

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ  
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ  
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)

УДК 624.014.2.072.04

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПОДКРАНОВОЙ  
БАЛКИ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ ТКП EN И СНиП**

*МАРТЫНОВ Ю.С., ЛИТВИНОВ А.А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Подкрановые балки обеспечивают передвижение мостовых кранов и воспринимают и передают на каркас здания крановые нагрузки. Кроме основного функционального назначения, подкрановые балки обеспечивают раскрепление колонн из плоскости поперечной рамы, передачу на вертикальные связи между колоннами продольных усилий от торможения моста крана и от ветровых нагрузок на торцы здания. Но все же, воздействия от мостовых кранов являются главной составляющей при подборе сечения подкрановой балки.

В Республике Беларусь на альтернативной основе действуют следующие технические нормативные правовые акты (ТНПА), регламентирующие методику определения крановых воздействий и расчета подкрановых конструкций:

1. СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия»[1], СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции. Нормы проектирования»[2];
2. ТКП EN 1991-3-2009. «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Воздействия, вызванные кранами и механическим

оборудованием» [3], ТКП EN 1993-1-1-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий»[4], ТКП EN 1993-6-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 6. Подкрановые пути»[5].

В статье рассмотрены расчетные предпосылки и результаты расчета сечений подкрановых балок согласно отечественным и европейским нормам.

#### 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ РАСЧЕТА

Выполнен расчет подкрановых балок для здания склада завода металлоконструкций пролетом 30м и с шагом колонн 6м. Здание оборудовано 2 мостовыми кранами грузоподъемностью 50/12,5т, среднего режима работы 5К(НС2). Подкрановые балки приняты разрезные двутаврового сечения с тормозной балкой и швеллера и листа.

Таблица 1

#### Технические характеристики заданных кранов

Характеристики	Значение
Ширина крана	6860 мм
База крана	5600 мм
Давление колеса на рельс, $P_{max}$	415 кН
Вес тележки крана	135 т
Общий вес крана	59,5 т

Нагрузки от мостовых кранов на каркас здания подразделяются на вертикальные и горизонтальные. Горизонтальные в свою очередь действуют вдоль и поперек кранового пути.

Основные положения расчета согласно требованиям СНиП и ТКП EN приведены в статье «Особенности определения крановых воздействий от мостовых кранов согласно ТКП EN 1991-3-2009 и СНиП 2.01.07-85» [7]. При расчете подкрановой балки расчетными усилиями являются максимальный момент от действия вертикальной нагрузки, максимальный момент от действия горизонтальной нагрузки, и соответствующие максимальные поперечные силы на опоре.

Максимальный изгибающий момент в подкрановой балке от вертикальных нагрузок составил:

а) согласно СНиП [1]:

$$M_{x,\max} = \alpha \cdot \gamma_f \cdot \psi \cdot (P_i^{\max} \cdot \sum y_i) = 1,02 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 415 \cdot (0,917 + 1,483) = 949,88 \text{ кНм}$$

Значение максимального изгибающего момента в балке согласно требованиям [3] существенно отличается от вышеприведенного:

б) согласно ТКП EN [3]:

$$M_{x,\max} = \alpha \cdot \psi_0 \cdot \gamma_{G,\text{sup}} \cdot (Q_{r,\max} \cdot \sum y_i) = 1,02 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 452,59 \cdot (0,917 + 1,483) = 1495,71 \text{ кНм}$$

где  $\gamma_f = 1,1$  – коэффициент надежности для крановой нагрузки;

$\alpha = 1,02$  – коэффициент, учитывающий влияние веса балки;

$\psi = 0,85$  – коэффициент сочетаний;

$P_i^{\max}$  – наибольшее давление колеса крана;

$\sum y_i$  – суммы ординат линий влияния.

