

ИЗНОС И СРОКИ СЛУЖБЫ РЕЛЬСОВ И КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

У даній статті визначенні основні фактори, що визначають інтенсивність зносу рейок і коліс рухомого складу. У результаті аналізу, вимірів бокового зносу рейок у кривих ділянках колії, виявлені фактори, що впливають на інтенсивність зносу.

В данной статье определены основные факторы, определяющие интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава. В результате анализа, измерений бокового износа рельсов в кривых участках пути, выявлены факторы, оказывающие влияние на интенсивность износа.

The major factors determining the intensity of deterioration of rails and wheels of a rolling stock are determined in the article. The measurements of lateral rails deterioration in curve sites of a way, the factors influencing intensity of deterioration are revealed as a result of the analysis.

Интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава зависит от многих факторов. Между тем за последние 10 лет в конструкции пути и подвижного состава произошли существенные изменения, вызванные техническим прогрессом на железнодорожном транспорте. Протяжение термоупрочненных рельсов увеличилось на 50 %; а протяжение рельсов первой группы качества, имеющих повышенную твердость, возросло более чем в 2 раза. В то же время осуществлялся переход от чугунных на композиционные тормозные колодки, завершился переход с подшипников скольжения с открытыми буксами, на подшипники качения, в результате чего прекратилась естественная смазка колес и рельсов.

Согласно современным представлениям при контакте двух сопряженных поверхностей и их относительном перемещении в поверхностных слоях возникают механические и молекулярные взаимодействия, которые в конечном итоге и приводят к разрушению микрообъемов поверхностей, т. е. к их износу. Износ связан с многократным нарушением фрикционных связей. В зависимости от характера взаимодействия контактирующихся поверхностей имеет место упругое или пластическое отеснение материала, микрорезание, разрушение окисных пленок или разрушение основного материала в результате адгезии (молекулярного взаимодействия) [1].

Анализ результатов исследований многих авторов и наших наблюдений показал, что интенсивный износ рельсов происходит в кривых радиусом 600 м и менее. Вид изношенных поверхностей боковых граней рельсов в кривых малых радиусов ($R < 400$ м) представляет собой бороздки и беспорядочно расположенные выемки и каверны различного размера и глуби-

ны, а также продукты изнашивания в виде чешуек. Это свидетельствует о преобладании здесь процессов, происходящих в зоне контакта, связанных с абразивным износом и глубинным вырыванием (задиrom).

Анализ результатов наблюдений за износом рельсов на Западно-Сибирской железной дороге показал, что основным фактором, влияющим на интенсивность износа рельсов, является радиус кривых. Так на участках, где преобладают кривые радиусом 350...400 м интенсивность бокового износа в 2,5 раза выше, чем на участках, где преобладают кривые радиусом 550...600 м.

Получены убедительные данные о том, что ширина колеи в кривых в пределах от 1520 до 1540 мм не оказывает существенного влияния на боковой износ рельсов. Боковой износ на внутренних нитях отсутствует. На большинстве рабочих граней внутренних нитей кривых радиусом 600 м и менее отсутствуют даже следы касания гребней колес. Поэтому утверждения о недостатке ширины колеи в кривых не имеют под собой никаких оснований.

Анализ данных обточек бандажей колесных пар электровозов на дороге показал, что 55 % всех обточек производится по причине предельного износа гребней.

Анализ профилей колес локомотивов и вагонов показал, что они значительно отличаются по наклону (коничности) кругов катания, по величине радиуса выкружки гребня, углам наклона рабочей поверхности гребня, что неблагоприятно сказывается на условиях контактирования колес и рельсов и на интенсивности их износа. В каждой тележке электровоза находятся колеса, имеющие износ гребней существенно превосходящий износ других колес этой же

тележки.

Средняя интенсивность износа гребней отдельных колес тележек в 2 раза выше, чем остальных колес тех же тележек.

Объяснить это можно плохой развеской сцепного веса по осям электровоза и недостаточной твердостью отдельных колес.

