

УДК 621.874.04

Поликарпов Ю. В.

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЕЛИЧИНЫ КОНУСНОСТИ ХОДОВЫХ КОЛЕС ОПОРНЫХ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Одним из важнейших параметров ходовой части крана на конических колесах является величина конусности колес. По данным работы [1, стр. 18] ее величина, рекомендуемая различными авторами, колеблется в пределах от 0,08 до 0,30. Это говорит об отсутствии единого подхода к определению ее рациональной величины. При этом речь идет об одном значении конусности в независимости от значений прочих параметров. Так, со ссылкой на ГОСТ 3569-47 рекомендуется принять величину конусности равной 0,1 [1].

Результаты исследования движения крана с учетом кривизны пути [2] показывают, что необходимо стремиться к такому соотношению основных геометрических размеров крана и конусности колес, при котором влияние кривизны пути минимально.

Обратимся к исходному уравнению движения крана [2]:

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

где  $R$  – радиус кривизны траектории свободного движения крана на цилиндрических колесах, обусловленной перекосами колес;  $B$  – база крана;  $f(x)$  – функция, описывающая кривизну пути;  $y$  – смещение геометрического центра крана относительно оси  $OX$ :

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

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

Из (1) следует, что траектория движения крана в основном зависит от значений следующих величин: относительного перекоса колес; кривизны пути; базы; прочих конструктивных параметров, представленных величиной  $P$  (2), включая конусность, номинальный диаметр колес, а также пролет крана.

Первые две величины относятся к возмущающим. Точное значение первой из них, и закон изменения второй, как правило, неизвестны. Известны только предельные значения, определяемые соответствующими стандартами.

К варьируемым параметрам, изменяя значения которых при проектировании, можно оказывать регулирующее воздействие на вид кривой движения крана, относятся его база  $B$ , номинальный диаметр колес  $D_0$  и величина их конусности  $k$ . При этом пределы изменения базы крана и номинального диаметра колес весьма ограничены, и основной величиной, изменяя которую можно достичь рационального соотношения значений параметров, остается конусность колес. В отношении ее максимальной величины также существуют определенные ограничения [1], которые пока оставляем без внимания.

Рассматривая, как и ранее, четырехколесный кран, задачей проектирования считаем выбор такого сочетания значений варьируемых параметров, при котором возможно его многократное движение вперед – назад в пределах рабочей зоны без контакта реборд с рельсами.

Условие отсутствия контакта реборд с рельсами считаем выполненным, если смещение геометрического центра крана относительно прямой, определяющей направление движения, не превышает некоторую наперед заданную величину, например 30мм. Ее ориентировочная величина может быть принята на основе рекомендаций относительно проектной величины боковых зазоров между ребордами и рельсами [1].

Цель работы состоит в исследовании влияния величины конусности колес на траекторию движения крана и определения ее значений, при которых возможно многократное его движение вперед – назад при отсутствии контакта между ребордами и рельсами.

Для анализа результатов численного решения уравнения (1), зададимся пределами возможного изменения значений параметров.

Первоначально определим пределы изменения параметра  $P$ . Подставив в (2) предельные значения входящих величин, найдем, что при изменении пролета крана от 7 до 34 м и диаметра колес от 200 до 1000 мм, величина параметра  $P$  изменяется от  $k \times 1,43E - 6 \text{ мм}^2$  до  $k \times 5,88E - 8 \text{ мм}^2$ . Приняв предварительные пределы изменения конусности  $0,06 \div 0,12$ , и округлив результаты, будем иметь:  $P = (2E - 7 \div 4E - 09) \text{ мм}^2$ .

При анализе данных, представленных, в основном, в графическом виде, удобнее использовать не параметр  $P$ , а другую величину – длину волны свободных колебаний крана  $l$  при его движении по прямолинейным рельсам (ДВСК) [2]. Величина  $l$  зависит только от параметра  $P$  и может быть определена из выражения:

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

При изменении величины параметра  $P$  в определенных выше пределах, величина  $l$  изменяется от 125 м до 12,5 м.

Предельные значения возмущающих воздействий принимаем в соответствии со стандартами: относительный перекося колес 0,0006 рад, отклонение от прямолинейности рельса в горизонтальной плоскости –  $\pm 20$  мм на длине 10 м. Величину горизонтального смещения крана относительно оси рельсового пути в процессе исследований не ограничиваем, считая реборды как бы отсутствующими.

