

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

Довбня Н. П., Бондаренко Л. М., Коренюк Р. А.

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск,  
Украина

**Постановка проблемы.** Конические колеса применяют на подвесных однорельсовых тележках и малоопорных поворотных устройствах кранов.

Для определения сопротивления их передвижению необходимо знать величину коэффициента трения качения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для крановых колес имеются экспериментальные зависимости между коэффициентом трения качения и диаметром колеса для стальных и чугунных колес как при первоначальном линейном (плоская головка рельса), так и точечном (скругленная головка) контактах для стандартных диаметров от 200 до 1000 мм.

Однако, в подвесных тележках и малоопорных поворотных устройствах кранов могут применяться колеса с меньшим средним геометрическим диаметром, а конструктивное многообразие, особенно при вершине конуса катка в поворотных устройствах, не дает практической возможности дать экспериментальные зависимости для величин коэффициента трения качения.

**Цель статьи** получить аналитические зависимости, определяющие коэффициент трения качения для конических колес подвесных однорельсовых тележек и малоопорных поворотных устройств кранов.

**Основной материал исследований.** 1. Колеса подвесных однорельсовых тележек.

Разобьем колесо по его ширине на элементарные цилиндры шириной  $dx$ , тогда радиус цилиндра на расстоянии  $x$  (рис. 1) составит

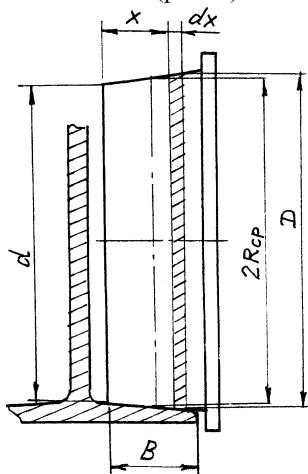


Рис. 1. Схема к определению коэффициента трения качения конического колеса подвесной однорельсовой тележки

$$R(x) = \frac{d}{2} + \frac{D-d}{2B}x. \quad (1)$$

Найдем полуширину пятна контакта элементарного цилиндра, воспользовавшись теорией контактных деформаций Герца

$$b(x) = 1,526 \sqrt{\frac{Q}{2BE} \left( d + \frac{D-d}{B} x \right)}. \quad (2)$$

Коэффициент трения качения элементарного цилиндра найдем, воспользовавшись экспериментально-теоретической зависимостью, полученной в [1]

$$k(x) = 0,225 b(x)^{-1,2R_{cp}}, \quad (3)$$

где  $R_{cp} = (D+d)/2$  – средний диаметр колеса в метрах.

Отметим, что в более точной постановке вместо  $R_{cp}$  необходимо подставить  $R(x)$ , но величина гистерезисных потерь, определяемая экспонентой, в конечном итоге мало влияет на сопротивление качению колеса.

Сопротивление качению колеса определится как

$$W = \int_0^B \frac{B K(x) Q(x)^{-1,2R_{cp}}}{R(x)} e^{-\int_0^x \frac{Q}{R} dx} dx = 0,4856 \frac{Q \sqrt{Q/BE}}{D-d} (\sqrt{D} - \sqrt{d}) e^{-1,2R_{cp}}. \quad (4)$$

Найдем приведенный радиус  $R_{пр}$  цилиндра шириной  $B$  при котором сопротивление качению будет равно сопротивлению конусного колеса.

