

УДК 621.873.2

©Чернышенко А.В. Мельниченко А.А. Фесенко Г.И.

УДАРНЫЕ НАГРУЗКИ ПРИ ДВИЖЕНИИ КРАНОВ ПО РЕЛЬСОВОМУ ПУТИ

1. Постановка проблемы

Ударные нагрузки, возникающие в металлоконструкции кранов при прохождении местных неровностей рельсового пути (стыков, выбоин, наплавов от сварных швов и др.), имеют существенное значение для кранов, которые перемещаются со значительной скоростью. Особо они влияют на мостовые краны, которые имеют жесткую безрессорную ходовую часть. Решение задач по учету ударных нагрузок при проектировании и эксплуатации металлоконструкций и механизмов кранов, а так же подкрановых путей может существенно увеличить сроки безаварийной и безотказной эксплуатации кранов.

2. Анализ последних исследований

По данным ВНИИПТМАШа [1], наибольшие повреждения ходовой части и металлоконструкциях мостовых кранов характерно для концевых балок, и особенно в местах крепления ходовых колес. Одной из причин появления усталостных трещин в указанных местах

является высокий уровень ударных динамических нагрузок, которые действуют на крановые колеса, а также, на концевые балки при прохождении краном неровностей рельсового пути. Вследствие этого так же наблюдается выкашивание металла на дорожках качения ходовых колес, Преждевременный выход из строя подшипников, и поломка выходных валов механизмов передвижения кранов.

По правилам Госпромтехнадзора при эксплуатации мостовых кранов взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов по высоте не должно превышать 3 мм, и зазоры в стыках рельсов не должны превышать 4 мм. Однако, многочисленные обследования рельсовых подкрановых путей на различных промышленных предприятиях различными авторами показывают, что часто стыки рельс находятся в неудовлетворительном состоянии, зазоры достигают 20 – 30 мм., а перепад по высоте бывает равным 5 – 10 мм., иногда наблюдаются выбоины глубиной 10 – 12 мм. на длине 30 – 40 мм..

Прохождение ходовыми колесами рельсовых стыков сопровождается жестким ударом. При этом при соприкосновении колеса со встречным уступом вертикальная составляющая его скорости за тысячные доли секунды резко изменяется от нулевых значений до максимальных значений, которое нельзя определить исходя только из кинематики движения жесткой системы. Если же колесо наезжает на попутный уступ, То сначала вертикальная составляющая изменяется от нуля до некоторого конечного значения (падение колеса крана в низ) а затем практически мгновенно

уменьшается до нуля. В обоих случаях удар, который получает колесо, распространяется в виде волны упругой деформации по всем металлоконструкциям крана, вызывая в них упругие колебания. А ударный импульс, полученный рельсом, распространяется на подкрановые балки и железобетонные конструкции здания, в которых установлен кран [2].

Приступая к построению динамической модели движения крана через стыки рельсового пути необходимо провести оценку проведенных ранее экспериментов. Первые предварительные эксперименты по определению силы удара колеса о рельс, а точнее, некоторых физических величин, характеризующих эту силу, были проведены на мостовом магнитном кране грузоподъемностью 15 т. с пролетом 28 м. и скоростью передвижения 2.06 м/с. С целью имитации рельсового стыка на головку рельса, находящейся над подкрановой балкой, была приварена полоса из закаленной стали толщиной 4.4 мм. При экспериментальном изучении записывались осциллограммы вертикальных ускорений j_1 ходового колеса, проходящего через уступ и ускорение j_2 передней по ходу движения крана главной балки на расстоянии четверти пролета от концевой балки, а так же ускорение j_3 в середине пролета главной балки. Также вертикальные перемещения y_1 главной балки в середине пролета и вертикальное перемещение y_2 в середине пролета концевой балки [2]. Данные эксперимента приведены на рисунке 1. Экспериментально

определив ускорение элементов крана, нельзя найти силу удара, так как неизвестны формы динамической деформации металлоконструкций крана при ударе. С низкой степенью точности автор оценивает лишь некоторые диапазоны, в котором находятся эти силы. По данным эксперимента Лобов делает выводы о том, что диапазон коэффициента динамичности на концевой балке изменяется от минимального 1.44 до максимального 3.19. Более точные значения без сложного динамического расчета определить не возможно.

