

## РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕСА НА РЕЛЬСЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВАГОНА ПО БЕСШПАЛЬНОМУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМУ ПУТИ

Василевич Ю.В., Неумержицкий В.В.

*Is investigated the stability of wheel on the rail during the motion of railroad car with respect to the sleeperless track railway line.*

Экспериментальные исследования, посвященные изучению движения экипажей в кривых и прямых участках пути, свидетельствуют о том, что наибольшие горизонтальные поперечные усилия передаются колесами рельсам на кривых участках пути. Упомянутые усилия, особенно в кривых малого радиуса, могут значительно превосходить нагрузку, возникающую при вилянии экипажа на прямых участках. К тому же, если при извилистом движении экипажа эти силы возникают на коротких отрезках пути, где гребни колес набегают на рельсы, в кривых с радиусом менее 800–600 м гребни некоторых колес при их движении прижаты к наружному рельсу почти на всем протяжении кривой [1; 2]. Действие интенсивной нагрузки на верхнее строение пути (ВСП) способствует образованию в рельсах дефектов контактно-усталостного происхождения. Как отмечено в [1; 2], подавляющее количество аварий и крушений поездов, обусловленных недостатками прочности конструкций пути или подвижного состава, а также потерей их устойчивости, происходит на кривых участках.

Потеря устойчивости колеса на рельсе происходит тогда, когда сила бокового прижатия гребня к рельсу  $Y$  (рис. 1), а значит сила трения гребня о рельс становится настолько большой, что катящееся колесо своей поверхностью катания начинает подниматься над поверхностью головки рельса, опираясь гребнем на выкружку его головки, а вертикальное давление колеса на рельс  $P_1$  по своей величине не может преодолеть это трение и прижать колесо обратно к поверхности катания головки рельса.

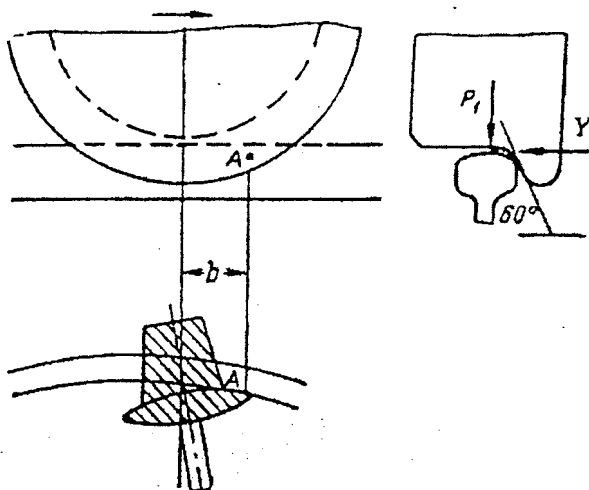


Рис. 1. Начальная стадия вкатывания колеса на рельс

Вкатывание гребня колеса на рельс может не дойти до критического момента (т.е. схода с рельса), если время неблагоприятного соотношения между силами  $P_1$  и  $Y$  будет кратковременным; при этом вертикальная сила должна возрасти, а сила бокового прижатия гребня к колесу уменьшиться. В этом случае начавшее подниматься колесо опустится на рельс раньше, чем гребень вкатится на рельс.

Горизонтальные поперечные силы в прямых участках пути возникают вследствие влияния вагона в колее; на участках в кривой – из-за возникающих поперечных боковых сил при вписывании его в кривую. Поперечные силы достигают максимальных значений при взаимодействии направляющих колес с рельсами.

Поскольку направляющая колесная пара движется под углом к радиусу кривой, то, колесо, катящееся по наружному рельсу, набегает на него (рис. 1). Вероятность схода колеса с рельса увеличивается с ростом отношения силы бокового прижатия гребня к рельсу к вертикальному давлению колеса на рельс.

Потеря устойчивости колеса на рельсе может произойти из-за плохого содержания ВСП в кривой. Отступление от технических норм содержания пути на участках в кривой приводит к появлению сильных боковых толчков. Неровности пути в профиле способствуют созданию неблагоприятной ситуации при движении подвижного состава, когда толчки совпадают с некоторой разгрузкой колеса от вертикальной нагрузки. Разгрузка колеса увеличивается в случае большой неровности пути и жесткости рессор.

