

УДК 69.059.032

***РАСЧЕТ ДОЛГОВЕЧНОЙ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ
ТРУБЧАТОГО ПРОФИЛЯ***

Гарькин И.Н.,

доцент кафедры «Управление качеством и технология строительного производства»

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза, Россия*

Аннотация

Приводится расчет подкрановых конструкций (в т.ч. тормозных балок и опорного ребра) трубчатого профиля. Доказывается преимущества подобных подкрановых конструкций перед стандартными балками двутаврового сечения.

Ключевые слова: подкрановые конструкции, трубчатый профиль, строительные конструкции, выносливость, долговечность, технический ресурс

***LIFE CALCULATION CRANE BEAMS
TUBULAR PROFILE***

Garkin I.N.,

assistant professor of Department "Quality management and construction technologies"

*Penza State University of Architecture and Construction,
Penza, Russia*

Abstract

Calculation of crane structures (including brake beams and support rib) of a tubular profile is given. The advantages of similar crane structures to standard I-beams are proved.

Keywords: crane structures, tubular profile, building structures, endurance, durability, technical resource

Низкий технический ресурс стальных подкрановых балок приводит к появлению усталостных трещин, аварийному состоянию и в перспективе к возможному обрушению строительных конструкций [1,2]. Для предотвращения появления усталостных трещин при проектировании новых и реконструкции старых производственных зданий предлагается использовать подкрановые балки повышенной долговечности. Долговечную подкрановую балку выполняем с применением следующих профилей: прямоугольные трубы, уголки, листовая сталь.

Площади сечений профилей примем на основании распределения площадей обычной подкрановой балки. Принимаем верхний пояс: уголки 160x160x16 2 штуки:

$$A = 49,07n^2$$

$$J = 1290,2n^4$$

$$z_0 = 4,55n$$

Прямоугольная труба 200x100x7: $A = 37,9n^2$
 $J = 1847n^4$

Принимаем нижний пояс: уголки 160x160x14 2 штуки:

$$A = 43,57n^2$$

$$J = 1046,5n^4$$

$$z_0 = 4,92n$$

Прямоугольная труба 100x100x7:

$$\dot{A} = 23,9\tilde{n}\dot{i}^2$$

$$J = 326\tilde{n}\dot{i}^4$$

Элемент жёсткости. Прямоугольная труба 100x50x5:

$$\dot{A} = 10,7\tilde{n}\dot{i}^2$$

$$J = 127\tilde{n}\dot{i}^4$$

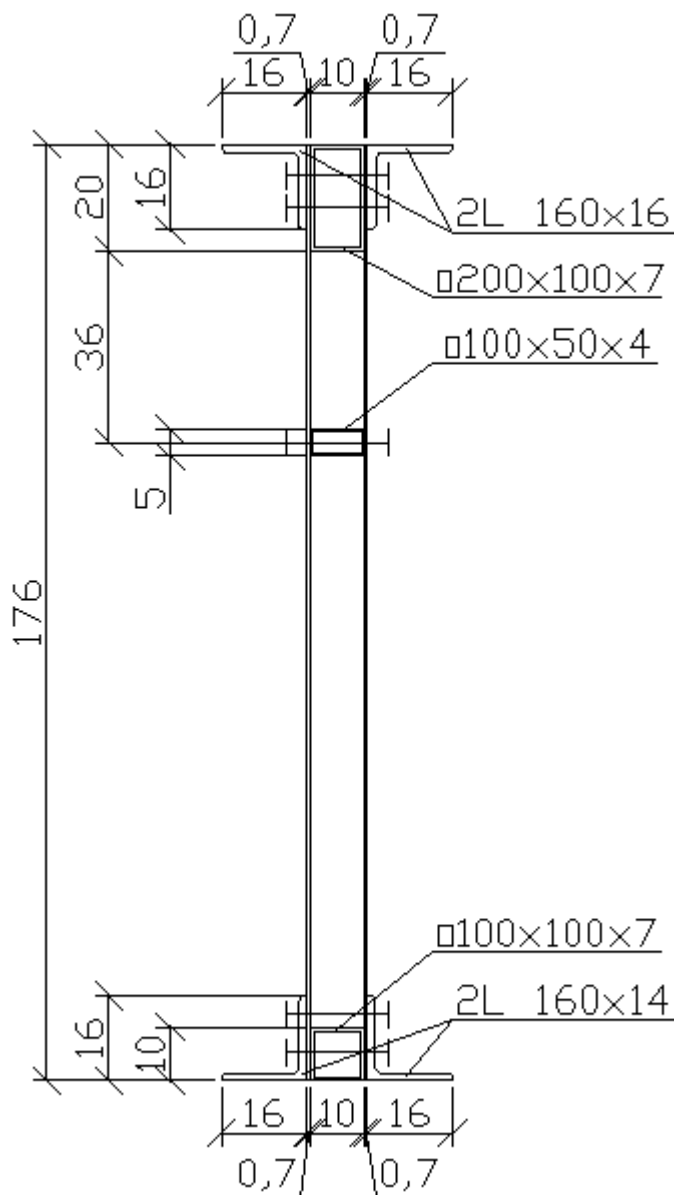


Рис. 1 Поперечное сечение долговечной подкрановой балки

Суммарная площадь балки:

$$\sum \dot{A} = \dot{A}_{\dot{a}.i} + \dot{A}_{i.i} + \dot{A}_{\tilde{n}\dot{o}} + \dot{A}_{\dot{e}} = 136,04 + 111,04 + 246,4 + 10,7 = 504,18\tilde{n}\dot{i}^2.$$

Вычисляем ординату центра тяжести всего сечения относительно центра тяжести стенки:

$$o_{\bar{o}.o} = \frac{\sum S}{\sum A} = \frac{98,14 \cdot 83,45 - 87,14 \cdot 83,53 + 37,9 \cdot 78 - 23,9 \cdot 83 + 10,7 \cdot 36}{504,18} = 4,5 \text{ нм}$$

Момент инерции всего сечения относительно оси стенки:

$$\begin{aligned} J_{\bar{n}.o} &= 2J_{\bar{a}.o} + J_{\bar{a}.o} + J_{\bar{o}.o} + 2J_{\bar{i}.o} + J_{\bar{i}.o} + J_{\bar{n}.o} + \\ &+ 2\bar{A}_{\bar{a}.o} \cdot \bar{a}_{\bar{a}.o}^2 + \bar{A}_{\bar{a}.o} \cdot \bar{a}_{\bar{a}.o}^2 + \bar{A}_{\bar{o}.o} \cdot \bar{a}_{\bar{o}.o}^2 + 2\bar{A}_{\bar{i}.o} \cdot \bar{a}_{\bar{i}.o}^2 + \bar{A}_{\bar{i}.o} \cdot \bar{a}_{\bar{i}.o}^2 = \\ &= 2 \cdot 1290,2 + 1847 + 127 + 2 \cdot 1046,5 + 326 + 2 \cdot \frac{0,7 \cdot 176^3}{12} + \\ &+ 98,14 \cdot 83,45^2 + 37,9 \cdot 78^2 + 10,7 \cdot 36^2 + 87,14 \cdot 83,53^2 + 23,9 \cdot 83^2 = 2343547,7 \text{ нм}^4 \end{aligned}$$

Главный момент инерции:

$$J_x = J_{\bar{n}.o} - \sum \bar{A} \cdot o_{\bar{n}.o}^2 = 2343547,7 - 478 \cdot 4,5^2 = 2333339,3 \text{ нм}^4.$$

Момент сопротивления нижней грани относительно центра тяжести сечения:

$$W_i = \frac{J_x}{h/2 + o_{\bar{n}.o}} = \frac{2333339,3}{176/2 + 4,5} = 25225,4 \text{ нм}^3.$$

Напряжения на нижней грани балки:

$$\sigma_i = \frac{M}{W_{xi}} = \frac{49210,7 \cdot 100}{25225,4} = 195,1 \text{ МПа} < \gamma R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность достаточна.