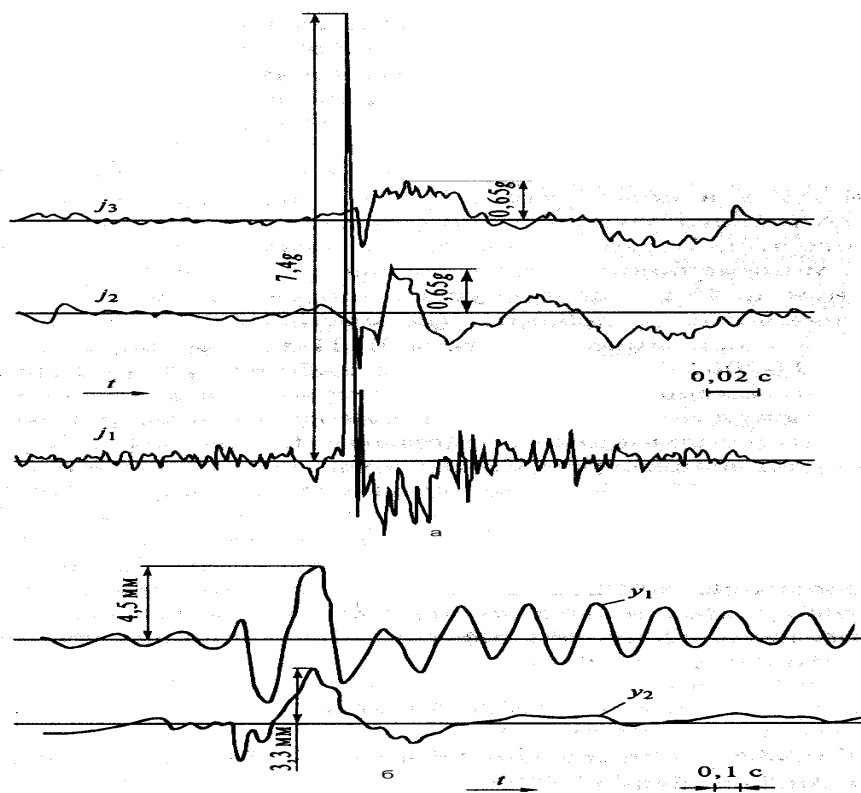


Рис. 1 – Осциллограммы, полученные при наезде колеса на уступ рельса [1]: а) ускорение элементов крана при расположении тележки без груза в крайнем положении вблизи рельса с уступом; б)

перемещение главной и концевой балок при расположении тележки без груза в середине пролета.

3. Основные цели.

Следовательно, необходимо построить динамическую модель крана, в которой можно было бы рассмотреть колебания всех основных составляющих металлоконструкции и других масс и жесткостей, по которым распространяется волна упругих деформаций.

4. Основные материалы исследования

Ударные загрузки, которые испытывает мостовой кран при прохождении стыков рельсового пути, можно описать при помощи наезда колеса крана на уступ (см. рис 2). При этом колесо совершает вертикальные перемещения. Зная скорость крана V_{kr} , высоту уступа h а радиус колеса R мы можем найти вертикальное перемещение колеса в зависимости от времени [2].

$$Y_k = R \cos(\alpha - \omega t) - R \cos \alpha \quad (1)$$

где $\alpha = \arccos \frac{R-h}{R}$; $\omega = \frac{V_{kr}}{R}$ – угловая скорость колеса.

Соответственно, вертикальная составляющая скорости колеса при наезде крана на стык рельса будет выглядеть следующим образом

$$\frac{dY_k}{dt} = R \omega \sin(\alpha - \omega t) \quad (2)$$

Из (2) определяем начальную скорость удара при столкновении

колеса со стыком рельса

$$Y_k(0) = R\omega \sin \alpha \quad (3)$$

Вертикальное ускорение, то есть интенсивность снижения начальной скорости находим как дифференциал скорости по времени

