

УДК 621.874.04

Поликарпов Ю. В.

**ДВИЖЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА НА КОНИЧЕСКИХ КОЛЕСАХ ПО НЕПРЯМОЛИНЕЙНЫМ РЕЛЬСАМ**

В практике краностроения получили распространение два способа установки перемещающихся по рельсам опорных кранов: на цилиндрических и конических колесах. Второй из способов был разработан в начале 20-го столетия как средство борьбы с непрямолинейным движением кранов на цилиндрических колесах, приводящим к длительному контакту колесных реборд с рельсами и повышенному износу обоих элементов пары трения. Опыт использования кранов на конических колесах в основном положителен, однако имеются сведения и о неудачах [1].

Последней редакцией стандарта СССР на мостовые краны и действующими стандартами Украины использование конических колес не предусмотрено. В то же время в новых нормах США на проектирование мостовых кранов [2] содержатся указания, касающиеся кранов на конических колесах, которые в США продолжают проектировать и изготавливать почти целое столетие. Столь длительное использование кранов на конических колесах в условиях рыночной экономики свидетельствует об их конкурентоспособности. Неиспользование таких кранов в Украине можно объяснить сложившимся стереотипом и недостаточной теоретической разработкой вопроса.

С теоретической точки зрения закономерности движения крана на конических колесах были рассмотрены в работах Б.С. Ковальского и его учеников [1]. Основной тезис этих работ можно кратко сформулировать так: «Движение крана на конических колесах устойчиво. При воздействии случайного внешнего возмущения кран совершает затухающие колебания». Под этим же углом зрения рассматривалось и влияние кривизны рельсового пути.

В работе [3] закон движения крана на конических колесах определен с других позиций: «Кран на конических колесах движется под воздействием двух основных факторов – кривизны траектории, обусловленной взаимными перекосами колес, и эффекта конусности».

Целью данной работы является исследование влияния на движение крана на конических колесах третьего фактора – непрямолинейности рельсового пути.

В качестве показателя непрямолинейности рельсового пути может рассматриваться отклонение от прямолинейности его осевой линии. Для аппроксимации результатов измерений отклонений от прямолинейности, на наш взгляд, приемлемым является использование тригонометрических рядов. Это дает возможность аппроксимировать искривленность рельсового пути практически с любой степенью точности.

Для привязки к реальному рельсовому пути были взяты экспериментальные данные работы [4, рис. 4.22, стр. 124], на основе которых были вычислены представленные в табл. 1 смещения оси пути как полусумма смещений рельсов. Считаем, что точка начала отсчета вдоль оси  $X$  расположена на оси конических колес, а вдоль  $OY$  – соответствует симметричному расположению колес относительно оси рельсов.

Таблица 1

Смещение оси пути по данным измерений

Длина пути, м	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Смещение оси пути, мм	0	6,5	3	2	-2	-2,5	-1,5	0,5	0

Аппроксимацию выполняли с использованием тригонометрического ряда:

$$y(x) = a_0 + \sum_2^n \left\{ a_n \cos \left[ np \frac{x}{S} \right] + b_n \sin \left[ np \frac{x}{S} \right] \right\}, \tag{1}$$

где  $y(x)$  – смещение оси пути;  $x$  – текущее значение пути;  $S$  – длина рабочей зоны крана;  $a$  и  $b$  – коэффициенты аппроксимации;  $n$  – число полупериодов аппроксимирующей функции в пределах рабочей зоны крана. Исходя из данных таблицы смещений оси рельсового пути, начальное значение числа полупериодов  $n$  было принято равным 2. Значения коэффициентов находили с помощью оптимизационной процедуры, задав в качестве минимизируемой целевой функции среднеквадратичное отклонение значений аппроксимирующей функции от табличных значений смещения. Результаты определения коэффициентов аппроксимации представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сводная таблица коэффициентов аппроксимации

Коэффициенты	Значения элементов числового ряда $n$			
	2, 3	2, 4	2,3, 4	2, 3, 4, 5
a0	0,28	0,62	-0,29	-1,21
a1	0,14	1,56	-2,11	-5,63
b1	3,19	2,98	3,1	2,98
a2	0,38	–	0,23	0
b2	2,23	–	5,51	10,48
a3		-1,14	2,44	5,45
b3		0,37	0,23	0,38
a4				1,39
b4				0,73
Среднекв. погрешность	0,92	0,84	0,66	2,1E – 05

По данным табл. 2 были построены графики функции  $y(x)$ , рис. 1.

