

**Особенности определения воздействий от мостовых кранов
согласно ТКП EN 1991-3-2009 и СНиП 2.01.07-85**

Литвинов А.А.

(Научный руководитель – Мартынов Ю.С.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Воздействия от мостовых кранов являются важной составляющей при определении нагрузок на каркас здания. От точности их определения зависит прочность и долговечность проектируемого здания. На территории РБ на альтернативной основе действуют два нормативных документа, регламентирующие методику определения крановых воздействий: СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» [1], ТКП EN 1991-3-2009. «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Воздействия, вызванные кранами и механическим оборудованием» [2].

Эти документы содержат ряд различий, о которых будет идти речь в данной публикации.

Нагрузки от мостовых кранов на каркас здания можно разделить на вертикальные и горизонтальные. Горизонтальные в свою очередь делятся на нагрузки, действующие вдоль кранового пути и поперек кранового пути.

1. Определение воздействий согласно СНиП [1].

Согласно СНиП [1] вертикальные нагрузки при расчете прочности и устойчивости рам, колонн, фундаментов в зданиях с мостовыми кранами следует принимать на каждом пути от двух наиболее неблагоприятных по воздействию кранов, а при учете совмещения в одном створе кранов разных пролетов – от четырех кранов. (Примечание – Согласно [1] крановый путь – это обе подкрановые балки, несущие один мостовой кран).

Максимальное расчетное вертикальное давление на одну колонну D_{max} и соответствующее ему минимальное давление на вторую D_{min} от двух максимально сближенных кранов определяется по формулам:

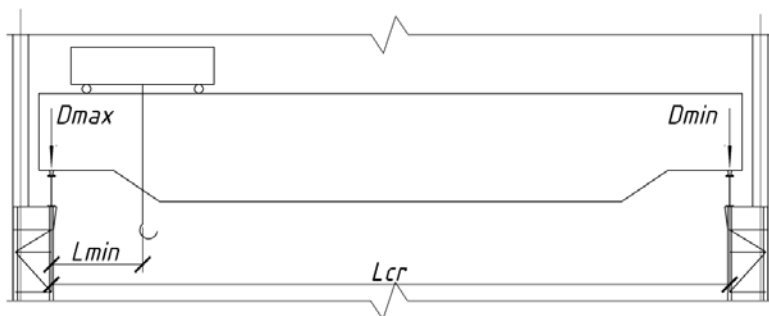


Рисунок 1 - Вертикальное давление на колонны

$$D_{\max} = \gamma_f \cdot \psi \sum_{i=1}^n F_{i,\max} \cdot y_i ; \quad D_{\min} = \gamma_f \cdot \psi \sum_{i=1}^n F_{i,\min} \cdot y_i ;$$

где $\gamma_f = 1,1$ - коэффициент надежности по нагрузке;
 ψ - коэффициент сочетаний, равный 0,85 – для кранов режима работы 1К-6К; 0,95 – для кранов режима работы 7К-8К, при учете двух кранов; $F_{i,\max}, F_{i,\min}$ - максимальная и минимальная вертикальная нагрузка на одно колесо крана;

y_i - ординаты линии влияния (рисунок 2).

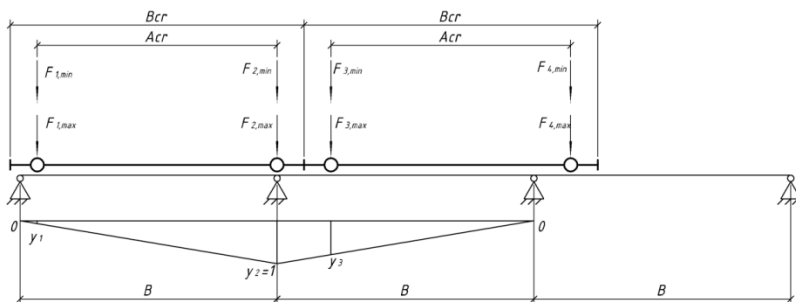


Рисунок 2 - Линия влияния от двух сближенных кранов

Геометрические размеры крана, а также максимальную вертикальную нагрузку на одно колесо, зависящую от его грузоподъемности и пролета, обычно приводят в стандартах на краны, или в паспорте на кран завода-изготовителя. Максимальную нагрузку на колесо можно также определить по формуле:

$$F_{\max} = \left[\frac{(Q + G_{\delta}) \cdot (L_{cr} - L_{\min})}{L_{cr}} + \frac{G_{cr}}{2} \right] \cdot \frac{1}{n_0},$$

где Q — грузоподъемность крана; G_T — вес тележки; G_{cr} — вес крана без тележки; L_{cr} — пролет крана; L_{\min} — минимальное расстояние от крюка крана до оси подкрановой балки (приближение тележки); n_0 — число колес по одной стороне крана.

