

УДК 69.059.032

## **РАСЧЕТ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ С ПОВЫШЕННОЙ ВЫНОСЛИВОСТЬЮ**

***Нежданов Кирилл Константинович,***

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

*доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции».*

***Гарькин Игорь Николаевич,***

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

*доцент кафедры «Управление качеством и технология строительного  
производства».*

### **Аннотация**

На основе расчетов доказываются преимущества использования подкрановых конструкций замкнутого профиля. Показываются способы изготовления таких конструкций.

**Ключевые слова:** подкрановые конструкции, строительные конструкции, выносливость, долговечность, технический ресурс

## **CALCULATION OF CRANE BEAMS WITH INCREASED ENDURANCE**

***Nezhdanov Kirill Konstantinovich,***

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

*Doctor of Sciences, Professor of the department "Building constructions".*

***Garkin Igor Nikolaevich,***

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

*Associate Professor of the department "Quality management and construction technologies".*

## Abstract

On the basis of calculations, the advantages of using crane structures of a closed profile are proved. Shows a method of manufacturing such structures.

**Keywords:** crane structures, building structures, endurance, durability, technical resource

Одной из основных причин возникновения усталостных трещин в подрельсовой зоне подкрановых балок являются подвижные крутящие моменты, возникающие при качении колёс кранов по рельсам. Локальные напряжения от кручения значительны и способствуют зарождению усталостных трещин в перегруженной подрельсовой зоне балки. Мощности же существующих крановых рельсов для снижения колебаний сдвигающих локальных напряжений часто не хватает [1..3].

Существенные преимущества трубчатых замкнутых профилей (перед стандартными двутавровыми) за счет амортизирующих свойств и в сотни раз большими моментами инерции при кручении и изгибе. Однако верхние пояса балок из цилиндрических труб требуют специальных арочных рельсов, производство которых, к сожалению, не налажено. Поэтому актуальна разработка новых технических решений с использованием выпускаемых в настоящее время рельсовых профилей для исключения появления усталостных трещин.

Задача по способу исключения возможности появления усталостных трещин в узле соединения рельса с двутавровой подкрановой балкой решается следующим образом: автоматизировано дробеструйным способом очищают соприкасающиеся поверхности соединяемых элементов. Производят предварительную сборку блока из пары коробчатых профилей с зазором между ними, равным толщине стенки подкрановой балки и двуглавой подрельсовой подкладки, фиксируют элементы друг относительно друга, устанавливая болты в каждое 10...15 отверстие.

Фиксируют соединяемые элементы друг относительно друга и автоматизировано развёртывают свободные соосные отверстия на проектный диаметр. Пропускают сквозь эти отверстия легированные шпильки и на поточной линии автоматизировано гайковёртами, гарантировано затягивают их и неподвижно соединяют в единый коробчатый блок двуглавую подрельсовую подкладку и пару коробчатых профилей.

На поточной линии вдвигают в щель между парой коробчатых профилей, стенку подкрановой балки с отверстиями до упора в двуглавую подрельсовую подкладку, совмещают отверстия в стенке и в паре коробчатых профилей, фиксируют положение стенки, автоматизировано развёртывают свободные отверстия на проектный диаметр.

Пропускают сквозь соосные отверстия легированные шпильки, на поточной линии автоматизировано, гарантировано затягивают их гайковёртами и неподвижно соединяют в единый коробчатый блок со стенкой.

На поточной линии присоединяют к стенке нижний пояс и опорные рёбра также из коробчатых профилей. Отправляют готовую подкрановую балку к месту монтажа, оснащают её на монтажной площадке тормозными балками, используя для креплений выступающие из коробчатых профилей легированные шпильки, монтируют на двуглавые подрельсовые подкладки рельсы и готовые подкрановые конструкции монтируют на колонны.