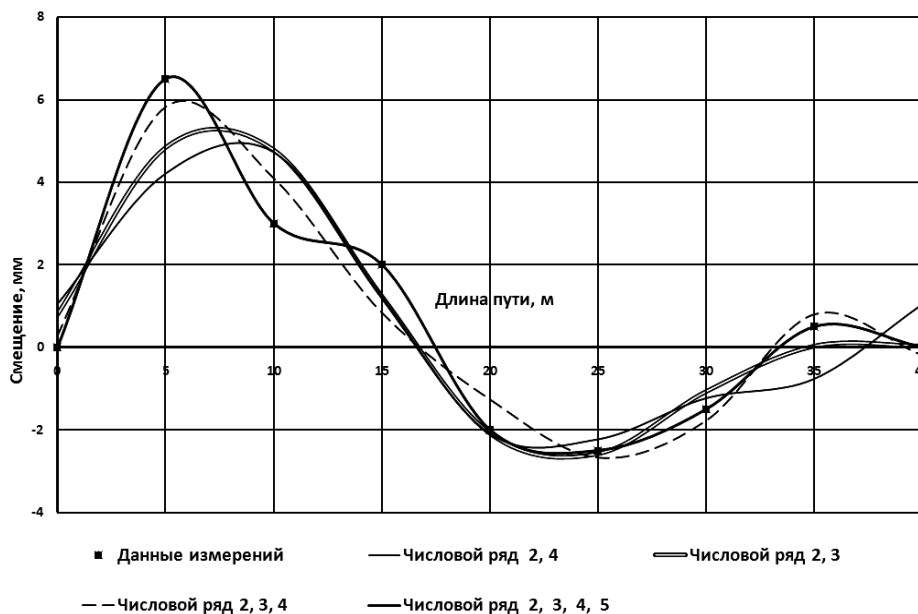


Рис. 1. Кривые аппроксимации данных измерения смещения рельсов

Из данных табл. 2 и графиков рис. 1 видно, что при шаге измерений 5 м (табл. 1) достаточно четырех членов ряда, чтобы аппроксимирующая функция с достаточной точностью проходила через экспериментальные точки. Именно она была принята для дальнейшего анализа движения крана «вперед» по рельсам, смещения которых заданы табл. 1.

Значения коэффициентов аппроксимации кривизны рельсов при движении крана «назад» вычислялись аналогично.

Исходное уравнение для определения закона движения крана на конических колесах по криволинейным рельсам можно получить из уравнения его движения по прямым рельсам [3]:

$$y'' = \left(1 + (y')^2\right)^{\frac{3}{2}} \left(-\frac{1}{R} - P(y \pm \frac{B}{2} y')\right), \quad (2)$$

где  $R$  – радиус кривизны траектории свободного движения крана;  $B$  – база крана;

$$P = \frac{2k}{D_0 L}, \quad (3)$$

где  $k$  – конусность колес;  $D_0$  – номинальный диаметр колес;  $L$  – пролет крана.

Для этого во второй сомножитель необходимо ввести слагаемое в виде функции, представляющей кривизну пути. Обозначим ее  $f(x)$ :

$$y'' = \left(1 + (y')^2\right)^{\frac{3}{2}} \left(-\frac{1}{R} - P(y \pm \frac{B}{2} y' + f(x))\right). \quad (4)$$

По результатам численного решения уравнения (4) для различных начальных условий были построены приведенные на рис. 2 кривые. При задании начальных условий исходили из предположения, что в начальной точке перекося крана равен нулю, а смещение может отличаться от нуля. Это обусловлено тем, что при больших значениях пролета крана выставить его так, чтобы конические колеса были расположены абсолютно симметрично относительно оси рельсового пути практически невозможно. Погрешность установки была принята в пределах  $\pm 2,5$  мм, и для каждого набора прочих параметров было построено по три кривые – с исходным смещением 2,5, 0,  $-2,5$  мм.