Анализ дефектов колесных пар вагонов показал, что основными из них являются: 14 (тонкий гребень) – 41 %, 22 (выщербины) – 36 % и 20 (ползун) – 21 %, Другие дефекты, в частности 73 (разность диаметров колес) в вагонном депо не выявляются, но по данным нашей экспериментальной группы он достигает 19 %.

Прокат по поверхности катания колес увеличивается с наработкой в два раза менее интенсивно, чем износ гребней. Наибольшую величину прокат имеет по среднему кругу катания на расстоянии 70...100 мм от внутренних торцов колес.

Угол наклона рабочей поверхности гребня колеса на начальной стадии износа после обточки становится равным 65° и при дальнейшем нарастании износа остается практически без изменения. Угол наклона изношенной боковой грани наружного рельса в кривой также составляет 65° . Очевидно, что это оптимальный угол наклона гребней колес вагонов и локомотивов.

Одной из причин разной интенсивности износа левых и правых колес одной и той же колесной пары является разная их твердость. При этом если твердость колес по поверхности катания различается на 20...30 НВ, то разность средних значений по твердости гребня достигает 80...100 НВ.

Исследования рельсов не подтвердили, что является одной из основных причин износа гребней чрезмерную твердость рельсов. Твердость поверхности катания рельсов на опытных участках превышала твердость катания бандажей всего на 2...7 % [2].

Для оценки влияния параметров рельсовой колеи и ходовых частей подвижного состава на износ рельсов важно иметь обобщенный показатель. Часто используют так называемый фактор износа рельсов и гребней колес [3]. В этом случае интенсивность износа боковой грани рельса определяется выражением

$$\Phi_{\text{и}} = \frac{fNW}{G}, \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{и}}$ – фактор износа; f – коэффициент

трения; N – нормальное давление в точке контакта гребня набегающего колеса и рельса; W – относительное скольжение гребня колеса по рельсу; G – площадь контакта гребня колеса и рельса.

Нормальное давление в точке контакта гребня колеса и рельса составляет

$$N = y_1 \sin \gamma, \quad (2)$$

где y_1 – направляющее усилие, действующее на первую ось тележки; γ – угол наклона рабочей поверхности гребня к горизонту.

Площадь контакта гребня колеса с боковой гранью рельса зависит от угла набегания колеса на рельс и может быть определена в относительных единицах по формуле

$$G = 1 + 30 \frac{x_1}{R}, \quad (3)$$

где x_1 – расстояние от полюса поворота до геометрической оси первой колесной пары экипажа; R – радиус кривой.

Определим скольжение W гребня колеса по рельсу. При следовании подвижного состава по кривой действуют силы, которые поворачивают экипаж на необходимый угол. Поэтому экипаж находится в сложном поступательно-вращательном движении. Любая подвижная единица имеет больше одной оси, а в пределах жесткой базы (тележки) все оси параллельны между собой и поворачиваться относительно продольной оси этой базы не могут. Следовательно, движение, связанное с поворотом экипажа, возможно лишь при скольжении колес по рельсам [3].

Во время движения экипажа по кривой колеса скользят по рельсам не только за счет вращения жесткой базы вокруг полюса поворота C , но и в результате вращения колес. Относительная величина этого скольжения гребня составит

$$U_{\text{г}} = \frac{a}{r}, \quad (4)$$

где a – глубина касания гребня колеса и головки рельса; r – радиус колеса.

Суммарное относительное скольжение точки D , расположенной на рабочей поверхности гребня, по боковой грани рельса равно

$$W_{\text{D}} = \sqrt{\left(\frac{S}{2R} - \frac{a}{r}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{R \cos \gamma}\right)^2 + \left(\frac{a}{r} - \frac{x_1}{R \cos \gamma}\right)^2}, \quad (5)$$

где S – расстояние между осями рельсов.

Первый член формулы (5) представляет собой продольное скольжение точки D на гребне вдоль оси x , второй – поперечное скольжение в плоскости гребня вдоль оси y и третий – поперечное скольжение в плоскости гребня вдоль вертикальной оси z .