$$Y_k'' = -R\omega^2 \cos(\alpha - \omega t) \quad (4)$$

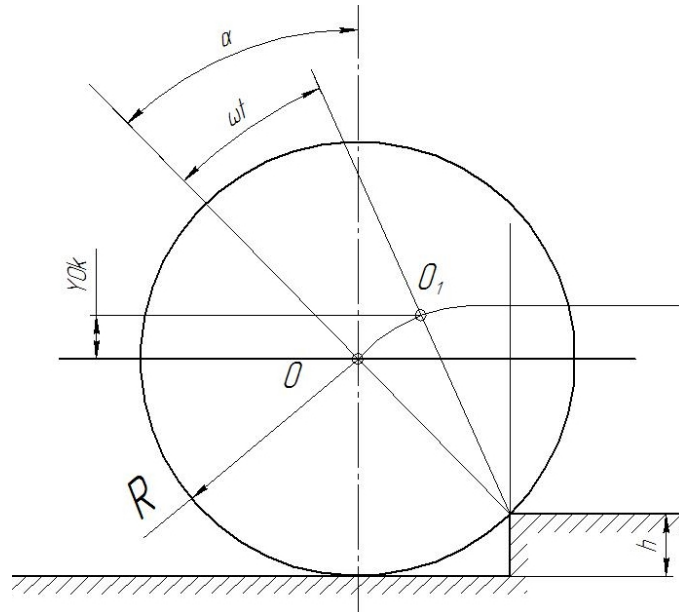


Рис. 2 – Схема движения колеса при наезде крана на уступ

Для решения данной задачи необходимо составить многомассовую динамическую модель крана, которая представлена на рис 2. В этой модели учитываются не только жесткость канатов и металлоконструкции моста крана, но и жесткость наиболее податливых элементов механизма передвижения крана, таких как подшипники букс крановых колес.

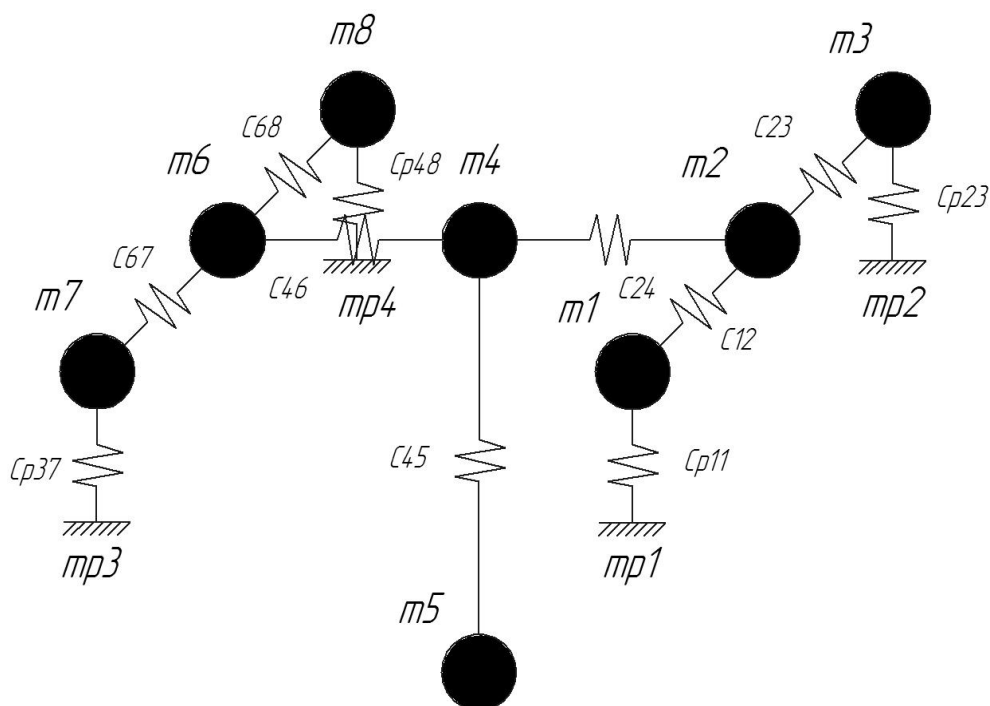


Рис. 3 – Многомассовая динамическая модель мостового крана

В данной модели есть возможность рассматривать различные варианты сочетания удара от стыков и неровностей рельсового пути с учетом их геометрических параметров. Также можно учесть преднапряженное состояние металлоконструкции мостового крана от поднимаемого груза и собственного веса. Для упрощения решения модели представленной на рис. 3 введем следующие допущения:

1. массу главных балок моста крана приведем к краям этих балок ($m2$ и $m6$),
2. массу концевых балок распределим на массы $m1$, $m3$ и $m7$, $m8$ соответственно,

3. жесткость главных балок будем рассматривать как жесткость одной приведенной балки,

4. так как подкрановые пути мостовых кранов опираются на колонны зданий, которые в свою очередь опираются на фундамент зданий, массы которых намного больше массы крана и поднимаемых им грузов в нашей модели массы подкрановых путей $mp1$, $mp2$, $mp3$ и $mp4$ будем считать равными бесконечности.