Минимальная нагрузка на колесо:

$$F_{\min} = \frac{Q + G_T + G_{cr}}{n_0} - F_{\max};$$

Горизонтальная нагрузка от ускорения (торможения) моста крана.

Нормативная горизонтальная нагрузка вдоль кранового пути, вызываемая торможением моста крана, равна:

$$T_{bn} = 0,1 \cdot F_{\max} \cdot n_T;$$

где $n_T = 0,5 \cdot n_0$ — количество тормозных колес.

При расчете торцевых упоров и их креплений к балкам кранового пути требуется учитывать горизонтальную нагрузку, направленную вдоль кранового пути и вызываемую ударом крана о тупиковый упор. Она определяется в соответствии с приложением 2 СНиП [1].

Нормативная горизонтальная нагрузка на одно колесо, направленная поперек кранового пути и вызываемая ускорением (торможением) тележки крана, определяется по формуле:

$$T_{kn} = \beta \cdot \frac{G_T + Q}{n_0};$$

где $\beta = 0,1$ - для кранов с жестким подвесом груза; $\beta = 0,05$ - для кранов с гибким подвесом груза.

Максимальная расчетная нагрузка на колонну определяется аналогично определению вертикального давления (рисунок 2).

$$T_{\max} = \gamma_f \cdot \psi \sum_{i=1}^n T_{kn} \cdot y_i.$$

Горизонтальные нагрузки от перекоса крана и непараллельности кранового пути.

Нормативное значение горизонтальной нагрузки, направленной поперек кранового пути, вызываемой перекосами мостовых кранов и непараллельностью крановых путей следует принимать равным 0,1 от полного нормативного значения вертикальной нагрузки на каждое ходовое колесо. Данная нагрузка учитывается только при расчете прочности и устойчивости балок крановых путей и их креплений к колоннам в зданиях с кранами режимов работы 7К и 8К. При этом горизонтальная нагрузка, вызываемая ускорением (торможением) тележки крана не учитывается.

2. Определение воздействий согласно ТКП EN 1991[2].

В соответствии с ТКП EN 1991[2] вертикальные нагрузки при расчете прочности и устойчивости рам, колонн, фундаментов в однопролетных зданиях рекомендуется принимать на каждом крановом пути три одновременно работающих крана. При совмещении в одном створе учитывается одновременное действие четырех кранов в рассматриваемом пролете, при наличии двух кранов в каждом из смежных с ним пролетов.

При нормальных условиях эксплуатации вертикальную нагрузку следует принимать как сумму собственного веса крана, его грузоподъемности, умноженных на коэффициенты динамичности φ_1 и φ_2 соответственно при проверке несущей способности.

В отличие от требований СНиП [1], ТКП EN [2] предписывает учитывать четыре значения вертикального давления на колонну:

1) максимальное давление от нагруженного крана

$$\sum Q_{r,\max} = \sum_{i=1}^n Q_{r,\max} \cdot y_i ;$$

2) соответствующее загрузению (1) давление на противоположную

колонну $\sum Q_{r,(\max)} = \sum_{i=1}^n Q_{r,(\max)} \cdot y_i ;$

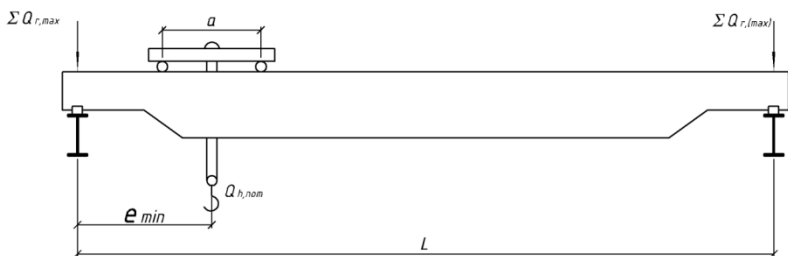


Рисунок 3 - Схема максимального давления крана под нагрузкой

3) минимальное давление от крана без нагрузки

$$\sum Q_{r,\min} = \sum_{i=1}^n Q_{r,\min} \cdot y_i ;$$

4) соответствующее загрузению (3) давление на противоположную

ную колонну $\sum Q_{r,(\min)} = \sum_{i=1}^n Q_{r,(\min)} \cdot y_i \cdot$

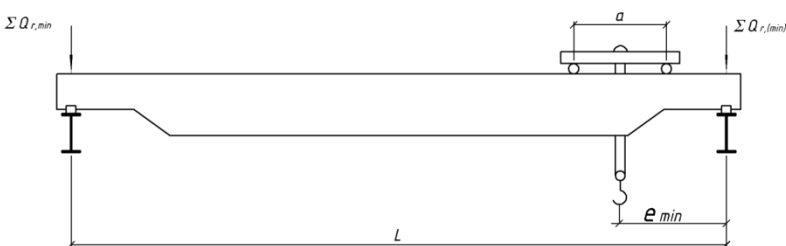


Рисунок 4 - Схема минимального давления крана без нагрузки

Эти значения вертикального давления определяются с использованием построения линий влияния опорной реакции подкрановой балки. Вертикальная нагрузка на одно колесо крана, определяются следующим образом:

$$Q_{r,\max} = \left[\frac{9,8 \cdot (Q_{h,nom} \cdot \varphi_2 + Q_T \cdot \varphi_1) \cdot (L - e_{\min})}{L} + \frac{9,8 \cdot Q_{cr} \cdot \varphi_1}{2} \right] \cdot \frac{1}{n_0} ;$$

где $Q_{h,nom}$ — грузоподъемность крана; Q_T — вес тележки; Q_{cr} — вес крана без тележки; L — пролет крана; e_{\min} — минимальное расстояние от крюка крана до оси подкрановой балки; n_0 — число ко-

лес по одной стороне крана; φ_1 — коэффициент динамичности для нагрузки от собственного веса крана, учитывающий колебания, возникающие при подъеме груза над землей; φ_2 — коэффициент динамичности, для нагрузки от веса груза, учитывающий колебания, возникающие при его подъеме. Значения коэффициентов φ_1 и φ_2 приведены в таблице 2.4[2].

$$Q_{r,(\max)} = \frac{9,8 \cdot (Q_{h,ном} \cdot \varphi_2 + (Q_T + Q_{cr}) \cdot \varphi_1)}{n_0} - Q_{r,(\max)};$$

$$Q_{r,(\min)} = \left[\frac{9,8 \cdot Q_T \cdot \varphi_1 \cdot (L - e_{\min})}{L} + \frac{9,8 \cdot Q_{cr} \cdot \varphi_1}{2} \right] \cdot \frac{1}{n_0};$$

$$Q_{r,\min} = \frac{9,8 \cdot (Q_T + Q_{cr}) \cdot \varphi_1}{n_0} - Q_{r,(\min)};$$

Горизонтальные нагрузки от ускорения (торможения) моста крана.

При определении крановых воздействий в соответствии с ТКП EN требуется учитывать горизонтальные силы, возникающие вследствие:

- 1) ускорения (торможения) моста крана;
- 2) ускорения (торможения) тележки мостового крана;
- 3) перекоса при движении вдоль подкранового пути;
- 4) буферные силы, связанные с движением крана;
- 5) буферные силы, связанные с движением тележки мостового крана.

Если нет дополнительных требований, то в группу одновременно действующих компонентов крановой нагрузки может быть включена только одна из пяти перечисленных выше горизонтальных сил.

Следует отметить, что буферные силы, связанные с движением тележки, согласно СНиП[1] не учитывают, а горизонтальные нагрузки вдоль кранового пути, вызываемые ударом крана о тупиковый упор, учитывается только при расчете упоров и их креплений к балкам кранового пути.