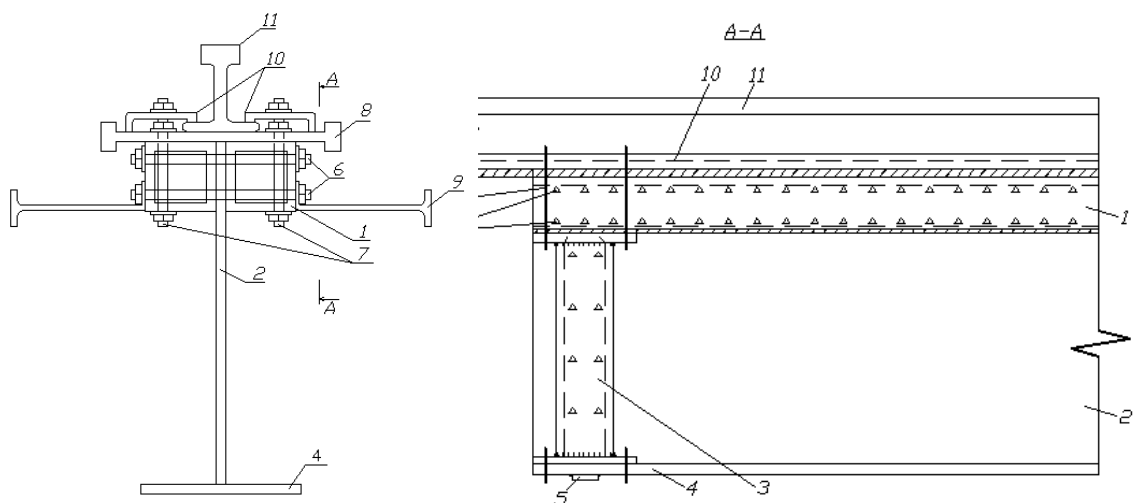


Рисунок 1 - Подкрановая балка из коробчатых профилей

Разработанный способ исключения возможности появления усталостных трещин в двутавровой подкрановой балке качественно меняет их работу [4]. Существенные преимущества балки с верхним поясом из коробчатых профилей следующие.

1. В опасной подрельсовой зоне стенки применены соединения с высоким ресурсом: легированные шпильки с гарантированным натягом. Эти соединения обеспечивают монолитность соединения коробчатых поясов, подрельсовой подкладки, рельса и стенки в единое целое.

2. Пояса у балки выполнены из прокатных коробчатых профилей. Благодаря коробчатым профилям моменты инерции верхнего пояса на кручение и при изгибе повысились в сотни раз. За счёт этого ликвидирована техническая ошибка, допущенная при переходе в 30х годах 20 века от клёпаных к сварным балкам. Благодаря таким техническим усовершенствованиям исключена возможность появления трещин в зоне соединения пояса со стенкой. Новые подкрановые балки гарантируют выносливость при 6 и более миллионах циклов прокатывания колёс кранов.

3. Стенка легко воспринимают колебания локальных сдвигающих напряжений. Подвижные крутящие моменты значительно уменьшены, так как эксцентриситеты сил  $P$  и  $T$  близки к нулю. Поэтому усталостные трещины не могут возникнуть в подрельсовом узле балки. Выносливость новых подкрановых балок, по отношению к выносливости качественных сварных балок повысилась так значительно, что подкрановая балка стала работать в зоне так называемой «неограниченной долговечности».

4. Устойчивость стенки повысилась, так как её свободная высота уменьшена за счёт коробчатых профилей. Опорные рёбра на балке выполнены также из коробчатых профилей.

5. Расчёт такой подкрановой балки производится по результатам испытаний балок из прокатных профилей, выносливость которых в несколько раз выше выносливости сварных балок [5,6].

Рассмотрим расчет на прочность предлагаемой подкрановой балки. Долговечную подкрановую балку выполняем с применением следующих профилей: прямоугольные трубы, листовая сталь. Площади сечений профилей примем на основании распределения площадей обычной подкрановой балки.

