарханов Тагир Османович, ассистент, кафедра «Строительные материалы и инженерные сети»; e-mail: hairulla213@mail.ru

Information about the authors:

Abusupyan K.Yusupov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures, e-mail: hairulla213@mail.ru

Khairulla M.Muselemov, Cand.Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures, e-mail: hairulla213@mail.ru

Tagir O. Ustarkhano, Assistant, Department of Building Materials and Engineering Networks, e-mail: hairulla213@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 29.06.2020.

Принята в печать 30.08.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 29.06.2020.

Accepted for publication 30.08.2020.