Характеристические значения горизонтальных нагрузок могут быть приведены в паспорте на кран завода-изготовителя или рас-

считаны. Продольные силы, вызванные ускорением и торможением крана, определяются следующим образом:

$$H_{L,i} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r},$$

где φ_5 - динамический коэффициент по таблице 2.6 [2]; K - движущая сила, равная $K = K_1 + K_2 = \mu \sum Q_{r,\min}^*$; n_r - количество балок подкранового пути; μ - коэффициент трения, равный 0,2;

$\sum Q_{r,\min}^* = m_w \cdot Q_{r,\min}$ - для колес с независимым приводом,
 $\sum Q_{r,\min}^* = Q_{r,\min} + Q_{r,(min)}$ - для колес с совмещенным приводом;
 m_w - количество колес с независимым приводом.

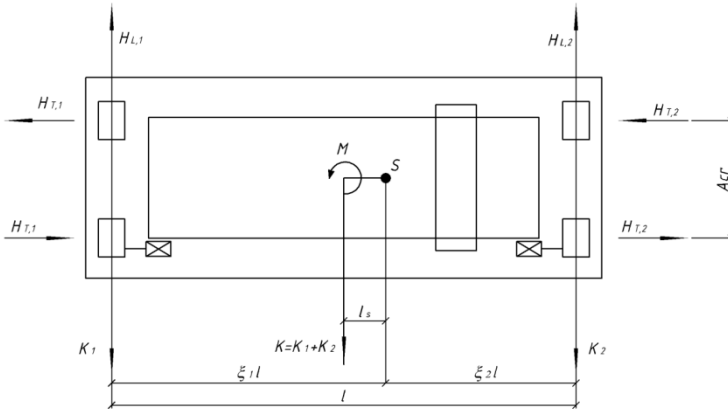


Рисунок 5 - Продольные и поперечные горизонтальные силы

При перемещении тележки вдоль моста крана возникают неравномерные давления колес крана $Q_{r,\max}$ и $Q_{r,\min}$, в результате чего горизонтальные продольные силы ускорения (торможения) $H_{L,1}$ и $H_{L,2}$ тоже имеют разные значения. Эта разница приводит к смещению точки S приложения равнодействующей этих сил. В то же время движущая сила K приложена в центре массы крана (рисунок 5). Возникающий при этом изгибающий момент уравнивается поперечными горизонтальными усилиями $H_{T,1}$ и $H_{T,2}$.

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{A_{cr}};$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{A_{cr}},$$

$$\text{где } \xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r},$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1,$$

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,\max} + \sum Q_{r,(\max)},$$

$$M = K \cdot l_s,$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot l.$$

Горизонтальные нагрузки от перекоса крана.

Продольные и поперечные силы являются реакциями, возникающими от перекоса крана, вызывают отклонения колеса от траектории движения в режиме естественного свободного качения. В отличие от СНиП[1] согласно ТКП EN [2] они должны учитываться независимо от режима работы крана. Значения данных горизонтальных сил зависят от фиксации колес от боковых перемещений относительно рельса. Она может обеспечиваться колесными ребордами или специальными направляющими (рисунок б).

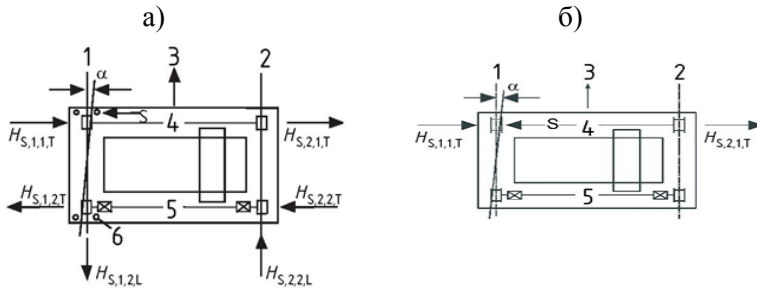


Рисунок 6 - Продольные и поперечные горизонтальные силы (а – с отдельным направляющим механизмом, б – с направляющими колесными ребордами); 1 — рельс $i = 1$; 2 — рельс $i = 2$; 3 — направление движения; 4 — колесная пара $j = 1$; 5 — колесная пара $j = 2$; 6 — направляющий механизм.