Принимаем верхний пояс Прямоугольная труба 160x160x8 2шт

$$A = 48,64 \text{ см}^2$$

$$J = 1878,1 \text{ см}^4$$

Листовая сталь 40x1  $A = 40 \text{ см}^2$ . Принимаем нижний пояс. Листовая сталь 40x1.  $A = 105 \text{ см}^2$  Стенка: Листовая сталь 172x1,4.  $A = 240,8 \text{ см}^2$

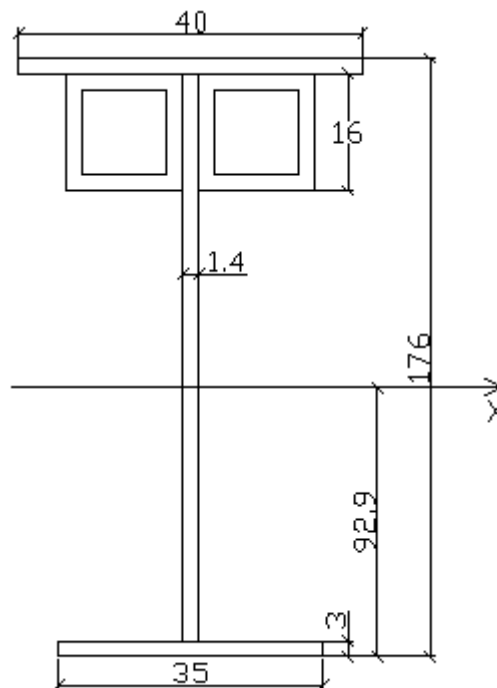


Рисунок 2 - Поперечное сечение долговечной подкрановой балки

Суммарная площадь балки:

$$\sum A = A_{\text{в.п.}} + A_{\text{н.п.}} + A_{\text{ст}} = 48,64 \cdot 2 + 40 + 105 + 240,8 = 483 \text{ см}^2.$$

Вычисляем ординату центра тяжести всего сечения относительно нижней грани сечения:

$$y_{\text{цт}} = \frac{\sum S}{\sum A} = \frac{105 \cdot 1,5 + 240,8 \cdot 89 + 48,64 \cdot 2 \cdot 167 + 40 \cdot 175,5}{483} = 92,9 \text{ см}.$$

Момент инерции всего сечения относительно вспомогательной оси:

$$J_{x}^{bc} = \left( \frac{35 \cdot 3^3}{12} + \frac{1,4 \cdot 172^3}{12} + 1878,1 \cdot 2 + \frac{40 \cdot 1^3}{12} \right) + 105 \cdot 1,5^2 + 240,8 \cdot 89^2 + 48,64 \cdot 2 \cdot 167^2 + 40 \cdot 175,5^2 = 6450155,52 \text{ см}^4$$

Главный момент инерции:

$$J_x = J_{x}^{bc} - \sum A \cdot y_{ц.т.}^2 = 6450155,52 - 483 \cdot 92,9^2 = 2281667,49 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления нижней грани относительно центра тяжести сечения:

$$W_{\text{н}} = \frac{J_x}{h/2 + y_{\text{цт}}} = \frac{2281667,49}{176/2 + 4,9} = 24560,47 \text{ см}^3.$$

Напряжения на нижней грани балки:

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M}{W_{\text{н}}} = \frac{49210,7 \cdot 100}{24560,47} = 200,37 \text{ МПа} < \gamma R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность достаточна.

Момент сопротивления верхней грани относительно центра тяжести сечения:

$$W_{\text{в}} = \frac{J_x}{h/2 - y_{\text{цт}}} = \frac{2281667,49}{176/2 - 4,9} = 27456,9 \text{ см}^3.$$

Напряжения на верхней грани балки:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{M}{W_{\text{в}}} = \frac{49210,7 \cdot 100}{27456,9} = 179,2 \text{ МПа} < \gamma R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

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.