Поскольку полуширина пятна контакта

$$b = 1,526 \sqrt{\frac{QR_{\text{пр}}}{BE}},$$

то

$$K_{\text{пр}} = 0,343 \sqrt{\frac{QR_{\text{пр}}}{BE}} e^{-1,2R_{\text{ср}}}.$$

и

$$W_{\text{пр}} = \frac{0,343Q\sqrt{QR_{\text{пр}}/BE}}{R_{\text{пр}}} e^{-1,2R_{\text{ср}}}. \quad (5)$$

Приравняв выражения (4) и (5), получим

$$R_{\text{пр}} = 0,25 \frac{(D-d)^2}{(\sqrt{D}-\sqrt{d})^2} \approx 0,5(D+d) = R_{\text{ср}}. \quad (6)$$

Зависимости приведенного радиуса колеса и сопротивления качению при  $B=40\text{мм}$  и  $Q=5\text{kH}$  при разных диаметрах  $D$  и  $d$ , среднем геометрическом радиусе  $R_{\text{ср}}=145$  мм показаны на рис. 2.

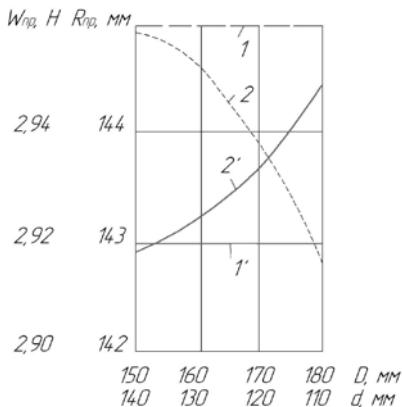


Рис. 2. Зависимости от большого и малого диаметров конического колеса однорельсовой тележки: 1, 1' - геометрического радиуса и сопротивления качению при его величине; 2, 2' - приведенного радиуса и сопротивления качению

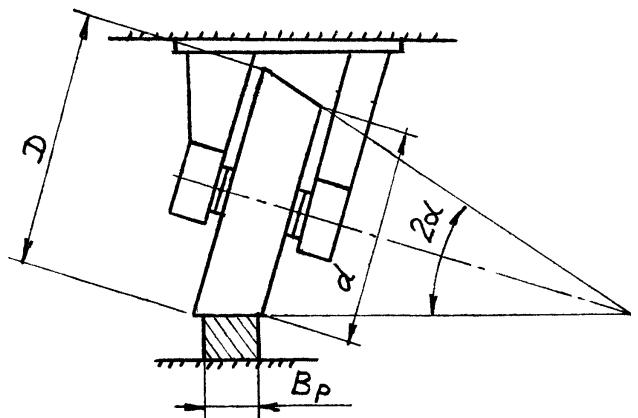


Рис. 3. Схема малоопорного поворотного устройства с наклонным положением катка

2. Конические катки малоопорных поворотных устройств (наклонное положение катка).

Схема опорно-поворотного устройства с наклонным положением катка показана на рис. 3.

Данная схема приводится к схеме, показанной на рис. 1 при

$$\begin{aligned} R &= \left( R + B_p / 2 \right) \sin \alpha; \\ r &= \left( r - B_p / 2 \right) \sin \alpha, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $B_p$  – ширина рельса;  $\alpha$  – половина угла при вершине конуса катка.

Сопротивление качению определяется формулами (4) или (5).

Отметим, что приведенные выше формулы справедливы для существующих углов при вершине конуса катка в опорно-поворотных устройствах стреловых кранов и уклонах полок подвесных однорельсовых тележек.

3. В зависимости от первоначальной (до изнашивания) схемы касания колеса и рельса контакт между ними может быть линейным или точечным. При качении конических колес подвесных тележек по нижнему поясу двутавровой балки или конического катка возникает линейный контакт.

Известно [2], что напряжения смятия при линейном контакте зависят от радиуса колеса в месте контакта. Поскольку при рассматриваемых колесах радиус переменный по длине контакта, то неизвестно какую величину радиуса принимать. В [3], исходя из рис. 9.20, с учетом коэффициента толчков, коэффициента, учитывающего касательную нагрузку в месте контакта и коэффициента неравномерности нагрузки по ширине контакта напряжения смятия найдены для максимального диаметра  $D$ .