На устойчивость колеса на рельсе сильно влияет техническое состояние подвижного состава.

Исследуем движение экипажей по круговым кривым.

Рассмотрим движение вагона, имеющего две двухосные тележки, и определим силовую нагрузку на единицу подвижного состава, а также силы, действующие на направляющую колесную пару.

Пусть вертикальная нагрузка, состоящая из полезной нагрузки и тары и приходящаяся на одно колесо, равна  $P_{бр}$ . Тогда вертикальное давление колес вагона на рельсы будет  $8P_{бр}$ , а от одной колесной пары  $2P_{бр}$ .

Принято считать, что в прямых участках пути обе рельсовые нити загружены вертикальными силами одинаково. При движении подвижного состава по кривой возникает центробежная сила, направленная наружу колее. Указанная сила вызывает дополнительное воздействие колес на наружную рельсовую нить. В итоге рельсы наружной нити изнашиваются значительно быстрее внутренней рельсовой нити.

Как известно, центробежная сила

$$I = \frac{mv^2}{R},$$

где  $m$  и  $v$  – масса и скорость движения экипажа,  $R$  – радиус кривой.

Если в кривой оба рельса были установлены в одном уровне, то равнодействующая силы  $I$  и силы веса была бы направлена к наружному рельсу, что приводило бы к разгрузке внутреннего рельса и перегрузке наружного. Чтобы уменьшить силы на наружный рельс (следовательно, устранить его перегрузку), достичь равномерности износа рельсов обеих нитей и комфортабельности езды, наружный рельс возвышают в кривой на величину  $h$ .

В результате возвышения наружного рельса экипаж на пути несколько наклоняется к горизонту; часть силы веса  $H$  будет направлена внутрь кривой, т.е. в противоположную сторону действия центробежной силы. Все это способствует созданию одинаковой на рельс нагрузки. Следовательно, наклон экипажа способствует уравниванию центробежной силы  $H / G = h/S_1$ , где  $G = 8P_{бр}$ .  $S_1$  – расстояние между осями рельсов. Исходя из требования выполнения равенства  $I = H$ , следует формула для расчета возвышения наружного рельса

$$h = 12,5 \frac{v^2}{R}, \quad (1)$$

В круговой кривой железнодорожного пути нормальная составляющая силы веса  $N = G \cos \alpha = 8P_{бр.} \cos \alpha$ . Нормально действующая к плоскости пути нагрузка, приходящаяся на одну колесную пару, равна  $N/4 = 2P_{бр.} \cos \alpha$ . Поскольку угол  $\alpha$  весьма мал, то  $\cos \alpha \approx 1$ . Тогда  $N/4 = 2P_{бр.}$ , т.е. будем считать, что на каждое колесо вагона приходится нормальная к пути нагрузка  $P_{бр.}$

На вагон, движущийся со скоростью  $v \neq v_{расч.}$ , кроме вертикальной нагрузки, будут действовать боковые силы, направленные поперек пути: центробежная сила  $I$  и параллельная пути составляющая веса вагона  $H$ .

Центробежная сила, действующая на кузов и приложенная в центр его тяжести, рассчитывается по формуле

$$I_k = \frac{P_k v^2}{gR3,6^2}, \quad (2)$$

где  $P_k$  – вес кузова с грузом.

Поскольку 
$$\frac{H_k}{P_k} = \frac{h}{S_1}, \quad \text{то} \quad H_k = \frac{P_k h}{S_1}. \quad (3)$$

Центробежная сила, действующая на тележку вагона и приложенная на уровне центров осей тележки, определяется по формуле

$$I_T = \frac{P_T v^2}{gR3,6^2}, \quad (4)$$

где  $P_T$  – вес тележки.

Суммарная центробежная сила, действующая на вагон,  $I = I_k + 2I_T$ .

Составляющая веса тележки, параллельная плоскости пути, равна

$$H_T = \frac{P_T h}{S_1}. \quad (5)$$

Таким образом, результирующая параллельная плоскости пути поперечная сила, приходящаяся на одну тележку, рассчитывается по формуле

$$H_{бр.т.} = 0,5 (I_k - H_k) + I_T - H_T. \quad (6)$$

Рассчитаем коэффициент устойчивости колеса на рельсе при движении вагона по виброизолированному участку бесшпального пути в круговой кривой радиуса 400 м. Возвышение наружного рельса в такой кривой составляет 120 мм.