Такая модель вписывания жесткой базы экипажа в кривую со скольжением колес по рельсам – достаточно идеализированная, не учитывающая коничность колес, возможную разность их диаметров, люфты в буксовых направляющих тележки. Вместе с тем она позволяет анализировать влияние параметров рельсовой колеи на интенсивность износа рельсов.

Колеса локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава подкальзывают из-за действия на них крутящего момента от двигателей. Это подкальзывание можно учесть коэффициентом, полученным С. М. Акурлевым [4]:

$$\delta = \frac{F_k}{4,1\sqrt{1-F_k}}, \quad (6)$$

где $F_k = \frac{F_{\text{окр}}}{F_c}$ – отношение окружного усилия

на ободу колеса к его предельному значению по сцеплению.

Формула (5) с учетом δ будет выглядеть так:

$$W_D = \sqrt{\left(\frac{S}{2R} - (1+\delta)\frac{a}{r}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{R\cos\gamma}\right)^2 + \left((1+\delta)\frac{a}{r} - \frac{x_1}{R\cos\gamma}\right)^2}. \quad (7)$$

Коэффициент δ в случае действия на колесо тормозного момента берется со знаком «плюс», а при действии тягового момента – «минус».

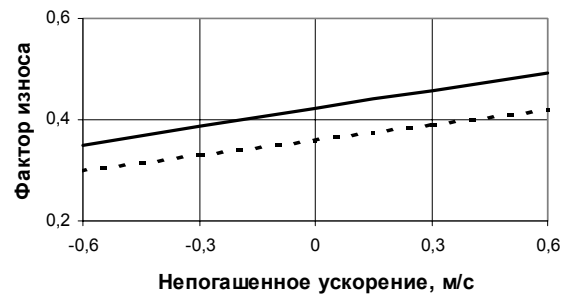
Действующие на первое набегающее колесо направляющие усилия y_1 и полюсные расстояния x_1 можно определить по приближенным зависимостям О. П. Ершкова [5] в функции непогашенного центробежного ускорения α_n .

Рассмотрим движение электроваза ВЛ-10 и грузового вагона с тележками ЦНИИ-ХЗ по кривой радиусом $R = 350$ м. Примем $S = 1,6$ м, $\gamma = 65^\circ$, $a = 0,01$ м, $r_b = 0,475$, $r_n = 0,625$ м, $\delta = 0,4$.

Результаты расчета направляющих усилий y_1 , полюсных расстояний x_1 , относительного скольжения гребня по рельсу W_D и фактора износа рельсов Φ_n в зависимости от непогашенных центробежных ускорений приведены в табл. 1 и на рис. 1 и 2.

Изменение интенсивности бокового износа рельсов в зависимости от непогашенного центробежного ускорения

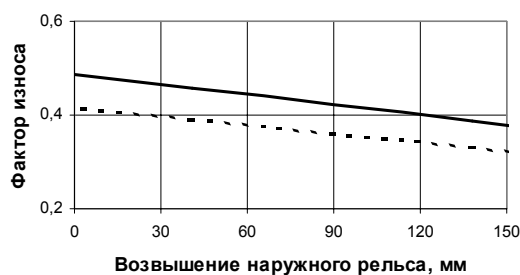
Непогашенное ускорение α_n , м/с ²	Направляющее усилие y_1 , кН	Полюсное расстояние x_1 , м	Относительное скольжение W_D	Фактор износа Φ_n
Грузовой вагон				
-0,6	61,5	2,77	0,0265	0,298
-0,3	69,0	2,64	0,0259	0,330
0	76,5	2,50	0,0252	0,360
0,3	84,0	2,36	0,0246	0,389
0,6	91,5	2,23	0,0241	0,418
Электроваз ВЛ10				
-0,6	62,8	3,79	0,0325	0,349
-0,3	70,5	3,64	0,0317	0,386
0	78,2	3,50	0,0310	0,422
0,3	85,9	3,36	0,0303	0,457
0,6	93,6	3,21	0,0295	0,491



— электроваз ВЛ-10
— грузового вагона

Рис. 1. Интенсивность бокового износа рельсов в кривой в зависимости от непогашенного ускорения

Из этих данных видно, что интенсивность износа рельсов как от воздействия электроваза ВЛ-10, так и от воздействия грузового вагона по мере увеличения непогашенного ускорения возрастает. Объясняется это большей чувствительностью направляющих усилий y_1 к росту непогашенных ускорений α_n по сравнению с относительным скольжением, которое слабо снижается по мере повышения α_n .