В соответствии с [3] перекося колес приводит к тому, что кран начинает двигаться по окружности, радиус которой при раздельном приводе  $R$  определяется из выражения:

$$R = \frac{2B}{b_{\vartheta}} , \tag{3}$$

где  $b_{\vartheta}$  – угол эффективного перекося колес:

$$b_{\vartheta} = (b_1 + b_2) - (b_3 + b_4) , \tag{4}$$

где  $b_i$  – угол перекося  $i$ -го колеса.

На кривизну траектории крана с общим приводом при цилиндрических колесах оказывает влияние упругое закручивание общего вала [4], вызывая увеличение ее радиуса. Считая, что влияние конусности проявляется раньше, чем закручивание вала, радиус кривизны траектории (РКТ) для крана на конических колесах определяем из того же выражения (3).

Ожидаемую величину  $b_{\vartheta}$  с учетом погрешности измерения углов  $b_i$  в реальной практике принимаем равной 0,0016, а ожидаемую минимальную величину РКТ – 5 км.

Наибольшая неопределенность возникает при выборе неблагоприятной амплитудно-частотной характеристики искривлений рельсового пути. Как следует из результатов работы [2] неблагоприятная ситуация складывается в том случае, когда длина рабочей зоны крана в несколько раз больше ДВСК. Исходя из этого, длину рабочей зоны крана и принимаем равной 100 м, а различные соотношения этих длин получим за счет изменения ДВСК.

С использованием генератора случайных чисел задаёмся случайными величинами смещений рельсов, не выходящими за пределы, определенные в [5], но близкими к ним. На их основе вычисляем смещения оси пути. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Смещения оси пути, мм

|                  |   |   |     |    |      |     |    |    |    |       |     |    |    |    |     |       |     |      |      |    |
|------------------|---|---|-----|----|------|-----|----|----|----|-------|-----|----|----|----|-----|-------|-----|------|------|----|
| Длина пути, м    | 0 | 5 | 10  | 15 | 20   | 25  | 30 | 35 | 40 | 45    | 50  | 55 | 60 | 65 | 70  | 75    | 80  | 85   | 90   | 95 |
| Смещение оси, мм | 0 | 3 | 8,5 | 5  | -3,5 | -14 | -2 | -8 | 2  | -10,5 | 4,5 | -3 | 10 | -4 | 2,5 | -11,5 | 5,5 | -0,5 | -6,5 | -2 |

Действуя по методике [2], вычисляем значения коэффициентов тригонометрического ряда, аппроксимирующего кривизну пути:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^N \left\{ a_n \cos \left[ np \frac{x}{S} \right] + b_n \sin \left[ np \frac{x}{S} \right] \right\}, \quad (5)$$

где  $x$  – текущее значение пути крана;  $S$  – длина его рабочей зоны;  $a$  и  $b$  – коэффициенты аппроксимации;  $n$  – число полупериодов в пределах рабочей зоны, принимающее в данном случае следующие значения: 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18.