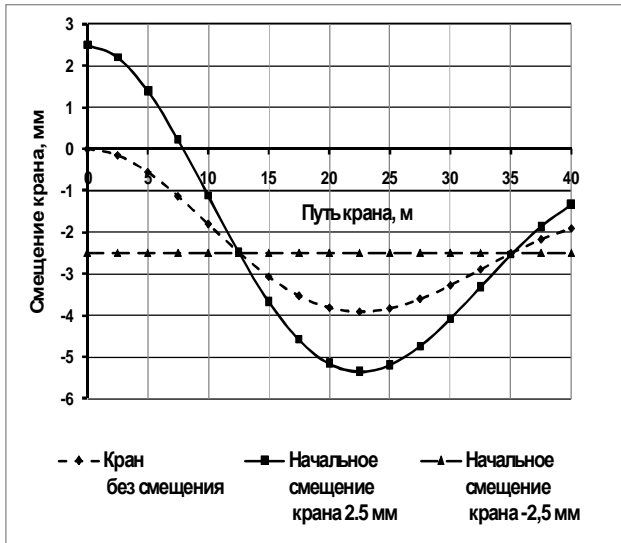
На рис. 2, а и в приведены кривые смещения крана при его движении в направлении «вперед» (приводными колесами вперед) и «назад» по прямолинейным рельсам. Кривые смещений крана при его движении по криволинейному рельсовому пути, заданному выражением (6), при тех же значениях прочих параметров приведены на рис. 2, б и г. На рис. 2, б приведена также кривая, заданная уравнением (1).

Из кривых рис. 2 видно, что кривизна рельсов оказывает существенное влияние на амплитудные значения смещений крана и характер его движения. Даже при идеально выставленном кране, когда в случаях (а) и (в) он движется прямолинейно, в случаях (б) и (г) размах его смещений практически тот же, что и при других значениях исходного смещения.

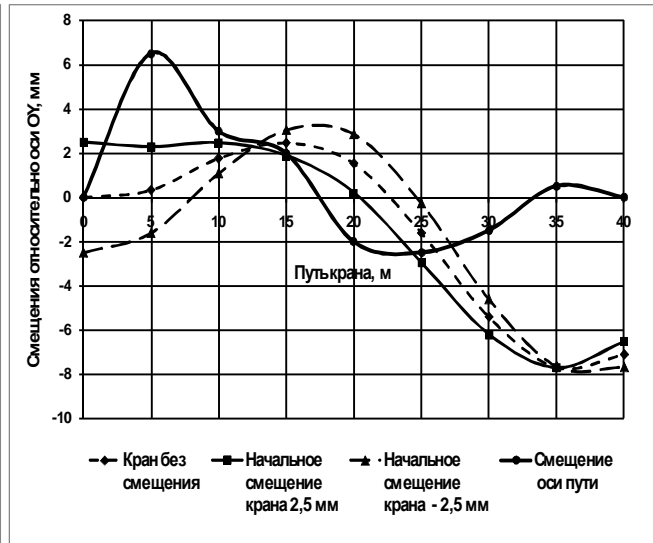
Сравнивая кривые движения крана при исходном смещении  $-2,5$  мм на рис. 2, а–б, можно сделать вывод о том, что при текущих значениях параметров кран обладает значительной «инерционностью», т. к. максимум отклика смещен относительно максимума возмущения примерно на 12 м пути крана. При этом кривизна рельсов является единственным возмущающим фактором, поскольку на рис. 2, а, т. е. когда рельсы абсолютно прямолинейны, при этом исходном смещении кран движется прямолинейно.

Известно [3], что в общем случае движения по прямолинейным рельсам кран на конических колесах также совершает колебания. Назовем их свободными, так как, при принятых в этой работе допущениях, они происходят в условиях отсутствия внешних вынуждающих факторов, а также ограничивающих факторов в виде реборд и ширины колес. Длина волны  $l$  этих колебаний зависит от значения параметра  $P$  и определяется из выражения:

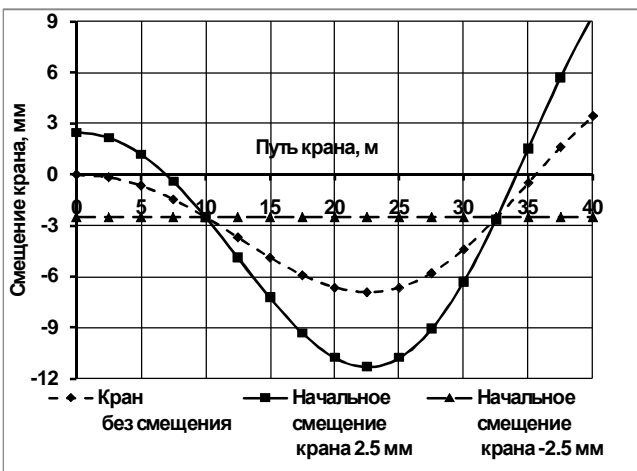
$$l = 2p / \sqrt{P} .$$



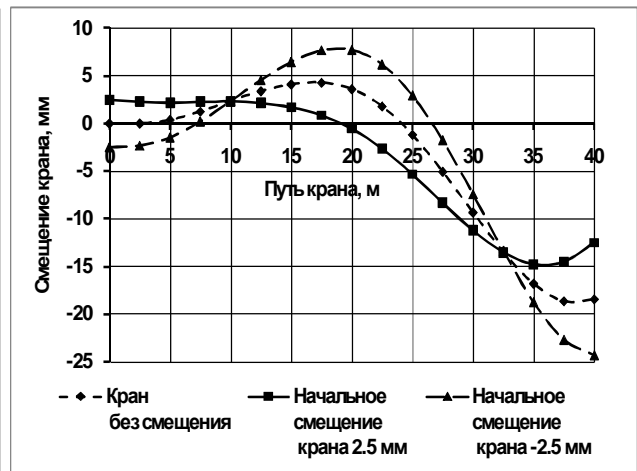
а



б



в



г

Рис. 2. Смещения крана относительно оси ОУ:

а – движение «вперед» по прямолинейным рельсам; б – движение «вперед» по непрямолинейным рельсам; в – движение «назад» по прямолинейным рельсам; г – движение «назад» по непрямолинейным рельсам

В рассматриваемом случае величина  $l$  составила 44,42883м, т. е. несколько превысила длину рабочей зоны крана.

Смещения кранов с другими значениями длины волны свободных колебаний, движущихся по рельсам с той же кривизной, в некоторых случаях возрастают практически неограниченно.

Приведенные на рис. 2 кривые не позволяют оценить степень повторяемости движения крана в пределах рабочей зоны. По нашему мнению, такая оценка может быть сделана на основе графиков его движения в направлениях «вперед» и «назад» в пределах рабочей зоны. Пример такого графика при тех же значениях параметров, что и на рис. 2 (за исключением исходного смещения), приведен на рис. 3. Из рис. 3 видно, что в данном случае форма кривых и размах колебаний при движении крана «вперед» и «назад» различаются незначительно. Начальному смещению крана – 2,5 мм соответствует конечное смещение – 1,66 мм, а нулевому начальному смещению – 0,84 мм.



Рис. 3. Движение крана «вперед – назад» по криволинейным рельсам при длине волны свободных колебаний  $\approx 45$  м

Это позволяет предположить, что если контакт реборд с рельсами и будет иметь место, то после нескольких циклов движения крана «вперед – назад».

Полученные результаты говорят о том, что степень прямолинейности движения кранов на конических колесах в общем случае в значительной степени зависит к точности укладки рельсового пути и соотношения конкретных значений величин, входящих в уравнение (4). Нет оснований предполагать, что установка крана на конические колеса сама по себе, в независимости от конкретных значений параметров крана, включая конусность колес, и кривизны рельсового пути, обеспечит его практически прямолинейное движение.

Одно из возможных направлений дальнейших исследований – нахождение оптимального, или, по меньшей мере, рационального соотношения основных геометрических размеров крана и конусности колес, при котором влияние кривизны рельсового пути минимально.

Второе направление – исследование возможности и целесообразности пересмотра в сторону ужесточения, действующих норм точности укладки рельсового пути, которые были разработаны применительно к кранам на цилиндрических колесах.

С нашей точки зрения первоочередной задачей является проведение исследований по первому из намеченных направлений. На основе его результатов можно будет принять решение о целесообразности постановки вопроса об ужесточении требований к кривизне рельсового пути.

## ВЫВОДЫ

Кривизна рельсового пути существенно влияет на степень прямолинейности движения крана на конических колесах и должна учитываться при проведении исследований и проектировании кранов.

Работу целесообразно продолжить в направлении поиска рационального соотношения основных геометрических параметров ходовой части крана и конусности колес.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальский Б. С. Вопросы передвижения мостовых кранов / Б. С. Ковальский. – Луганск : Изд-во ВНУ, 2000. – 63 с.
2. Абрамович И. И. Новые нормы США на проектирование мостовых электрических кранов [Электронный ресурс] / И. И. Абрамович // Подъемно-транспортное дело. – 2002. – № 3–4. – Режим доступа : [www.raise.ru/articles/59](http://www.raise.ru/articles/59).
3. Поликарпов Ю. В. Закон движения грузоподъемного крана на конических колесах / Ю. В. Поликарпов // Вісник ДДМА : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 1 (18). – С. 226–230.
4. Лобов Н. А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н. А. Лобов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 232 с.