— электровоз ВЛ-10;
— грузовой вагон

Рис. 2. Интенсивность бокового износа рельсов в кривой в зависимости от возвышения

С увеличением возвышения наружного рельса (см. рис. 2) износ рельсов замедляется.

В результате многолетних исследований износа рельсов на Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской железных дорогах получена следующая эмпирическая зависимость нарастания величины бокового износа рельсов h_{δ} (мм) от наработанного тоннажа T в миллионах тонн брутто (Мт)

$$h_{\delta} = 0,07 T K_R K_P K_T K_i K_c. \quad (8)$$

Интенсивность износа 0,07 мм/Мт получена в кривых радиусом 400 м при средней осевой нагрузке подвижного состава 170 кН, твердости рельсов 350 НВ на затяжных спусках $i_p = 9 \text{‰}$ в отсутствие смазки рельсов.

Иные условия эксплуатации учитываются коэффициентами:

$K_R = (400/R)^2$ — учитывает изменение радиуса кривой R в м;

$K_P = (P/170)^{0,55}$ — учитывает изменение осевой нагрузки P в кН;

$K_T = (350/HB)^{3,5}$ — учитывает изменение твердости рельсов в единицах Бриннеля;

$K_i = (i_p/9)^{0,3}$ — учитывает изменение водящего уклона i_p в промилле;

$K_c = 0,8 \dots 0,5$ — учитывает смазку рельсов.

Управляемыми факторами здесь являются твердость рельсов и их смазка.

В соответствии с полученными эмпирическими зависимостями, увеличение радиуса

кривой от 300 до 600 м приводит к снижению интенсивности бокового износа рельсов в 4 раза. Уменьшение осевых нагрузок от 170 кН до 90 кН приводит к снижению интенсивности износа на 30 %. Увеличение твердости рельсов с 320 до 400 НВ вызывает снижение интенсивности износа на 46 %. Увеличение уклонов затяжных подъемов и спусков в 2 раза приводит к возрастанию интенсивности износа на 23 %.

Периодичность замены рельсов по износу в наружных нитях кривых можно определять по зависимости:

$$T = \frac{h_{\delta}}{0,07 \cdot K_R \cdot K_T \cdot K_P \cdot K_i \cdot K_c}. \quad (9)$$

Подставив в (9)

$$h_{\delta} = 15 \text{ мм},$$

$$K_R = (400/R)^2,$$

$$K_T = (350/HB)^{3,5},$$

$$K_P = (P/170)^{0,55},$$

$$K_i = (i_p/9)^{0,3},$$

получим

$$T = 214,3 (R/400)^2 (HB/350)^{3,5} (170/P)^{0,55} \times (9/i_p)^{0,3} (1/K_c). \quad (10)$$

Определим тоннаж, который можно пропустить по кривым до смены наружной нити, при $P = 170$ кН и $P = 90$ кН.

Значение остальных коэффициентов примем равными единице.

В этом случае при $P = 170$ кН

$$T = 214,3 (R/400)^2 = 1,34 \cdot 10^{-3} R^2. \quad (11)$$

При $P = 90$ кН

$$T = 304,3 (R/400)^2 = 1,9 \cdot 10^{-3} R^2. \quad (12)$$

Тоннаж, который можно пропустить по кривым до смены наружной нити, приведен в табл. 2. При этом расчет угла при отсутствии смазки $K_c = 1$ и при наличии $K_c = 0,5$.