При решении поставленной задачи воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода.

Для составления системы дифференциальных уравнений необходимо записать функцию кинетической, потенциальной энергии и функции рассеивания.

Кинетическую энергию запишем в следующем виде:

$$T = \frac{1}{2} [m_{o1} \cdot z_{o1}^{\prime 2} + m_{p1} \cdot z_{p1}^{\prime 2} + m_1 \cdot z_1^{\prime 2} + m_2 \cdot z_2^{\prime 2} + m_3 z_3^{\prime 2} + m_{o2} \cdot z_{o2}^{\prime 2} + m_{p2} \cdot z_{p2}^{\prime 2} + m_4 \cdot z_4^{\prime 2} + m_5 \cdot z_5^{\prime 2} + m_6 \cdot z_6^{\prime 2} + m_7 \cdot z_7^{\prime 2} + m_{p3} \cdot z_{p3}^{\prime 2} + m_{o3} \cdot z_{o3}^{\prime 2} + m_8 \cdot z_8^{\prime 2} + m_{p4} \cdot z_{p4}^{\prime 2} + m_{o4} \cdot z_{o4}^{\prime 2}] \quad (3)$$

Потенциальная энергия:

$$\begin{aligned}
\Pi = \frac{1}{2} & \left[c_{o11}(z_{o1} - z_{p1})^2 + c_{p12}(z_{p1} - z_1)^2 + c_{12}(z_1 - z_2)^2 + c_{23}(z_2 - z_3)^2 + \right. \\
& + c_{p23}(z_3 - z_{p2})^2 + c_{o22}(z_{o2} - z_{p2})^2 + c_{24}(z_2 - z_4)^2 + c_{45}(z_4 - z_5)^2 + \\
& + c_{46}(z_4 - z_6)^2 + c_{67}(z_6 - z_7)^2 + c_{p37}(z_7 - z_{p3})^2 + c_{o33}(z_{o3} - z_{p3})^2 + \\
& \left. + c_{68}(z_6 - z_8) + c_{p48}(z_8 - z_{p4})^2 + c_{o44}(z_{o4} - z_{p4})^2 \right]
\end{aligned}
\tag{4}$$

Функция рассеивания:

$$\begin{aligned}
\Phi = \frac{1}{2} & \left[r_{o11}(z_{o1}' - z_{p1}')^2 + r_{p12}(z_{p1}' - z_1')^2 + r_{12}(z_1' - z_2')^2 + r_{23}(z_2' - z_3')^2 + \right. \\
& + r_{p23}(z_3' - z_{p2}')^2 + r_{o22}(z_{o2}' - z_{p2}')^2 + r_{24}(z_2' - z_4')^2 + r_{45}(z_4' - z_5')^2 + \\
& + r_{46}(z_4' - z_6')^2 + r_{67}(z_6' - z_7')^2 + r_{p37}(z_7' - z_{p3}')^2 + r_{o33}(z_{o3}' - z_{p3}')^2 + \\
& \left. + r_{68}(z_6' - z_8')^2 + r_{p48}(z_8' - z_{p4}')^2 + r_{o44}(z_{o4}' - z_{p4}') \right]
\end{aligned}
\tag{5}$$

Для поиска уравнения движения всех масс запишем уравнение Лагранжа от каждой из обобщенных координат (см. рис 3). При этом вводим допущение, что все координаты перемещаются в вертикальной плоскости и взаимосвязаны линейными жесткостями.