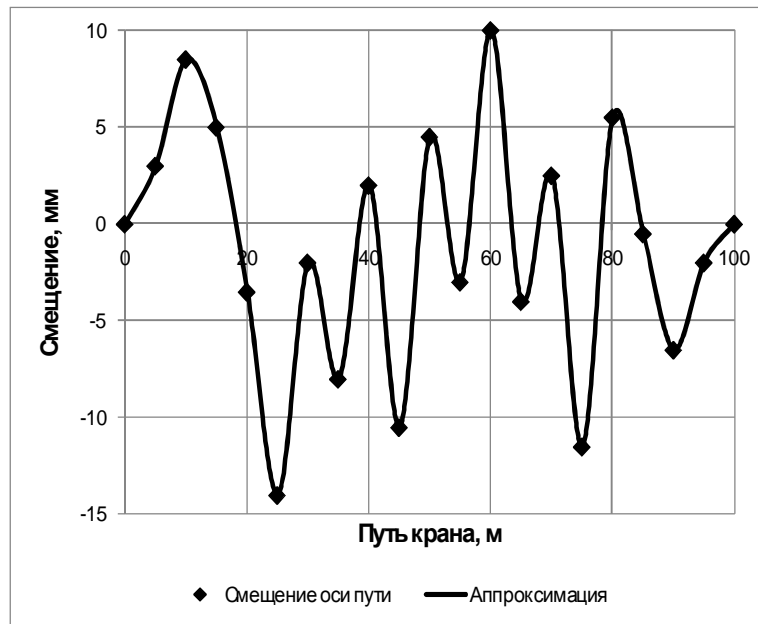


Рис. 1. Смещение оси пути

Подставив в дифференциальное уравнение (1) аппроксимирующую функцию (5), при вычисленных значениях коэффициентов находим его численное решение при движении крана «вперед» до конца рабочей зоны и «назад» в исходную точку.

Кривые, соответствующие РКТ крана 20 км, ДВСК 100 м и 12,5 м, базе 5600 мм, при его движении «вперед» и «назад», а также при положительном (а) и (в) и отрицательном (б) и (г) знаке перед функцией кривизны пути в уравнении (1), приведены на рис. 2. На каждом из графиков приведено по две кривых. Одна из них – сплошная линия – соответствует нулевому смещению крана в исходной точке относительно оси пути. Вторая – пунктирная линия – смещению, обеспечивающему прямолинейное движение крана по прямолинейному пути [6]. Числовое значение смещения находили из (1), положив  $y'$  и  $y''$  равными нулю.

На основе анализа этих кривых сделаны следующие выводы:

1. При длине волны 100 м;
  - кривые смещений крана не имеют никакого сходства с кривой смещения оси пути, при движении крана «назад» кривые смещений практически зеркальны относительно оси  $OY$  по отношению к аналогичным кривым при его движении «вперед»;
  - влияние амплитудных значений смещений оси пути минимально;
  - длина волны колебаний кривых смещения крана близка к ДВСК (100 м);
  - размах колебаний при установке крана со смещением составляет величину около 8 мм при максимальном отклонении – 15 мм;
  - максимальное отклонение кривой, соответствующей установке крана без смещения, – около – 22 мм;