Тоннаж, млн т бр., который можно пропустить по кривой, до предельного износа рельсов наружной нити

Осевая нагрузка, кН	Радиус кривой, м								
	250	300	350	400	450	500	550	600	650
При отсутствии лубрикации									
170	83,7	120,5	164,1	214,3	271,2	334,8	406,2	482,2	565,9
90	118,9	171,1	230,0	304,3	385,2	475,4	576,8	684,7	803,6
При наличии лубрикации									
170	167,4	241,0	328,2	428,6	542,4	669,6	812,4	964,4	131,8
90	237,8	342,2	460,6	608,6	770,4	950,8	1153,6	1369,4	607,2

В соответствии с положением о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации, утвержденной министром путей сообщения 27.04.2001 г. в кривых участках пути в период между усиленными капитальными ремонтами пути предусматривается дополнительная сплошная смена рельсов с периодичностью, приведенной в табл. 3.

Таблица 3

Периодичность дополнительных сплошных замен рельсов в кривых участках пути

Группа пути	Количество дополнительных сплошных смен рельсов в кривых в зависимости от радиуса кривой при наличии лубрикации рельсов	
	351–650 м	350 м и менее
Б, В	1 раз	2 раза
Г, Д	–	1 раз

Подсчитаем количество дополнительных смен рельсов в кривых, используя данные таблицы 2 при нормативном тоннаже для звеньевоего пути на деревянных шпалах $T_H = 600$ млн т брутто.

$$n = T_H / T - 1. \quad (13)$$

Результаты расчета приведены в табл. 4.

Приведенная здесь методика определения периодичности смены рельсов в кривых по износу более адекватно по сравнению с существующими нормативами отражает реальную действительность.

Таблица 4

Количество дополнительных замен рельсов по износу в кривых в межремонтный период ($T_H = 600$ млн т брутто)

Осевая нагрузка, кН	Радиус кривой, м								
	250	300	350	400	450	500	550	600	650
При отсутствии лубрикации									
170	6	4	3	2	1	1	1	0	0
90	4	3	2	1	1	0	0	0	0
При наличии лубрикации									
170	3	2	1	0	0	0	0	0	0
90	2	1	0	0	0	0	0	0	0

Выводы

1. Как показали исследования, основным фактором, определяющим интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава, является затрудненное вписывание экипажей в кривые малого радиуса на перегонах и станциях.

Анализ результатов измерений бокового износа рельсов в кривых участках пути показал, что наибольшее влияние на интенсивность износа оказывают:

- радиус кривой;
- твердость рельсов;
- осевые нагрузки подвижного состава;
- уклон продольного профиля;
- смазка рельсов.

Управляемыми факторами здесь являются твердость рельсов и их смазка.

2. Для получения положительного эффекта количество проходов рельсосмазывателей по участкам с интенсивным износом должно быть не менее одного, двух в сутки с подачей смазки типа РП в количестве 500...700 г/км.

Необходимо также установить напольные лубрикаторы в горловинах всех станций, где значительные вагонопотоки отклоняются на боковые направления. В первую очередь это должны быть участковые, сортировочные и пассажирские станции.

3. В связи с тем, что твердость рельсов является важнейшим фактором, определяющим их износостойкость, рекомендуется укладывать в кривые малого радиуса рельсы типа Р65К, категории качества «В» с твердостью не менее 363–401 единиц по Бриннелю.

4. Периодичность замен рельсов по износу в наружных нитях кривых существенно зависит от радиуса кривых, осевой нагрузки подвижно-

го состава, наличия или отсутствия лубрикации рельсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Износ рельсов и колес подвижного состава / Под ред. К. Л. Комарова, Н. И. Карпущенко. – Новосибирск, СГАПС, 1997. – 153 с.
3. Андриевский С. М. Боковой износ рельсов в кривых / Тр. ВНИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат, 1961. Вып. 220. – С. 4-32.
4. Ершков О. П. Вопросы подготовки железнодорожного пути к высоким скоростям движения. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 126 с.