Момент сопротивления верхней грани относительно центра тяжести сечения:

$$W_a = \frac{J_x}{h/2 - o_{\bar{n}.o}} = \frac{2333339,3}{176/2 - 4,5} = 27944,1 \text{ нм}^3.$$

Напряжения на верхней грани балки:

$$\sigma_i = \frac{M}{W_{xa}} = \frac{49210,7 \cdot 100}{27944,1} = 176,1 \text{ МПа} < \gamma R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность обеспечена. Полученное значение используем при проверке балки на кривой изгиб.

Расчет тормозной балки.

Тормозная балка предназначена для восприятия горизонтального изгибающего момента. Для обеспечения высокой выносливости соединения тормозного листа с подкрановой балкой тормозной лист расположим между рельсом верхним поясом и осуществим соединение фрикционными шпильками, предназначенными и для рельсовых креплений.

Тормозная балка состоит из верхнего пояса подкрановой и внешнего пояса, выполненного из листа, и прямоугольной трубы 250x125x8.

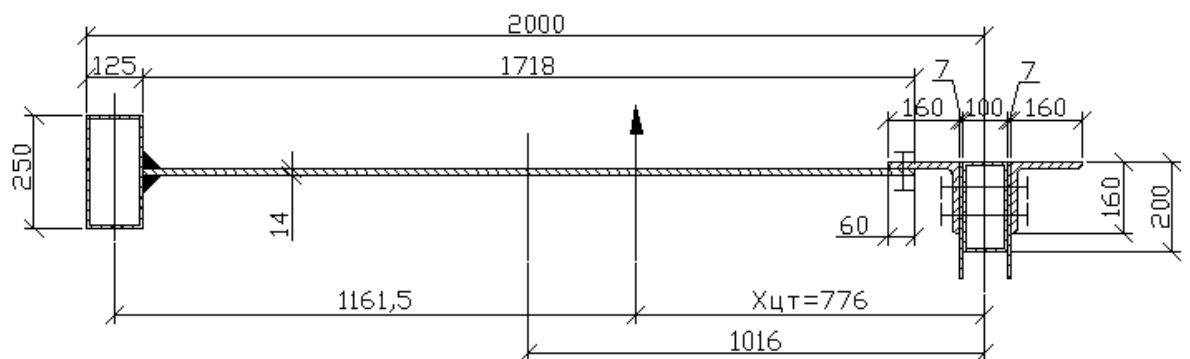


Рис. 2 Конструкция тормозной балки

Определим центр тяжести балки относительно оси подкрановой балки:

$$X_{\sigma,\delta} = \frac{\sum S}{\sum A} = \frac{57,7 \cdot 193,8 + 1,4 \cdot 171,8 \cdot 101,6}{57,7 + 1,4 \cdot 171,8 + 164,04} = 77,1 \text{ н} \cdot \text{м}.$$

Второстепенный момент инерции:

$$\begin{aligned} J_{\sigma}^{\delta\delta} &= \sum J_{\text{н}i\text{а}} + \dot{A}_{\text{а}i} \cdot \dot{a}_{\text{а}i}^2 + \dot{A}_{\delta} \cdot \dot{a}_{\delta}^2 = \\ &= 1438 + \frac{1,4 \cdot 171,8^3}{12} + 2 \cdot 1290,2 + 2 \cdot \frac{20 \cdot 0,7^3}{12} + 629 + \\ &+ 57,7 \cdot 193,75^2 + 1,4 \cdot 171,8 \cdot 101,8^2 + 2 \cdot (49,07 \cdot 10,25^2) + 2 \cdot 0,7 \cdot 20 \cdot (5 + 0,35)^2 = \\ &= 5256130,6 \text{ н} \cdot \text{м}^4 \end{aligned}$$

Главный момент инерции:

$$J_{\dot{\sigma}} = J_{\dot{\sigma}}^{\hat{\sigma}} - \sum \dot{A} \cdot X_{\dot{\sigma}, \dot{\sigma}}^2 = 5256130,6 - 462,26 \cdot 77,1 = 2508267,7 \text{ нм}^4.$$

Момент сопротивления у правой грани:

$$W_{\dot{\sigma}, \dot{\sigma}} = \frac{J_{\dot{\sigma}}}{\tilde{O}_{\dot{\sigma}, \dot{\sigma}} + b/2} = \frac{2508267,7}{77,1 + 21,7/2} = 25387,3 \text{ нм}^3.$$

Проверка прочности подкрановой балки при косом изгибе:

$$\sigma = \frac{M}{W_B} + \frac{M_T}{W_{np}} < R_y,$$

Где $M_T = 0,1 \cdot M = 0,1 \cdot 49210,7 = 4921,07 \text{ кН} \cdot \text{м}$

$$\sigma = \frac{49210,7 \cdot 100}{27944} + \frac{4921,07 \cdot 100}{25387,3} = 195,5 \text{ МПа} < 0,9 \cdot R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность обеспечена.

