

Естественное кочение жесткой колесной пары на поворотах

Известно, что вагоны железнодорожного транспорта опираются на две “каретки”, каждая из которых состоит из двух колесных пар. Колесные пары опираются на рельсы. Колесная пара состоит из двух колес, жестко посаженных на одну ось с двух сторон. При кочении колесной пары оба колеса делают одно и тоже количество оборотов. Выполнить условие, чтобы диаметры колес одной колесной пары были одинаковы, невозможно. Это связано с точностью изготовления, а также с различным износом поверхности колес при пробуксовке в процессе эксплуатации. При движении колесной пары даже по прямой линии, в связи с различием диаметров колес, при одних и тех же оборотах колеса пробегают различные пути:

$$\begin{aligned}l_1 &= D_1 \cdot N \cdot \pi, \\l_2 &= D_2 \cdot N \cdot \pi,\end{aligned}\tag{1}$$

где l_1 и l_2 - пути пробега первого и второго колеса соответственно,

D_1 и D_2 - диаметры соответствующих колес,

N - произвольное количество оборотов.

При этом ось должна развернуться на угол:

$$\alpha = \text{Arctg}\left(\frac{l_1 - l_2}{b}\right),\tag{2}$$

где α - угол поворота,

b - расстояние между колесами колесной пары или рельсами,

а колесная пара сойти с рельс. Этого не происходит лишь потому, что колеса имеют бортики, а две колесные пары фиксированно объединены кареткой. При этом различие путей компенсируется пробуксовкой колес (нет разворота оси), а бортик колеса с меньшим диаметром постоянно трется о край рельса. При этом изнашивается как бортик, так и рельс. Край рельса изнашивается о бортик сильнее, чем верх рельса. Износ края рельса приводит к увеличению расстояния между рельсами, неравномерный износ приводит к увеличению бокового качания, так как бортик в течении всего пути прослеживает рельеф края рельса. Износ края рельсов резко укорачивает срок службы рельсов.

На поворотах, например, с радиусом R внешний рельс имеет длину большую, чем внутренний рельс:

$$\begin{aligned} L_1 &= \beta \cdot R, \\ L_2 &= \beta \cdot (R+b), \end{aligned} \quad (3)$$

где L_1 и L_2 - длины внутреннего и внешнего рельса соответственно,

R - радиус поворота,

β - угол поворота в радианах,

b - расстояние между рельсами.

При приблизительном равенстве диаметров колес, внешнее колесо должно пройти больший путь, чем внутреннее, что невозможно согласно формулы (1). В данном случае равенство путей приведет к развороту оси на угол:

$$\alpha_1 = \text{Arctg}\left(\frac{L_2 - L_1}{b}\right) \quad (4)$$

Этого не происходит благодаря бортикам на колесах и фиксированном положении колесных пар в каретке. Различные пути колеса проходят за счет пробуксовки одного из колес. При этом бортики колес трутся о край внешнего рельса, изнашивая его и уменьшая ширину рельса. Внутренний рельс на поворотах не изнашивается. Износ рельса на поворотах более существенен, чем на прямых линиях.

Износ края рельсов можно полностью устранить путем изменения профиля рабочей поверхности колеса и рельса. Под рабочей поверхностью подразумевается поверхности соприкосновения колеса и рельса. Как известно, эти поверхности расположены горизонтально. Например, колесо вдоль всей его ширины имеет один и тот же диаметр и при перемещении колеса в небольших пределах поперек рельса к изменению диаметра не приводит. Профиль рабочей поверхности рельса повторяет профиль колеса.

Если профиль колеса сделать таким, чтобы его диаметр изменялся вдоль ширины, т.е. рабочая поверхность имела форму усеченного конуса. При этом с внутренней стороны колеса (со стороны оси) колесо имеет диаметр больший, чем с внешней стороны. Профиль рабочей поверхности рельса такой же, как профиль рабочей поверхности колеса. Ширина рельса меньше ширины колеса. Расстояние между серединами ширины рельсов равно расстоянию между серединами ширины колес колесной пары. В таком состоянии диаметры рабочих поверхностей колес, опирающиеся на рельсы, равны. При смещении колесной пары от средней точки, например, вправо перпендикулярно рельсам (а это возможно, т.к. ширина рельсов меньше ширины колес) диаметр рабочей поверхности, опирающейся на рельс правого колеса, увеличится, а левого уменьшится.