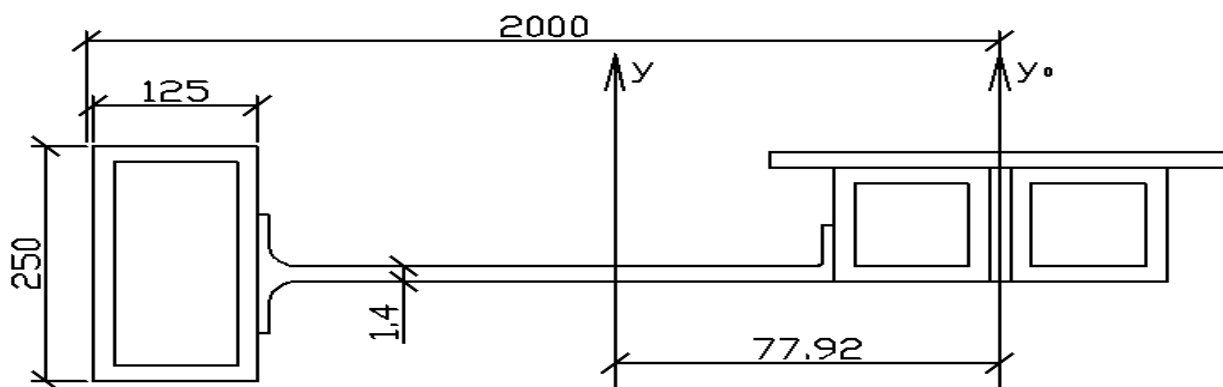


Рисунок 3 - Конструкция тормозной балки

Определим центр тяжести балки относительно оси подкрановой балки:

$$X_{\text{ц.т.}} = \frac{\sum S}{\sum A} = \frac{57,7 \cdot 193,8 + 1,4 \cdot 170,8 \cdot 102,1}{57,7 + 1,4 \cdot 170,8 + 159,68} = \frac{35572,5}{456,5} = 77,92 \text{ см.}$$

Второстепенный момент инерции:

$$J_y^{\text{вт}} = \sum J_{\text{соб}} + A_{\text{вн}} \cdot a_{\text{вн}}^2 + A_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}}^2 =$$

$$= 1438 + \frac{1,4 \cdot 170,8^3}{12} + 2 \cdot 1878,1 + \frac{16 \cdot 1,4^3}{12} + \frac{1 \cdot 40^3}{12} + 57,7 \cdot 193,8^2 + 1,4 \cdot 170,8 \cdot 102,1^2 +$$

$$+ 2 \cdot (48,64 \cdot 8,7^2) = 52590147 \text{ см}^4$$

Главный момент инерции:

$$J_y = J_y^{\text{вт}} - \sum A \cdot X_{\text{ц.т.}}^2 = 52590147 - 456,5 \cdot 77,92^2 = 24873629 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления у правой грани:

$$W_{y.\text{пр}} = \frac{J_y}{X_{\text{ц.т.}} + b/2} = \frac{24873629}{77,92 + 16,7} = 26287,9 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности подкрановой балки при косом изгибе:

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

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

$$\sigma = \frac{49210,7 \cdot 100}{27456,9} + \frac{4921,07 \cdot 100}{26287,9} = 197,9 \text{ МПа} < 0,9 \cdot R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность обеспечена. Выполним расчет на выносливость подкрановой балки.

Таблица 2 - Исходные данные

Ориентация и величина сил	Нормативная, гН	Коэффициенты		Расчетная сила $F$ , гН
		Надежности $\gamma_n$	Локальных циклических воздействий $\gamma_{fl}$	
Вертикальная, $P$	3500	1,1	1,6	6160
Горизонтальная, $T$	350	1,1	1,6	616

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

Для определения локальных напряжений потребуются характеристики верхнего пояса из 2х коробчатых профилей 160x160x8, листа 40x1см и рельсов КР-140.