Расчет на выносливость

Таблица 1

Ориентация и величина сил	Нормативная, гН	Коэффициенты		Расчетная сила F, гН
		Надежности γ_n	Локальных циклических воздействий γ_{f1}	
Вертикальная, P	3500	1,1	1,6	6160
Горизонтальная, T	700	1,1	1,6	1232

Здесь $\gamma_{f1} = \gamma_{цикл}$ – коэффициент локальных циклических воздействий колес, режим работы кранов 8К, подвес груза жесткий (взамен коэф. динамичности); $\gamma_n = 1,1$ – коэффициент надежности.

Для определения локальных напряжений потребуются характеристики верхнего пояса из прямоугольной трубы 200x100x7, 2х уголков 160x160x16 и рельсов КР-140.

Таблица 2

Сечение элемента	Момент инерции	
	при изгибе $J_x, \text{см}^4$	при кручении $J_{кр},$ см^4
Крановый рельс КР 140	7427,2	2130
Коробчатый профиль	1847	7518,54
Уголки	2580	87,38
Всего верхнего пояса	11851,2	9735,9

Момент инерции верхнего пояса балки из двух коробчатых профилей :

$$J_{кр.проф.} = \frac{(B \cdot H)^2}{2 \cdot \frac{H}{t_{ст}} + 2 \cdot \frac{B}{t_{к}}} = \frac{(11,4 \cdot 176)^2}{2 \cdot \frac{176}{0,7} + 2 \cdot \frac{11,4}{0,7}} = 7518,54 \text{см}^4$$

Момент инерции верхнего пояса балки из уголков 160x16 при кручении

$$J_{кр.п} = \frac{1}{3} t^3 S = \frac{1,6^3 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 2}{3} = 87,38 \text{см}^4$$

S- длина контура двух уголков

Эффективная длина участка передачи локальных напряжений на стенку балки:

$$l_{ef} = c^a \sqrt{\sum J_x / t_{cm}} = 3,25^a \sqrt{\frac{11851,2}{1,4}} = 66,24 \text{см}$$

Локальные нормальные напряжения в стенке балки от силы F

$$\sigma_y^{loc} = \frac{-F}{t_{ст} l_{ef}} = \frac{-6160}{1,4 \cdot 66,24} = -66,43 \text{МПа}$$

$$\sigma_x^{loc} = 0,25 \cdot \sigma_y^{loc} = -0,25 \cdot 66,43 = -16,61 \text{МПа}$$

$$\tau_{xy}^{loc} = \pm 0,3 \cdot 66,43 = \pm 19,93 \text{МПа.}$$

Локальный крутящий момент

$$M_{кр} = Pe + Th_p,$$

где эксцентриситет рельса $e = 2\text{см}$; $T = 0,1P$ – горизонтальная сила (режим работы 8К);

$$M_{\text{кр}} = 6160 \cdot 2 + 704 \cdot 19 = 136576 \text{гНсм.}$$

Локальные напряжения в стенке балки от локального крутящего момента:

$$\sigma_{y \text{кр}}^{\text{loc}} = \frac{2 \cdot M_{\text{кр}} \cdot t_{\text{ст}}}{\sum J_{\text{кр}}} = \frac{2 \cdot 13657 \cdot 1,4}{9735,9} = 3,93 \text{МПа.}$$

Локальные суммарные напряжения в стенке балки от силы F

$$\sum \sigma_y^{\text{loc}} = \sigma_y^{\text{loc}} + \sigma_{y \text{кр}}^{\text{loc}} = -66,43 - 3,93 = -70,36 \text{МПа}$$