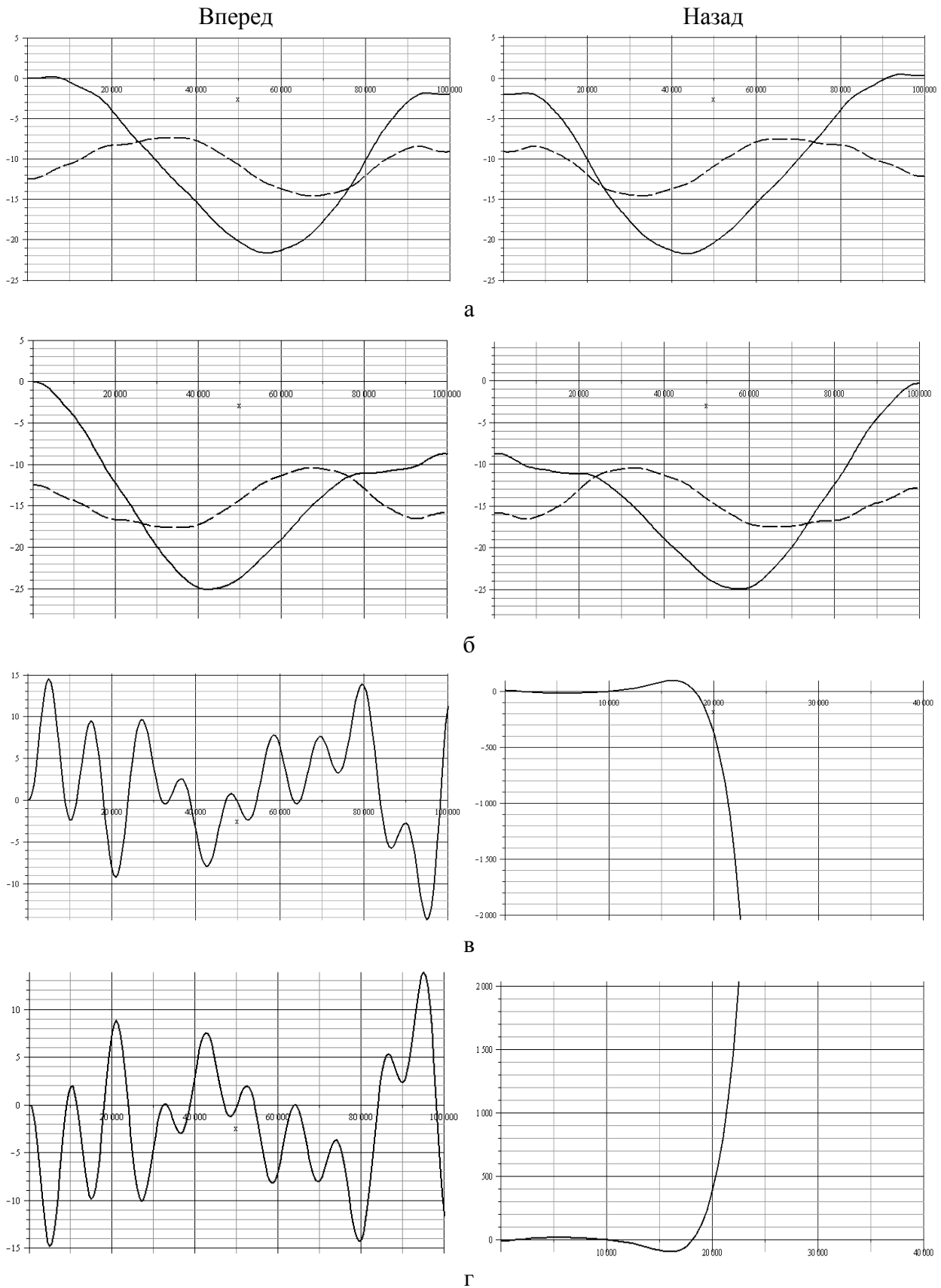


Рис. 2. Кривые смещения геометрического центра крана при его движении по непрямолинейным рельсам «вперед» и «назад»:

а, б – длина волны 100 м; в, г – длина волны 12,5 м ; а, в – в уравнении (1) – функция смещений рельсов с положительным знаком; б, г – с отрицательным знаком

– переместившись в конечную точку пути и вернувшись в исходную, кран сместился относительно исходного положения на величину порядка + 0,2 мм;

– при изменении знака смещений пути (кривые б): максимальное отклонение кривой при установке крана без смещения возросло на 3 мм; кривые, соответствующих установке крана со смещением, зеркально отобразились относительно горизонтали с координатой примерно – 12,5 мм (смещение, соответствующее прямолинейному движению крана по прямому пути); при возврате крана в исходную точку смещение относительно исходного положения составило – 0,2 мм.

2. При длине волны 12,5 м;

– форма кривых смещения крана при его движении «вперед» подобна форме кривой смещения рельсового пути:

○ число вершин кривой смещения крана равно числу вершин кривой смещения рельсового пути;

○ расположение вершин обеих кривых примерно соответствует тем же точкам пути;

○ максимальные амплитудные значения кривой смещения пути равны +10 мм и – 15 мм, а кривой смещения крана –  $\pm 14$  мм.

– при движении крана «назад» кривая его смещения относительно оси рельсового пути стремится в бесконечность.

– как при движении крана «вперед», так и при его движении «назад» изменение знака перед кривой смещения рельсов приводит практически к зеркальному отображению кривой смещения крана относительно оси  $OX$ .

Анализ кривых, соответствующих промежуточным значениям длин волн позволил установить следующее:

1. При длине волны 50 м по сравнению с длиной волны 100 м:

– несколько возросло влияние кривизны пути:

○ появился промежуточный локальный экстремум, положительно направленный при положительном знаке перед функцией смещений оси пути, и отрицательно – при отрицательном знаке;

○ при изменении знака перед функцией смещения пути кривая смещения крана зеркально отображается относительно горизонтали с координатой около –3,13 мм (смещение, соответствующее прямолинейному движению крана по прямому пути);

○ на 1 мм возросло смещение крана при возврате в исходную точку после цикла движения «вперед» – «назад».

– несколько уменьшилось влияние кривизны траектории, обусловленной перекосами колес: на каждом из графиков кривые со смещением и без него практически сливаются на большей части пути крана;

– максимальное значение размаха колебаний смещения крана практически не изменилось и составило  $\approx 23$  мм.