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{o1}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{o1}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{o1}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{o1}'} = 0 \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{p1}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{p1}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{p1}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{p1}'} = 0 \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{1}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_1} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_1} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{1}'} = -Fkb \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{2}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_2} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_2} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{2}'} = -Fgb \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{3}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_3} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_3} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{3}'} = -Fkb \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{p2}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{p2}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{p2}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{p2}'} = 0 \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{o2}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{o2}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{o2}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{o2}'} = 0 \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{4}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{p4}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{p4}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{4}'} = -Fgt \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{5}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_5} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_5} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{5}'} = -Fgr \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{6}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_6} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{p6}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{6}'} = -Fgb \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{7}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_7} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_7} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{7}'} = -Fkb \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{p3}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{p3}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{p3}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{p3}'} = 0 \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{o3}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{o3}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{o3}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{o3}'} = 0 \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{8}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_8} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_8} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{8}'} = -Fkb \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{p4}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{p4}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{p4}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{p4}'} = 0 \\
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial z_{o4}'} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_{o4}} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_{o4}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z_{o4}'} = 0
\end{array} \right. \quad (6)$$

где Fkb – сила тяжести от приведенной массы концевой балки;

Fgb – сила тяжести от приведенной массы главной балки;

F_{gt} – сила тяжести от массы грузовой тележки;

F_{gr} – сила тяжести от массы груза.

После проведения дифференцирования по каждой из обобщенных координат получаем следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases}
 m_{o1} \cdot z_{o1}'' + c_{o11}(z_{o1} - z_{p1}) + r_{o11}(z_{o1}' - z_{p1}') = 0 \\
 m_{o2} \cdot z_{o2}'' + c_{o22}(z_{o2} - z_{p2}) + r_{o22}(z_{o2}' - z_{p2}') = 0 \\
 m_{o3} \cdot z_{o3}'' + c_{o33}(z_{o3} - z_{p3}) + r_{o33}(z_{o3}' - z_{p3}') = 0 \\
 m_{o4} \cdot z_{o4}'' + c_{o44}(z_{o4} - z_{p4}) + r_{o44}(z_{o4}' - z_{p4}') = 0 \\
 m_{p1} \cdot z_{p1}'' + c_{p12}(z_{p1} - z_1) - c_{o11}(z_{o1} - z_{p1}) + r_{p12}(z_{p1}' - z_1') - r_{o11}(z_{o1}' - z_{p1}') = 0 \\
 m_{p2} \cdot z_{p2}'' + c_{p23}(z_{p2} - z_3) - c_{o22}(z_{o2} - z_{p2}) + r_{p23}(z_{p2}' - z_3') - r_{o22}(z_{o2}' - z_{p2}') = 0 \\
 m_{p3} \cdot z_{p3}'' + c_{p37}(z_{p3} - z_7) - c_{o33}(z_{o3} - z_{p3}) + r_{p37}(z_{p3}' - z_7') - r_{o44}(z_{o4}' - z_{p4}') = 0 \\
 m_{p4} \cdot z_{p4}'' + c_{p48}(z_{p4} - z_8) - c_{o44}(z_{o4} - z_{p4}) + r_{p48}(z_{p4}' - z_8') - r_{o44}(z_{o4}' - z_{p4}') = 0 \\
 m_1 \cdot z_1'' + c_{12}(z_1 - z_2) - c_{p12}(z_{p1} - z_1) + r_{12}(z_1' - z_2') - r_{p12}(z_{p1}' - z_1') = -F_{kb} \\
 m_3 \cdot z_3'' + c_{23}(z_3 - z_2) - c_{p23}(z_{p2} - z_3) + r_{23}(z_3' - z_2') - r_{p23}(z_{p2}' - z_3') = -F_{kb} \\
 m_7 \cdot z_7'' + c_{67}(z_7 - z_6) - c_{p37}(z_{p3} - z_7) + r_{67}(z_7' - z_6') - r_{p37}(z_{p3}' - z_7') = -F_{kb} \\
 m_8 \cdot z_8'' + c_{68}(z_8 - z_6) - c_{p48}(z_{p4} - z_8) + r_{68}(z_8' - z_6') - r_{p48}(z_{p4}' - z_8') = -F_{kb} \\
 m_2 \cdot z_2'' + c_{24}(z_2 - z_4) - c_{12}(z_1 - z_2) - c_{23}(z_3 - z_2) + r_{24}(z_2' - z_4') - \\
 - r_{12}(z_1' - z_2') - r_{23}(z_3' - z_2') = -F_{gb} \\
 m_6 \cdot z_6'' + c_{46}(z_6 - z_4) - c_{67}(z_7 - z_6) - c_{68}(z_8 - z_6) + r_{46}(z_6' - z_4') - \\
 - r_{67}(z_7' - z_6') - r_{68}(z_8' - z_6') = -F_{gb} \\
 m_4 \cdot z_4'' + c_{45}(z_4 - z_5) - c_{24}(z_2 - z_4) - c_{46}(z_6 - z_4) + r_{45}(z_4' - z_5') - \\
 - r_{24}(z_2' - z_4') - r_{46}(z_6' - z_4') = -F_{gt} \\
 m_5 \cdot z_5'' - c_{45}(z_4 - z_5) - r_{45}(z_4' - z_5') = -F_{gr}
 \end{cases}$$