$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,35$  – частный коэффициент для крановой нагрузки;

$\psi_0 = 1$  – коэффициент сочетаний;

$Q_{r,\max}$  – наибольшее давление колес крана, с динамическими коэффициентами, определяемое по формуле:

$$Q_{r,\max} = \left[ \frac{(Q \cdot \varphi_2 + G_T \cdot \varphi_1) \cdot (L_{cr} - L_{\min})}{L_{cr}} + \frac{(G_{cr} - G_T) \cdot \varphi_1}{2} \right] \cdot \frac{9,8}{n_0} = 452,59 \text{ кН}$$

где  $\varphi_1 = 1 + \delta = 1 + 0,1 = 1,1$  – коэффициент динамичности, учитывающий возбуждение конструкции крана вследствие подъема груза для крана класса MDC1 (п. 4.2.2.1 [6]);

$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_h = 1,1 + 0,34 \cdot 0,1 = 1,134$  – коэффициент динамичности, учитывающий эффекты, возникающие при подъеме груза;

$v_h = 0,1 \frac{M}{c}$  – скорость подъема крюка;  $\varphi_{2,\min} = 1,1$ ,  $\beta_2 = 0,34$  – для кранов режима работы HC2 (таблица 2.5 ТКП EN [3]);  $L_{\min} = 0,87 \text{ м}$  – минимальное расстояние от крюка до оси подкрановой балки. Величины  $v_h$  и  $L_{\min}$  приняты по ГОСТ 25711[8].

Очевидно, что различие значений изгибающего момента обусловлено в первую очередь разными значениями коэффициентов  $\gamma_f$ ,  $\psi_0$ , а также учетом дополнительных коэффициентов динамичности при расчете согласно ТКП EN.

Максимальное значение поперечной силы в подкрановой балке от вертикальной нагрузки согласно требованиям СНИП равно:

$$Q_{x,\max} = \alpha \cdot \gamma_f \cdot \psi \cdot (P_i^{\max} \cdot \sum y_i) = 1,02 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 415 \cdot (1 + 0,79 + 0,067) = 734,97 \text{ кН}$$

Максимальное значение поперечной силы согласно ТКП EN определяется следующим образом:

$$\sum Q_{x,\max} = \alpha \cdot \psi_0 \cdot \gamma_{G,\text{sup}} \cdot Q_{r,\max} \cdot \sum y_i = 1,02 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 452,59 \cdot (0,067 + 0,79 + 1) = 1157,31 \text{ кН}$$

Различие значений максимальной поперечной силы объясняется теми же факторами, что и при определении изгибающих моментов.

При определении значений изгибающих моментов и поперечной силы, вызванных горизонтальным давлением кранов имеются значительные различия в методике их определения. Основной порядок определения горизонтальных воздействий приведен в публикации [7].

Согласно требованиям СНИП, горизонтальные крановые воздействия, действующие поперек кранового пути, могут возникнуть при ускорении (торможении) тележки крана. Нормативное значение горизонтальной поперечной силы  $T_0^H$ , действующей поперек моста крана, определяется по формуле:

$$T_0^H = f \cdot (Q + G_m) \cdot \frac{n_{mm}}{n_m} = 0,1 \cdot (9,8 \cdot (50 + 13,5)) \cdot \frac{2}{4} = 31,2 \text{ кН},$$

где  $n_{mm}$  – число тормозных колес тележки крана;  $n_m$  – число колес тележки крана.

Нормативное значение максимальной горизонтальной силы, действующей на одно колесо крана равна:

$$T_\kappa^H = \frac{T_0^H}{n_0} = \frac{31,25}{2} = 15,56 \text{ кН}.$$

Расчетные значения изгибающего момента и поперечной силы в подкрановой балке:

$$M_{y,\max} = \gamma_f \cdot \psi \cdot (T_\kappa^H \cdot \sum y_i) = 1,1 \cdot 0,85 \cdot 15,56 \cdot (0,917 + 1,483) = 34,92 \text{ кНм}$$

$$Q_{y,\max} = \gamma_f \cdot \psi \cdot \sum T_k^{H50} \cdot y_i = 1,1 \cdot 0,85 \cdot 15,56 \cdot (1 + 0,79 + 0,067) = 27,02 \text{ кН}$$

Согласно ТКП EN горизонтальные силы, действующие поперек движения моста крана, имеют различное происхождение:

1) силы, вызванные ускорением (торможением) крана при его движении вдоль подкранового пути;

2) силы, вызванные ускорением (торможением) тележки крана движения вдоль эстакада мостового крана;

3) силы, вызванные перекосом крана относительно направления его движения вдоль подкранового пути;

4) буферные силы, связанные с движением крана;

5) буферные силы, связанные с движением тележки мостового крана.