Такое смещение возможно, если, например, рельсы заворачивают от прямой линии влево, а колесная пара катится по ним прямо, что эквивалентно

смещению колесной пары вправо относительно рельс. При этом смещении диаметр рабочей поверхности наружного колеса (относительно радиуса поворота) увеличится, а в связи с этим увеличится пробег правого колеса относительно левого согласно (1) и колесная пара развернется влево на угол согласно (2), а ее ось совпадет с радиусом кривизны. Т.е. пути пробега колес совпадут с длинами рельс на повороте и колесная пара будет катиться по рельсам даже без бортика на колесах.

При выходе рельс из левого поворота на прямую колесная пара будет съезжать с рельс влево, так как диаметр рабочей поверхности наружного колеса колесной пары меньше внутреннего. При этом перемещении диаметры рабочих поверхностей колес колесной пары выровняются и колесная пара будет катиться по прямой не сходя с рельс (без бортика на колесах).

За счет поперечного смещения колесной пары в любом случае, как при движении по прямой, так и при движении на поворотах будет соблюдаться равенство длин пробега рабочих поверхностей колес колесной пары им соответствующих длин рельс. Из формул (1) и (3) следует:

$$l_1=L_1=D_1 \cdot N \cdot \pi = \beta \cdot R \quad (5)$$

$$l_2=L_2=D_2 \cdot N \cdot \pi = \beta \cdot (R+b) \quad (6)$$

Поделив одно равенство (5) на другое (6), получим соотношение:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{L_1}{L_2}; \quad \frac{D_1}{D_2} = \frac{R}{R+b}, \quad (7)$$

из которого можно получить минимально возможный радиус поворота рельс R_{\min} в функции от расстояния между рельсами b , минимально возможным D_1 и максимально возможным D_2 диаметрами рабочей поверхности колес колесной пары:

$$R_{\min} = \frac{b}{\frac{D_2}{D_1} - 1}, \quad (8)$$

$$R_{\min} \leq R \leq \infty$$

где R радиусы всех возможных поворотов для соответствующих параметров данной колесной пары.

Например, при $D_1=0.59$ m, $D_2=0.6$ m, $b=2$ m из формулы (8) следует, что $R_{\min}=118$ m.

Таким образом применив естественное кочение колесной пары (изложенное выше) можно полностью устранить боковой износ рельс, уменьшить потери энергии тяги на трение, уменьшить боковое качание и в связи с изложенным увеличить скорость движения. Бортик при таком движении не играет никакой роли.

Также следует отметить, что возможно существенное уменьшение стука колес на стыках рельс без применения сварки. Для этого необходимо применять наклонный стык рельс согласно рис.1 (вид сверху рабочей поверхности рельса).

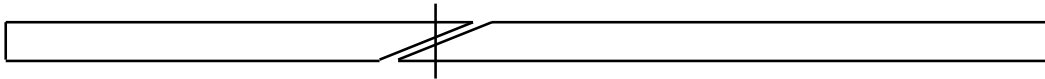


Рис.1

Поперечной линией обозначена нить соприкосновения поверхности колеса с поверхностью рельса. При вращении колеса нить соприкосновения перемещается плавно переходя с одного рельса на другой не испытывая провала зазора между рельсами.