.(7)

Для успешного решения этой системы уравнений, прежде всего, необходимо определить все жесткости и коэффициенты затухания металлоконструкций крана с учетом схемы, которая приведена на рис.

3. Жесткость главных и концевых балок моста можно определить исходя из знания основных размеров сечения главных и концевых балок, а также положения тележки на мосту крана. В общем случае исходя из расчетной схемы, все жесткости можно рассчитать как жесткости концевых балок с соответствующей длиной. Согласно [3] жесткость концевой балки определяется по формуле

$$c = \frac{3EJ_y}{l^3}, \quad (8)$$

где E – модуль Юнга первого рода;

J_y – момент инерции сечения главных и концевых балок относительно вертикальной оси;

l – длины этих же балок. Учитывая, что в расчетной схеме две главные балки заменены одной общей балкой их жесткости необходимо сложить. Жесткость канатов определяется по уже известной формуле

$$c_{45} = \frac{EA}{l} \cdot 3 \quad c_{45} = \frac{EA}{l}, \quad (9)$$

где A – площадь сечения всех проволок в канате с учетом кратности полиспаста;

l – длина грузоподъемного полиспаста.

Жесткости подшипников в буксах механизма передвижения $cp11$, $cp23$, $cp37$ и $cp48$ можно определить как геометрическая жесткость всех тел в подшипнике, которые деформируются при нагружении всего подшипника. Более подробно о расчете жесткости подшипников описано в статье [5].

Коэффициент затухания металлоконструкции находим по формуле предложенной в [6]:

$$r_r = 2m_M \cdot \omega_M \cdot D, \quad (10)$$

где m_M – приведенная масса металлоконструкции;

$D = 0,01$ – постоянная демпфирования [7];

ω_M – частота колебаний металлоконструкции, которую находим по формуле

$$\omega_M = \frac{\sqrt{c_M}}{2\pi} \cdot 3 \quad \omega_M = \frac{\sqrt{c_M}}{2\pi}, \quad (11)$$

где c_M – жесткость металлоконструкции.

Так же необходимо привести массы металлоконструкций крана согласно динамической модели мостового крана приведенной на рис. 3. Так как все составные части металлоконструкции крана в данной модели рассматриваются как консольные балки, то согласно [6] их приведенную массу находим из следующего выражения

$$m = \frac{104m_K}{405}, \quad .3 \quad m = \frac{104m_K}{405},$$

(12)

где m_K – масса приводимой консольной балки.

Коэффициенты затухания колебаний груза, подвешенного на канате, находим по формуле

$$r_K = m_G \cdot \omega_G \cdot D_K, \quad .3 \quad r_K = m_G \cdot \omega_G \cdot D_K,$$

(13)

где m_G – масса груза, который висит на канате; D_K

$D_K = 0,14$ – постоянная демпфирования каната [7];

ω_G – частота колебаний груза, висящего на канате, находим по формуле

$$\omega_G = \frac{\sqrt{\frac{c_K}{m_G}}}{2\pi}, \quad (14)$$

где c_K – жесткость канатов, на которых висит груз.