2. По мере дальнейшего уменьшения длины волны вид кривых постепенно приближается к виду кривых рис. 2, в и г, что является следствием уменьшения влияния перекоса колес и увеличением влияния кривизны пути.

3. Конечные величины смещений крана при его движении «назад» в пределах одного цикла наблюдаются при длинах волны до 30 м включительно. При длине волны 25 м кривая уходит в бесконечность за  $\approx 0,5$  м до конца пути.

Основное отличие кривых, соответствующих радиусу кривизны траектории 5000 м состоит в значительных величинах односторонних смещений крана при больших длинах волн, резко уменьшающихся вместе с длиной волны. Так при длине волны 100 м максимальная величина одностороннего смещения составляет – 90 мм, при 50 м – 27 мм.

Графики, построенные для двух циклов движения крана «вперед» – «назад» при длинах волн 100 м и 50 м показали, что после двух циклов движения крана смещение при возврате в исходную точку в два раза превышает величину, соответствующую одному циклу.

На основании изложенного можно выделить диапазон длин волн, в пределах которого обеспечиваются наиболее благоприятные условия для движения крана, но полное отсутствие контакта реборд с рельсами не гарантировано. Ориентировочно, это диапазон 60 м – 35 м. Верхний предел ограничивается максимальной величиной одностороннего смещения крана, которая не превысит 36 мм при радиусе кривизны траектории 5000 м, а нижний – страховкой от ухода кривой смещения в бесконечность.

Для того чтобы вписаться в этот диапазон длин волн при изменении диаметра колес и длины пролета минимума до максимума, следует изменять конусность от 0,02 до 0,12 мм. При тех же углах перекося колес и той же искривленности пути конусность колес кранов с минимальными значениями диаметра колес и пролета должна быть минимальной и возрастать вместе с их увеличением.

При неизменных значениях диаметра колес и базы крана увеличение конусности приводит к снижению влияния перекося колес и увеличению влияния кривизны пути.

При повышении точности выверки колес и рельсового пути диапазон изменений конусности может быть сужен.

Данные результаты являются предварительными. Они показывают, что при существующих ограничениях на перекося колес и кривизну пути и самом благоприятном соотношении значений конструктивных параметров ходовой части крана нельзя гарантировать, что его движение будет проходить при полном отсутствии контакта реборд с рельсами. Для оценки интенсивности и длительности взаимодействия реборд с рельсами при различных значениях конусности колес необходимо рассмотреть движение крана с учетом ограничивающего действия реборд.

## ВЫВОДЫ

При существующих ограничениях на перекося колес и кривизну рельсового пути и самом благоприятном соотношении конструктивных параметров ходовой части крана на конических колесах нельзя гарантировать, что его движение будет проходить при полном отсутствии контакта реборд с рельсами. Для обеспечения наиболее благоприятного соотношения конструктивных параметров крана необходимо изменять конусность колес от 0,002 до 0,12.

Увеличение конусности колес приводит к снижению влияния их перекося и увеличению влияния кривизны пути, и наоборот.

Необходимо рассмотреть движение крана с учетом ограничивающего действия реборд.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальський Б. С. *Вопросы передвижения мостовых кранов* / Б. С. Ковальський. – Луганск : Изд-во ВНУ, 2000. – 63 с.
2. Поликарпов Ю. В. *Движение грузоподъемного крана на конических колесах по непрямолинейным рельсам* / Ю. В. Поликарпов // *Вісник ДДМА : зб. наук. праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2011. – № 2 (23). – С. 102–106.
3. Поликарпов Ю. В. *Кинематика движения четырехколесной ходовой тележки грузоподъемного крана* / Ю. В. Поликарпов // *Подъемно-транспортная техника*. – 2004. – № 3. – С. 47–55.
4. Поликарпов Ю. В. *Учет влияния упругости вала на движение четырехколесного мостового крана с общим приводом [Электронный ресурс]* / Ю. В. Поликарпов // *Научный вестник ДГМА*. – 2010. – № 1 (6Е). – С. 189–197. – Режим доступа: <http://www.dgma.donetsk.ua/publish/vesnik/1/article/10PJWVCD.pdf>.
5. *НПАОП 0,00-1,01-07. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів* / Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Дата прийняття 16.12.1993. – Харків, Форт, 2002. – 416 с.
6. 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.