Без учета указанных коэффициентов

$$\sigma_{\max} = 0,418 \sqrt{\frac{2PE}{BD}}$$

и при  $D = 180$  мм,  $B = 40$  мм,  $Q = 5$  кН,  $\sigma_{\max} = 226$  МПа.

Предлагается при определении  $\sigma_{\max}$  принимать среднюю величину диаметра  $D_{cp} = (D+d)/2$

и при  $d = 110$  мм,  $\sigma_{\max} = 252$  МПа, что на 10% выше, чем по формуле предложенной в [3].

4. Соотношение между сопротивлениями скольжению и качению в конических колесах.

Работа сил трения качения за один оборот колеса составит

$$A_{kch} = 2\pi WR_{cp} = 0,4856\pi Q \sqrt{\frac{Q}{BE}} (\sqrt{D} - \sqrt{d}) e^{-1,2R_{cp}}. \quad (8)$$

То же скольжения

$$A_{sk} = \frac{1}{2} \pi (D-d) Q f. \quad (9)$$

Отношение  $A_{sk}/A_{kch}$

$$\frac{A_{sk}}{A_{kch}} = \frac{(D-d) f e^{-1,2R_{cp}}}{0,97 \sqrt{\frac{Q}{BE}} (\sqrt{D} - \sqrt{d})}. \quad (10)$$

Расчеты показывают, что при реальных значениях величин, входящих в формулу (10) это отношение составляет 80...180.

Анализ приведенных формул и графиков на рис. 2 позволяет сделать выводы о том, что

- предложенные формулы позволяют определять коэффициент трения качения конических колес подвесных однорельсовых тележек и малоопорных поворотных устройств кранов аналитически с использованием общепринятых механических и геометрических констант;

- при существующих уклонах полок направляющих однорельсовых тележек и углах при вершине конуса катка малоопорных поворотных устройств кранов коэффициент трения качения можно определять как для цилиндра диаметром равным среднему геометрическому диаметру;

- при расчете сопротивления качению конических колес можно учитывать только сопротивление скольжению.

#### Литература:

1. Бондаренко Л.М., Довбня М.П., Ловейкін В.С. Деформаційні опори в машинах. – Дніпропетровськ: Дніпро – VAL, 2002. – 200 с.
2. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. – Киев. Наук. Думка, 1988. – 736с.
3. Грузоподъемные машины / Александров М.П., Колобов Л.Н., Лобов Н.А. и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 400с.

Довбня Н. П.  
Бондаренко Л. Н.  
Коренюк Р. А.

**УДК 629.4.027.11.015**

**АНАЛІТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПР КОЧЕННЮ КОНІЧНИХ КОЛІС**

Наведено аналітичні залежності, які дозволяють визначити коефіцієнт тертя кочення для конічних коліс підвісних однорейкових візків і малоопорних поворотних пристройів кранів.

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС**

Приведены аналитические зависимости, которые позволяют определить коэффициент трения качения для конических колес подвесных однорельсовых тележек и малоопорных поворотных устройств кранов.

**ANALYTICAL DEPENDENCE FOR DETERMINING THE ROLLING RESISTANCE OF BEVEL GEARS**

Analytical dependences, which determine the coefficient of rolling friction for bevel gears suspended monorail trolleys and cranes little reference rotary devices.

## **Відомості про авторів**

Довбня Николай Петрович, 49010 г. Днепропетровск, ул. Акад. Лазаряна 2, ДИИТ, доцент кафедры «Локомотивы», декан механического факультета, 8(0562)331961

Бондаренко Леонид Николаевич, 49010 г. Днепропетровск, ул. Акад. Лазаряна 2, ДИИТ, доцент кафедры «Прикладная механика», 8(056) 3731518

Коренюк Роман Александрович, 49010 г. Днепропетровск, ул. Акад. Лазаряна 2, ДИИТ, асистент кафедры «Локомотивы», 8(0562)331961, [koroman@ua.fm](mailto:koroman@ua.fm)