В расчетной схеме необходимо учесть, что под нагрузкой металлоконструкция крана получила начальные перемещения как от веса поднимаемого груза, так и под действием собственного веса. Для определения первоначального перемещения в расчетной схеме необходимо задаться базовой вертикальной координатой, относительно которой и будут определены первоначальные

перемещения всех масс в металлоконструкции крана. За ноль по вертикальной оси относительно плоскости установки крана принимаем уровень подкрановых рельс. Тогда, при движении крана по рельсовому подкрановому пути, координаты z_{p1} , z_{p2} , z_{p3} и z_{p4} будут равны 0.

Координаты концов концевых балок z_1 , z_3 , z_7 и z_8 изменят свое нулевое значение в отрицательную сторону, так как жесткости подшипников в ступицах крановых колес воспринимают всю нагрузку от крана. Следовательно, координаты z_1 , z_3 , z_7 и z_8 можно рассчитать по формуле

$$z_1 = z_3 = z_7 = z_8 = \frac{P_{кр} + P_{зп}}{4c_{p11}}, \quad .3 \quad z_1 = z_3 = z_7 = z_8 = \frac{P_{кр} + P_{зп}}{4c_{p11}},$$

(15)

где $P_{кр}$ – сила веса крана;

$P_{зп}$ – сила веса груза;

c_{p11} – жесткость подшипников в ступицах крана.

Согласно расчетной схемы и принятым допущениям, координаты концов главных балок z_2 и z_6 определяем по следующей формуле

$$z_2 = z_6 = -\frac{P_{кр} + P_{зп} - P_{кб}}{4c_{l2}} + z_1, \quad .3 \quad z_2 = z_6 = -\frac{P_{кр} + P_{зп} - P_{кб}}{4c_{l2}} + z_1,$$

(16)

где c_{l2} – жесткость консоли концевой балки;

$P_{кб}$ – сила веса концевых балок вместе со ступицами и механизмами перемещения.

Координату $z4$ находим с учетом первоначального перемещения координат $z2$, $z6$ и перемещение от прогиба главной балки

$$z4 = -\frac{P_{ep} + P_{мел}}{2c24} + z2 \quad (17)$$

где $c24$ – жесткость консоли главных балок;

$P_{мел}$ – сила веса грузовой тележки крана.

Координату груза $z5$ определяем с учетом координаты $z4$ и растяжения канатов, на которых висит груз. Эту координату можно определить по формуле

$$z5 = -\frac{P_{\ddot{a}\delta}}{\tilde{n}45} + z4; \quad z5 = -\frac{P_{ep}}{c45} + z4. \quad (18)$$

В результате нами получена расчетная схема для построения динамической модели работы крана в напряженном состоянии с учетом внешних сил, действующих на кран.

В результате решения системы уравнений, описывающих процесс передвижения сосредоточенных масс в модели мостового крана при наезде колеса на уступ рельса, мы можем получить картину динамических сил, которые возникают в металлоконструкциях мостового крана при передвижении его по рельсовому пути через стык рельсов. Для этого необходимо получить функции изменения динамических сил, которые мы получаем исходя из перемещения масс в модели. Функции динамических сил мы запишем в следующем виде

$$\begin{aligned}
F_{p11}(t) &= c_{p11}(z_{p1}(t) - z_1(t)) \\
F_{12}(t) &= c_{12}(z_1(t) - z_2(t)) \\
F_{23}(t) &= c_{23}(z_2(t) - z_3(t)) \\
F_{p23}(t) &= c_{p23}(z_3(t) - z_{p2}(t)) \\
F_{24}(t) &= c_{24}(z_2(t) - z_4(t)) \\
F_{45}(t) &= c_{45}(z_4(t) - z_5(t)) \\
F_{46}(t) &= c_{46}(z_4(t) - z_6(t)) \\
F_{67}(t) &= c_{67}(z_6(t) - z_7(t)) \\
F_{68}(t) &= c_{68}(z_6(t) - z_8(t)) \\
F_{p48}(t) &= c_{p48}(z_8(t) - z_{p4}(t)) \\
F_{p37}(t) &= c_{p37}(z_7(t) - z_{p3}(t)).
\end{aligned}
\tag{19}$$

Функции изменения сил записаны в виде графика (см. рис 4)