В одну и ту же группу одновременно действующих компонентов крановой нагрузки может быть включен только один из пяти видов горизонтальных сил. Согласно проведенным автором численным исследованиям, максимальная нагрузка возникает от сил, вызванных ускорением (торможением) крана при его движении вдоль подкранового пути, поэтому детально рассмотрим этот случай.

Горизонтальные силы, действующие на колонну, поперек кранового пути, вызванные ускорением и торможением крана, равны:

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1 \cdot 0,244 \cdot \frac{368,3}{5,6} = 16,05 \text{кН}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1 \cdot 0,756 \cdot \frac{368,3}{5,6} = 49,72 \text{кН}$$

где  $\varphi_5 = 1$  – динамический коэффициент;  $a = 5600 \text{мм}$  – база крана;

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{452,59}{598,54} = 0,756; \xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,756 = 0,244;$$

$$\sum Q_r = Q_{r,\max} + Q_{r,(\max)} = 452,59 + 145,95 = 598,54 \text{кН};$$

$$Q_{r,(\max)} = \frac{(Q \cdot \varphi_2 + G_{cr} \cdot \varphi_1) \cdot 9,8}{2} - Q_{r,\max} = 145,95 \text{кН};$$

$$M = K \cdot l_s = 50,48 \cdot 7,296 = 368,3 \text{кН} \cdot \text{м};$$

$K = \mu \cdot \sum Q_{r,\min}^* = 0,2 \cdot 252,4 = 50,48 \text{кН}$  – движущая сила на ведомом колесе;

$\sum Q_{r,\min}^* = m_w \cdot Q_{r,\min} = 2 \cdot 126,2 = 252,4 \text{кН}$  – для привода на каждое колесо, где  $m_w = 2$  – количество ведущих колес;

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot L = (0,756 - 0,5) \cdot 28,5 = 7,296 \text{м};$$

$$Q_{r,(min)} = \left[ \frac{(G_T \cdot \varphi_1 \cdot (L_{cr} - L_{min}))}{L_{cr}} + \frac{\varphi_1 \cdot (G_{cr} - G_T)}{2} \right] \cdot \frac{9,8}{n_0} = 194,51 \text{кН};$$

$$Q_{r,min} = \frac{\varphi_1 \cdot G_{cr} \cdot 9,8}{2} - Q_{r,(min)} = \frac{1,1 \cdot 59,5 \cdot 9,8}{2} - 194,51 = 126,2 \text{кН}.$$

Расчетное значение максимального изгибающего момента, возникающего в балке от действия горизонтальных сил:

$$M_{y,max} = \gamma_{G,sup} \cdot (H_{T,2} \cdot \sum y_i) = 1,35 \cdot 49,72 \cdot (0,917 + 1,483) = 161,09 \text{кНм}$$

Расчетная максимальная поперечная сила в балке от горизонтального давления кранов на колонну:

$$\sum Q_{y,max} = \gamma_{G,sup} \cdot Q_{r,max} \cdot \sum y_i = 1,35 \cdot 49,72 \cdot (0,067 + 0,79 + 1) = 124,61 \text{кН}$$

Согласно СНиП балка проверялась на косоу изгиб, на срез, на локальные напряжения от колес крана, стенка и полка балки проверялись на местную устойчивость, производилась проверка по приведенным напряжениям. Производилась проверка жесткости подкрановой балки.

Согласно требованиям ТКП EN производилась проверка сечения на косоу изгиб, продольный изгиб с кручением, на сдвиг, стенки на локальные вертикальные напряжения сжатия и локальные напряжения сдвига, полки на кручение. Проверка жесткости балки.

Результаты расчета приведены в таблице 2.

## 2. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

В статье рассмотрены два варианта компоновки подкрановой балки:

1) Подкрановая балка с тормозной конструкцией из швеллера и листа;

2) Подкрановая балка с развитым верхним поясом.

В результате расчета подкрановых балок были подобраны сечения согласно требованиям СНиП и ТКП EN. Сечения приведены на рисунках 1, 2.