Введем следующие параметры. Вес вагона брутто 60 000 кг, вес вагона с тележками (тара) 35000 кг или 30000 кг, нетто 25 000 кг, вес кузова с грузом 44 880 кг, статическое давление колеса на рельс брутто  $P_{ст.} = 7 500$  кг, общий вес одной тележки 7 560 кг, база тележки 2,1 м, диаметр колеса по кругу катания 0,78 м, диаметр шейки оси  $d_{ш} = 0,11$  м,  $r_{ш} = 0,055$  м; расстояние между кругами катания колес  $S_1 = 1520$  мм; неподрессоренный вес, отнесенный на одно колесо,  $q = 660$  кг, высота центра тяжести кузова над уровнем головки рельсов  $h_{ц} = 2$  м.

Рассчитаем действующие на кузов поперечные силы при скорости движения подвижного состава 65 км/ч. Определим центробежную силу  $I_k = 37290$  Н, параллельную пути составляющую веса кузова от его наклона из-за возвышения наружного рельса в кривой  $H_k = 35430$  Н; определим поперечные силы, действующие на тележку  $I_T = 6280$  Н; результирующую горизонтальную поперечную силу, действующую на тележку  $H_{бр.т.} = 1240$  Н; рассчитаем силу трения  $F = 18750$  Н; проекцию силы трения на ось направляющей колесной пары  $H_1 = 17910$  Н; рамное давление  $U_p = 17430$  Н.

В кривой при скорости 65 км/ч примем коэффициент вертикальной динамики  $K_d = 0,71$ .  
 Для вычисления коэффициента  $\eta$  запаса на устойчивость против вкатывания колеса на рельс, подставим численные значения параметров, входящих в формулу [1]

$$\eta = \frac{P_1}{Y_p} \cdot \frac{\mu\beta_1 + (S_2 + b_1) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{S_2 - (r + R)[\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]} - \frac{P_2}{Y_p} \cdot \frac{\mu b_2 - (S_2 - b_2) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{S_2 - (r + R)[\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]} - \frac{S_2}{Y_p} \cdot \frac{\left\{ I_2 \mu - I_1 \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \frac{P}{4} [\mu - \operatorname{tg}(\beta - \varphi)] \right\}}{\{S_2 - (r + R)[\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]\}}$$

В итоге получим  $\eta = 1,48$ .

Следовательно,  $\eta = 1,48 > 1$  и схода подвижного состава на участке в кривой по беспшальному пути не произойдет.

Приведем некоторые промежуточные результаты при вычислении коэффициента устойчивости колеса на рельсе соответственно для скорости  $v = 70$  км/ч и  $v = 80$  км/ч.

Скорость  $v = 70$  км/ч:

$I_k = 43240$ Н,	$I_r = 7280$ Н,
$H_k = 35430$ Н,	$H_r = 5970$ Н,
$H_{бр.т.} = 522$ Н,	$F = 18750$ Н
$H_{бр.т.} / 4F = 0,0696$ , $a = 136$ , $y/4F = 0,74$ ,	
$Y = 55500$ Н,	$\cos \alpha_1 = 0,95$ ,
$H_1 = 1788$ Н,	$Y_p = 1974$ Н,
$P_1' = 7651$ Н,	$P_2 = 7349$ Н,
$P_1 = 2795$ Н,	$P_2 = 7349$ Н,

$$\eta = 1,46.$$

Скорость  $v = 80$  км/ч:

$I_k = 56480$ Н,	$I_r = 9510$ Н,
$H_k = 35430$ Н,	$H_r = 5970$ Н,
$H_{бр.т.} = 14070$ Н, $a = 125$ , $y/4F = 0,82$ ,	
$Y = 61500$ Н,	$\cos \alpha_1 = 0,95$ ,
$H_1 = 17880$ Н,	$Y_p = 25740$ Н,
$P_1' = 79060$ Н,	$P_2 = 70940$ Н,

$$\eta = 1,38.$$

Анализ полученных конечных результатов расчета коэффициента  $\eta$  свидетельствует об устойчивом движении подвижного состава.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987.
2. Вериго, М.Ф., Коган, А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986.