Таблица 3

Сечение элемента	Момент инерции	
	при изгибе $J_x$ , см <sup>4</sup>	при кручении $J_{кр}$ , см <sup>4</sup>
Крановый рельс КР 140	7427,2	2130
Верхний пояс балки - лист 40x1	3,3	13,12
2 коробчатых профиля	3756,2	2685,1
Всего верхнего пояса	11186,7	4828,22

Момент инерции верхнего пояса балки из двух коробчатых профилей :

$$J_{кр.проф.} = \frac{(B \cdot H)^2}{2 \cdot \frac{H}{t_{ст}} + 2 \cdot \frac{B}{t_k}} = \frac{(33,4 \cdot 16)^2}{2 \cdot \frac{16}{1,4} + 2 \cdot \frac{33,4}{0,8}} = 2685,1 \text{ см}^4$$

Момент инерции верхнего пояса балки из листа 45x3 см при кручении

$$I_{кр.п.} = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{b}{t_{п}} - 0,63 \right) \cdot t_{п}^4 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{40}{1} - 0,63 \right) \cdot 1^4 = 13,12 \text{ см}^4$$



Эффективная длина участка передачи локальных напряжений на стенку балки:

$$l_{ef} = c^3 \sqrt{\sum \frac{J_x}{t_{cr}}} = 3,25^3 \sqrt{\frac{11186,7}{1,4}} = 64,97 \text{ см}$$

Локальные нормальные напряжения в стенке балки от силы  $F$

$$\sigma_y^{loc} = \frac{-F}{t_{cr} \cdot l_{ef}} = \frac{-6160}{1,4 \cdot 64,97} = -67,72 \text{ МПа}$$

$$\sigma_x^{loc} = 0,25 \cdot \sigma_y^{loc} = -0,25 \cdot 67,72 = -16,93 \text{ МПа}$$

$$\tau_{xy}^{loc} = \pm 0,3 \cdot 67,72 = \pm 20,32 \text{ МПа.}$$

Локальный крутящий момент

$$M_{кр} = P \cdot e + T \cdot h_p,$$

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

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

Локальные напряжения в стенке балки от локального крутящего момента:

$$\sigma_{y,кр}^{loc} = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot t_{cr}}{\sum J_{кр}} = \frac{2 \cdot 13657 \cdot 1,4}{4828,22} = 7,92 \text{ МПа.}$$

Локальные суммарные напряжения в стенке балки от силы  $F$

$$\sum \sigma_y^{loc} = \sigma_y^{loc} + \sigma_{y,кр}^{loc} = -67,72 - 7,92 = -75,64 \text{ МПа}$$

Сдвигающие напряжения от  $M_{кр}$

$$\tau_{xy,кр}^{loc} = \pm 0,25 \cdot \sigma_{y,кр}^{loc} = \pm 0,25 \cdot 7,92 = \pm 1,98 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от  $M_{кр}$

$$\sigma_{x,кр}^{loc} = \pm 0,25 \cdot \sigma_{y,кр}^{loc} = \pm 0,25 \cdot 7,92 = \pm 1,98 \text{ МПа}$$

Локальные нормальные суммарные напряжения вдоль оси  $x$

$$\sum \sigma_x^{loc} = \sigma_x^{loc} + \sigma_{x,кр}^{loc} = -16,93 - 1,98 = -18,91 \text{ МПа}$$

Локальные сдвигающие суммарные напряжения

$$\sum \tau_{xy}^{loc} = \tau_{xy}^{loc} + \tau_{xy,кр}^{loc} = \pm 20,32 \pm 1,98 = \pm 22,3 \text{ МПа}$$

Расчеты доказывают преимущества использования подкрановых балок трубчатого (замкнутого) профиля перед стандартными сварными двутавровыми балками.

### **Литература:**

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. Гарькин И.Н. Теоретические исследования составных неразрезных подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство. 2018. № 2 (35). С. 100-104.

3. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Преимущества использования неразрезных подкрановых конструкций // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2018. №1. С. 9-16.

4. Кочергов Е.Е. Пути повышения долговечности подкрановых балок // Промышленное строительство. 1966. №9. С.18-21.

5. Гарькин И.Н. Экспериментальное определение выносливости составных неразрезных подкрановых балок // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2017. №2. С.28-34.

6. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Испытание неразрезных подкрановых балок на выносливость // Региональная архитектура и строительство. 2016. №2. С.81-86.