Таблица 2

## Анализ результатов расчета подкрановой балки

Показатель	СНиП	ТКП ЕН
Расчетные усилия в подкрановой балке		
Максимальный изгибающий момент $M_{x,max}$ , $\frac{кНм}{\%}$	$\frac{949,88}{100}$	$\frac{1495,71}{157,46}$
Максимальный изгибающий момент $M_{y,max}$ , $\frac{кНм}{\%}$	$\frac{34,92}{100}$	$\frac{161,09}{461,31}$
Максимальная поперечная сила $Q_{x,max}$ , $\frac{кН}{\%}$	$\frac{734,97}{100}$	$\frac{1157,31}{157,46}$
Максимальная поперечная сила $Q_{y,max}$ , $\frac{кН}{\%}$	$\frac{27,02}{100}$	$\frac{124,61}{461,18}$
Сечение подкрановой балки при 1 варианте компоновки		
Площадь сечения общая, $\frac{см^2}{\%}$	$\frac{190,61}{100}$	$\frac{338,52}{100}$
Площадь сечения тормозной конструкции и верхнего пояса, $\frac{см^2}{\%}$	$\frac{73,85}{100}$	$\frac{138,6}{177,59}$
Площадь сечения подкрановой балки без тормозной конструкции, $\frac{см^2}{\%}$	$\frac{151,76}{100}$	$\frac{279,12}{183,9}$
Масса подкрановой балки, $\frac{кг}{\%}$	$\frac{897,8}{100}$	$\frac{1594,43}{177,59}$
Недонапряжение сечения, %	3,71	0,68



Продолжение таблицы 2

Сечение подкрановой балки при 2 варианте компоновки		
Площадь сечения общая, $\frac{см^2}{\%}$	$\frac{188,32}{100}$	$\frac{385,44}{204,67}$
Площадь сечения верхнего пояса, $\frac{см^2}{\%}$	$\frac{72}{100}$	$\frac{187,2}{260}$
Масса подкрановой балки, $\frac{кг}{\%}$	$\frac{887}{100}$	$\frac{1815,4}{204,67}$
Недонапряжение сечения, %	0,78	1,94

На основании произведенных расчетов можно сделать выводы:

1) На размеры сечения в большей степени влияет разница в вертикальных воздействиях, обусловленная более высоким значением коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f (\gamma_{G, sup})$  и коэффициента сочетаний  $\psi (\psi_0)$ , а также введением динамических коэффициентов  $\varphi_1, \varphi_2$ .

2) При подборе сечения согласно требованиям СНИП наиболее выгодным оказался 2 вариант компоновки сечения, при подборе сечения согласно требованиям ТКП EN наиболее выгодным оказался 1 вариант компоновки сечения.

3) Разница в горизонтальных воздействиях связана с различными способами определения крановой нагрузки в СНИП и ТКП EN. В данной публикации рассмотрен случай, вызывающий максимальное горизонтальное воздействие крана (ускорение в разные стороны двух кранов, которые стоят с грузом максимально близко друг к другу, тележки максимально приближены к одному из крановых путей).

ЛИТЕРАТУРА

1. СНИП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 44с.

2. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции/Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
3. ТКП EN 1991-3-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Воздействия, вызванные кранами и механическим оборудованием. – Мн.: МАиС, 2009. – 75с.
4. ТКП EN 1993-1-1-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий/МАиС РБ. – Мн.: Стройтехнорм, 2009. – 83 с.
5. ТКП EN 1993-6-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 6. Подкрановые пути /МАиС РБ. – Мн.: Стройтехнорм, 2010. – 61 с.
6. СТБ EN 13001-2-2009. Безопасность кранов. Общие требования к конструкции. Часть 2. Воздействие нагрузки/БелГИСС. – Мн.:Госстандарт, 2010. – 93с.
7. Литвинов А.А. Особенности определения воздействий от мостовых кранов согласно ТКП EN 1991-3-2009 и СНиП 2.01.07-85./ Современные методы расчетов и обследований металлических и деревянных конструкций: материалы 69-ой студенческой научно технической конференции. 29 апреля 2013 г. – Минск: БНТУ 2014. – с.65-75.
8. ГОСТ 25711-83. Краны мостовые электрические общего назначения грузоподъемностью от 5 до 50т. Типы, основные параметры и размеры./ Издательство стандартов, 1983. – 19с.