Сдвигающие напряжения от $M_{\text{кр}}$

$$\tau_{xy \text{кр}}^{\text{loc}} = \pm 0,25 \sigma_{y \text{кр}}^{\text{loc}} = \pm 0,25 \cdot 3,93 = \pm 0,98 \text{МПа}$$

Нормальные напряжения от $M_{\text{кр}}$

$$\sigma_{x \text{кр}}^{\text{loc}} = \pm 0,25 \sigma_{y \text{кр}}^{\text{loc}} = \pm 0,25 \cdot 3,93 = \pm 0,98 \text{МПа}$$

Локальные нормальные суммарные напряжения вдоль оси x

$$\sum \sigma_x^{\text{loc}} = \sigma_x^{\text{loc}} + \sigma_{x \text{кр}}^{\text{loc}} = -16,61 - 0,98 = -17,59 \text{МПа}$$

Локальные сдвигающие суммарные напряжения

$$\sum \tau_{xy}^{\text{loc}} = \tau_{xy}^{\text{loc}} + \tau_{xy \text{кр}}^{\text{loc}} = \pm 19,93 \pm 0,98 = \pm 20,91 \text{МПа}$$

Расчет опорного ребра балки

С целью повышения выносливости зоны балки около ребра выполним его из двух уголков, симметричных относительно стенки.

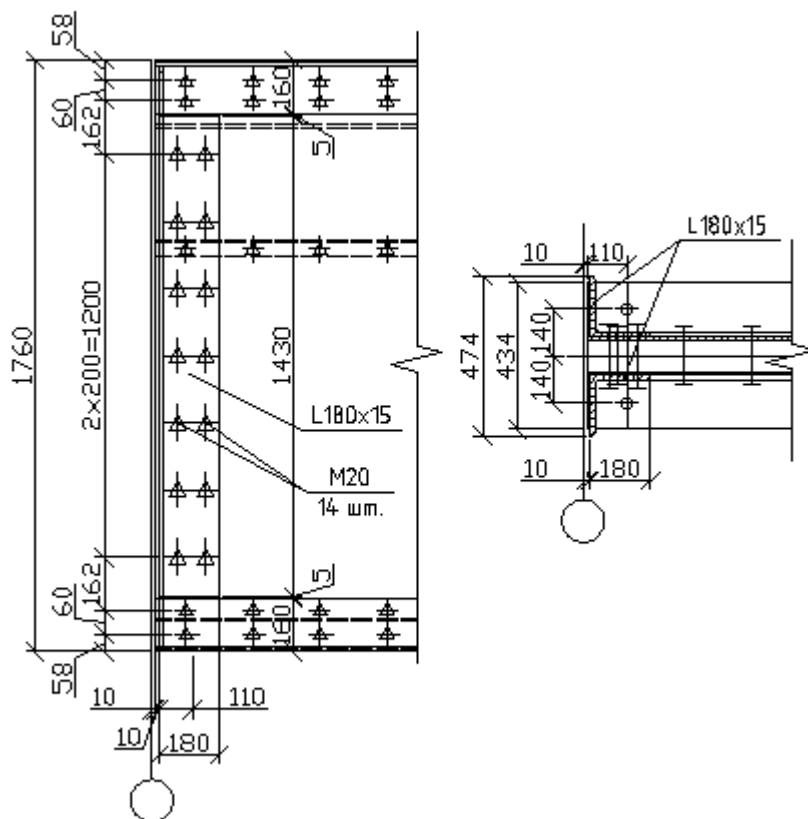


Рис.3– Конструкция опорного ребра

Определим требуемую площадь сечения опорного ребра из условия его устойчивости:

$$A_p = \frac{Q}{(\varphi \cdot R_y)} = \frac{20618,5}{0,9 \cdot 230} = 99,61 \text{ см}^2.$$