Горизонтальные силы, действующие вдоль рельса:

$$H_{S,1,j,L} = f \cdot \lambda_{S,1,j,L} \cdot \sum Q_r;$$

$$H_{S,2,j,L} = f \cdot \lambda_{S,2,j,L} \cdot \sum Q_r \cdot$$

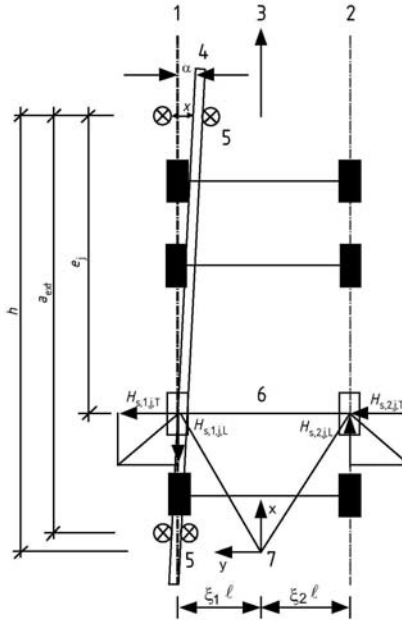


Рисунок 7 - К определению угла α и расстояния h .

1 – рельс 1; 2 – рельс 2; 3 – направление движения; 4 – отклонение рельса; 5 – направляющий механизм, 6 – колесная пара; 7 – мгновенный центр вращения.

Горизонтальные силы, действующие поперек рельса:

$$H_{S,1,j,T} = f \cdot \lambda_{S,1,j,T} \cdot \sum Q_r ;$$

$$H_{S,2,j,T} = f \cdot \lambda_{S,2,j,T} \cdot \sum Q_r ;$$

где $f = 0,3 \cdot [1 - \exp(-250 \cdot \alpha)] \leq 0,3$ - понижающий коэффициент; j - номер колесной пары; $\lambda_{S,i,j,L}$, $\lambda_{S,i,j,T}$ - коэффициенты электромеханической связи, определяемые по таблицам 2.8, 2.9[2], зависящие от типа колесных пар и расстояния между мгновенным центром вращения и первым направляющим механизмом (рисунок 7).

$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 \leq 0,015 \text{ rad}$ - угол перекоса (таблица 2.7 [2]).

Для упрощения расчета, с некоторым запасом, допускается принимать $f = 0,3$ и $\alpha = 0,015 \text{ rad}$.

Горизонтальные нагрузки от ускорения (торможения) тележки.

Горизонтальная сила, вызванная ускорением (торможением) тележки мостового крана, покрывается буферной силой $H_{B,2}$, связанной с движением тележки и равной:

$$H_{B,2} = 0,1 \cdot 9,8 \cdot (Q_{h,nom} \cdot \varphi_2 + Q_T \cdot \varphi_1).$$

Заключение

Анализ изложенных выше методик определения воздействий от мостовых кранов позволяет сделать следующие выводы:

1) Порядок определения вертикальных нагрузок на крановый путь, согласно ТКП EN-1991-3-2009, несмотря на идентичные исходные предпосылки, принятые в СНиП 2.01.07-85, имеет ряд отличий. Они касаются количества мостовых кранов, учитываемых в расчете, как в однопролетных, так и в многопролетных зданиях.

2) Существенные различия имеют место при определении горизонтальных воздействий, хотя количество кранов, учитываемых в расчете. В ТКП EN 1991-3-2009, в отличие от СНиП 2.01.07-85, горизонтальные силы, как в продольном, так и в поперечном направлениях определяются с учетом неравномерного распределения нагрузок на колеса, за счет изгибающего момента, возникающего из-за несовпадения точек приложения движущей силы крана с равнодействующей сил торможения. При этом более дифференцировано вычисляются инерционные силы, вызванные перекосом крана, независимо от режима его работы. В СНиП [1] же учитывают воздействия вызванные перекосом крана только для режимов работы 7К-8К и горизонтальные силы от ускорения и торможения крана только вдоль рельса.

3) Необходимо отметить, что в ТКП EN дифференцировано учитывается динамическое влияние кранов на поперечную раму.

4) Таким образом, в СНиП используются упрощенные принципы определения крановых воздействий в отличие от европейских норм. В ТКП EN учитывается больше факторов, оказывающих влияние на несущий каркас здания.

Литература

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

ТКП EN 1991-3-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Воздействия, вызванные кранами и механическим оборудованием. – Мн.: МАиС, 2009. – 75с.

Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Конструкции зданий: Учеб. Для строит. вузов / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов, Г. И. Белый и др.; Под ред. В. В. Горева. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. Шк., 2002. – 528 с.: ил.