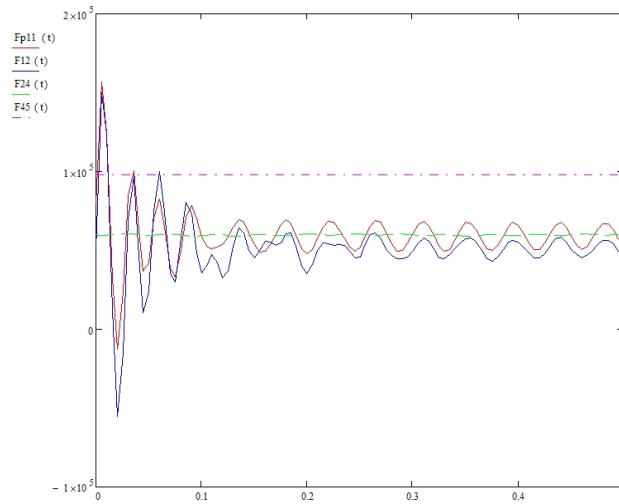


Рис. 4 – Результаты решения системы дифференциальных уравнений, где $Fp11$ – функция силы от времени в буксе подшипника, $F12$ – функция силы от времени в консоли концевой балки, $F24$ – функция силы от времени в консоли главной балки.

Выводы и перспективы исследования

Предложенная модель мостового крана позволяет рассматривать так же совместное действие различных внешних сил и перемещений.

Требуется уточнить влияние жесткости подкранового пути на силу удара при прохождении краном рельсового стыка. При

приближенном анализе результатов вычислений (см. рис. 4) видно, что коэффициент динамичности, при прохождении краном рельсового стыка, не превышает 3. На самом деле при исследовании состояния и конструкции кранового пути данный коэффициент может отклоняться как в большую, так и в меньшую сторону. Следовательно, требуется разработать более точную модель перемещения крана через стык рельсового пути, с учетом жесткости рельса и условий удара кранового колеса о рельс.

Список использованных источников

1. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. – М. : Высшая школа, 1980. – 408 с.
2. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. – М. : Машиностроение, 1987. – 160 с.
3. Казак С. А. Динамика мостовых кранов. / С. А. Казак. – М. : Машиностроение, 1968. – 332 с.
4. Шевченко В. Д. Будівельна механіка металевих конструкцій дорожньо-будівельних, підйомних і транспортних машин : підручник / В. Д. Шевченко, В. Г. Піскунов. – К. : Вища шк., 2004. – 438 с.
5. Чернышенко А. В. К вопросу определения жесткости подшипников качения в буксах крановых колес / А. В. Чернышенко, А. А. Павлова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 1/5(37).

6. Будиков Л. Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа : монография / Л. Я. Будиков. – 2-е изд. – Луганск : изд-во СНУ им. В. Даля, 2003. – 210 с.
7. Dresing H. Massenkrafte in Kranen beim Anheben der Last / H. Dresing // Hebezeuge und Foerdermittel. – 1976. – № 8. – S. 234–245.

Чернышенко А.В., Мельниченко А.А., Фесенко Г.И. «Ударные нагрузки при движении кранов по рельсовому пути».

В статье рассмотрена математическая модель при перемещении крана по рельсовому пути. Определены функции динамической силы в буксах крановых колес и основных металлоконструкциях моста мостового крана. Предложены дальнейшие пути исследования с использованием данной модели.

Ключевые слова: ударные нагрузки, мостовой кран, рельсовый путь, математическая модель, динамическая сила, буксы.

Чернишенко О.В., Мельниченко О.А., Фесенко Г.І. «Ударні навантаження при русі кранів по рейковому шляху».

В статті розглянуто математичну модель при переміщенні крана по рейковому шляху. Визначені функції динамічної сили в буксах кранових коліс і основних металлоконструкціях мосту мостового крана. Запропоновані подальші шляхи дослідження з використанням

даної моделі.

Ключові слова: ударні навантаження, мостовий кран, рейковий шлях, математична модель, динамічна сила, букси.

Chernyshenko A.V., Melnichenko A.A., Fesenko G.I. “Impact forces by movement of cranes on rail runway”.

In the article a mathematical model by movement a crane on rail runway is considered. The functions of dynamic force in axle-boxes of crane wheels and basic metalwares of bridge of overhead crane are determined. The further ways of research with using this model are suggested.

Key words: impact forces, travelling crane, rail runway, mathematical model, dynamic force, axle-boxes.

Стаття надійшла до редакції 17 травня 2009 р.