Принимаем 2∠180X15:

$$\sum A_p = 52,1 * 2 = 104,2 \text{ см}^2, t_{cm} = 1,5 \text{ см}, z_0 = 4,98 \text{ см}, J_x = 1590 \text{ см}^4.$$

$$A_{cm} = (17,3 * 2 + 18) * 1,4 = 73,64 \text{ м}^2,$$

$$\sum A_p = 2 * A_{\angle} + A_{cm} = 2 * 52,1 + 73,64 = 177,84 \text{ см}^2.$$

$$\sum J_{y.p.} = \frac{34,6 \cdot 1,4^3}{12} + 2 \cdot 1590 + 2 \cdot 52,1(4,98 + 0,7)^2 = 6549,6 \text{ см}^4.$$

$$b_{cm} = 34,6 \text{ см},$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{\sum A}} = \sqrt{\frac{6549,6}{177,84}} = 6,1 \text{ см},$$

$$\lambda_y = \frac{h}{i_y} = \frac{176}{6,1} = 28,85, [\text{ по табл 72 СНиП II-23-81*}], \varphi = 0,96.$$

$$\sigma = \frac{N}{A} < \varphi \gamma R_y = \frac{20618,5}{177,84} = 115,93 \text{ МПа} < 0,96 \cdot 0,9 \cdot 230 = 198,72 \text{ МПа}$$

Устойчивость обеспечена. Подбираем количество болтов. Сталь 40Х «Селект» легированная:

$$R_{bun} = 1350 \text{ МПа}, R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun} = 0,7 \cdot 1350 = 945 \text{ МПа}.$$

$$F_{um} = 1562,8 \text{ зН}, n_{mp.} = \frac{20618,5}{1562,8} = 13,19 \text{ шт},$$

принимаем 14 болтов М20 с общей несущей способностью:

$$n \cdot F_{um} = 14 \cdot 1562,8 = 21879,2 \text{ зН} > Q = 20618,5 \text{ зН}.$$

Прочность обеспечена.

Расчет шпильки крепления рельса

Определяем максимальное давление от колес крана:

$$D_{\max} = \sum P_j \cdot y_j = 8P \cdot y_3 + 4P \cdot y_2 + 2P \cdot y_1 = 2P \cdot (4y_3 + 2y_2 + y_1) = \\ = 2P \cdot (4 \cdot 0,533 + 2 \cdot 0,588 + 0,079) = 6,774P = 6,776 \cdot 4565 = 30923,3 \text{ зН}.$$

Горизонтальная сила от торможения тележки крана равна 0,1 от D и составляет:

$$T_{\max} = 0,1 \cdot D_{\max} = 0,1 \cdot 30923,3 = 3092,33 \text{ зН}.$$

Принимаем болты класса 6.6, $R_{bt} = 945 \text{ МПа}$, $A_{\text{болта}}^{\text{нетто}} = \frac{3092,33}{945 \cdot 0,9} = 3,64 \text{ см}^2$.

Окончательно принимаем 2 болта М30 с $A_{\text{болта}}^{\text{нетто}} = 5,6 \cdot 2 = 11,6 \text{ см}^2$, т.к. болты работают на выносливость, и болты меньшего диаметра не ходовые.

$$\text{Проверка: } \sigma = \frac{T_{\max}}{\sum A_{\text{болта}}^{\text{нетто}}} = \frac{3092,33}{11,6} = 266,6 < 0,8 \cdot 945 = 756 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Таким образом, расчеты показывают, что использование подкрановых конструкций трубчатого профиля имеют большую долговечность (за счет повышенных моментов инерции), чем стандартные двутавровые подкрановые балки. Использование подобных подкрановых конструкций значительно снизит риск возникновения усталостных трещин и повысит общую безопасность при эксплуатации подкрановых балок [3..5].

Библиографический список:

1. Попченков И.В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Новые профили крановых рельсов: Прочность и долговечность рельсобалочных конструкций.– Пенза,2000.–174 с.
2. Довженко А.С. Повышение вибрационной прочности сварных подкрановых балок путем усовершенствования конструктивной формы // Материалы по стальным конструкциям. – 1958– №2.– С.195-209.
3. Кочергов Е.Е. Пути повышения долговечности подкрановых балок.// Промышленное строительство. –1966 –№9.– С.18-21.
4. Гарькин И.Н. Теоретические исследования составных неразрезных подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 2 (35). – С. 100-104.
5. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Преимущества использования неразрезных подкрановых конструкций // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2018– №1.–С. 9-16

Оригинальность 92%