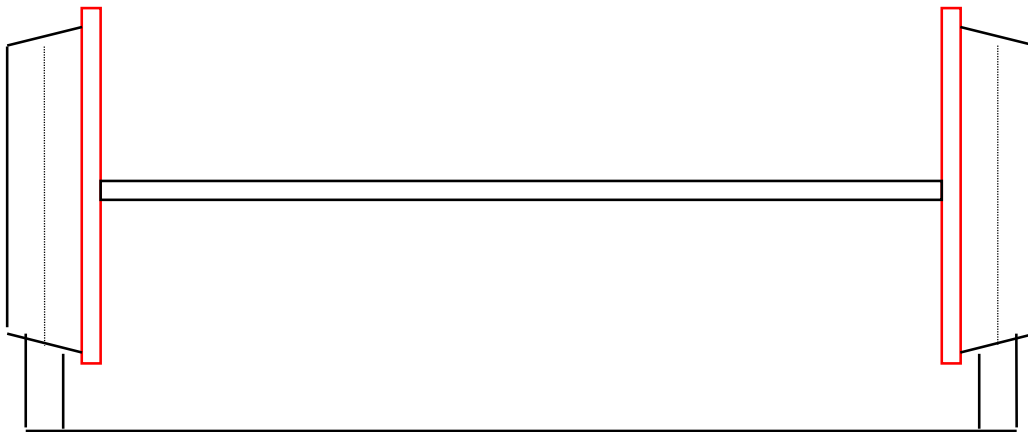


Рис.2

На рис.2 схематически показано движение колесной пары по прямой.



Рис.3

На рис.3 схематически показано движение колесной пары на повороте вправо.

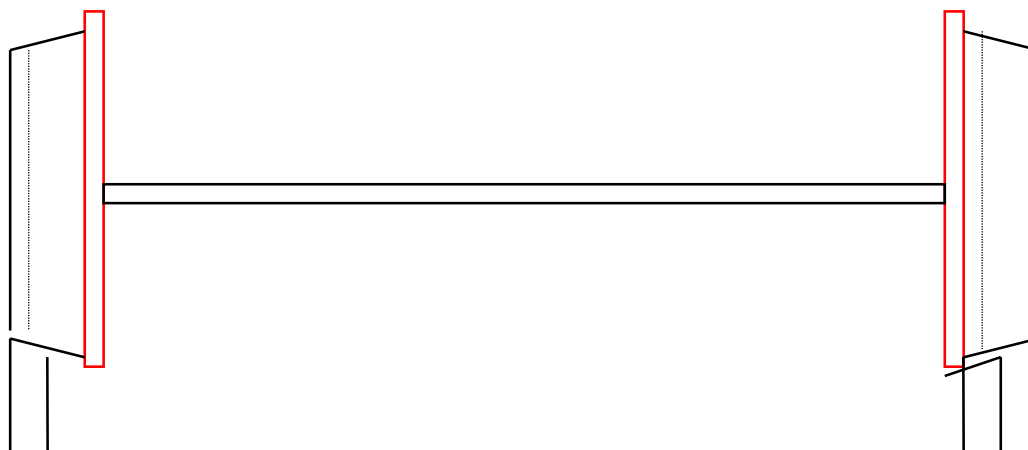


Рис.4

На рис.4 схематически показано движение колесной пары на повороте влево.

При движении колесной пары на поворотах ее ось разворачивается и становится параллельно радиусу кривизны. При движении по прямой ось устанавливается перпендикулярно рельсам. Т.е. , если две колесные пары расположены в каретке, то для них необходимо предусмотреть степень свободы для угла поворота осей колесных пар, чтобы они могли в процессе движения свободно устанавливаться параллельно радиусу кривизны поворота .

Предельные углы разворота осей небольшие и рассчитаны на минимальный радиус кривизны поворота рельс (рис.5). При радиусе поворота рельс R , расстоянии между осями колесных пар в каретке H максимальный угол разворота осей β равен:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{H}{2 \cdot R}\right). \quad (9)$$

Для $H=2$ м, $R=100$ м угол разворота $\beta=35'$;

Для $H=2$ м, $R=20$ м угол разворота $\beta=2^{\circ} 50'$.

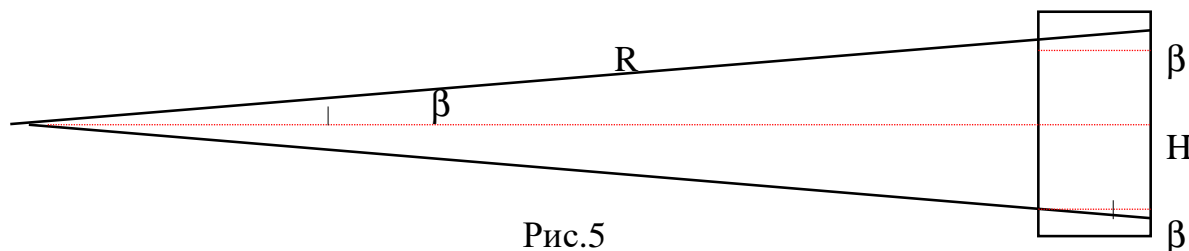


Рис.5