

$$\mathcal{E}_2 = S_k N_{ck} \left(\frac{1}{V_k} + \frac{1}{V'_k} \right) N_{л.к} V_r h_{г.р} \frac{\gamma}{\gamma_{к.р}} \frac{\bar{m}_д}{(m_{г.л})_k}, \quad (7)$$

где S_k — расстояние, проходимое лесовозом от карьера к месту складирования хлыстов;
 $N_{л.к}$ — плотность растущих деревьев на дневной поверхности будущего карьера;
 $h_{г.р}$ — глубина разработки грунта в карьере;
 $\gamma_{к.р}$ — плотность грунта в карьере до разработки;
 $\bar{m}_д$ — средняя масса дерева;
 $(m_{г.л})_k$ — масса нагруженного лесовоза k -го типа.

При выводе последнего уравнения полагали, что в данном карьере должен быть добыт грунт объемом V_r . Если имеется несколько карьеров, то

$$\mathcal{E}_2 = \sum_{i=1}^{k_k} S_{ki} N_{cki} \left(\frac{1}{V_k} + \frac{1}{V'_k} \right) N_{л.ки} V_{ri} h_{г.рi} \frac{\gamma}{\gamma_{к.рi}} \frac{\bar{m}_д}{(m_{г.л})_k}, \quad (8)$$

где k_k — число разрабатываемых карьеров.

Очевидно, что при распределении величин $\{V_{ri}\}$ по карьерам, должно выполняться равенство

$$V_r = \sum_{i=1}^{k_k} V_{ri}.$$

Разработанные теоретические основы дают возможность использовать эти формулы для расчета энергозатрат при возведении земляного полотна лесовозных автомобильных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Леонович И. И., Вьрко Н. П. Механика земляного полотна.— Минск: Наука и техника, 1975.— 232 с. [2]. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Пер. с англ.; Под ред. М. Л. Быховского.— М.: Мир, 1975.— 534 с.

Поступила 13 октября 1992 г.

УДК 625.143.2

ИЗНОС РЕЛЬСОВ ЛЕСОВОЗНЫХ УЖД

С. И. МОРОЗОВ, М. В. ПОПОВ, А. В. ЯРОСЬ

Архангельский лесотехнический институт

Рельсы относятся к основным элементам верхнего строения пути. При нормативном сроке службы 20...25 лет их фактический срок эксплуатации на лесовозных УЖД часто составляет 5...10 лет. Это приводит к необходимости замены рельсов, что связано с большими материальными и трудовыми затратами.

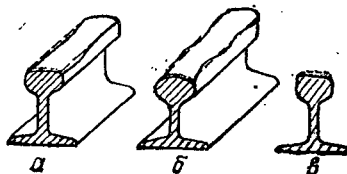
Износ рельсов узкой колеи пока систематически не изучался, хотя такая работа актуальна. В настоящее время стоимость новых рельсов весьма высока, и их приобретение не под силу многим лесозаготовительным предприятиям. В связи с этим возникает проблема реставрации и повторного использования рельсов. Для обоснованного решения этой проблемы надо знать характер их износа и объем возможной реставрации.

К причинам повышенного износа относятся высокие осевые нагрузки для современных типов тепловозов и ухудшение механических свойств металла рельсов, поступающих на лесовозные УЖД в последнее время. Так, по данным обследования состояния верхнего строения пути Нюбской УЖД концерна Северолес, выполненного в 1986 г. [1], установлено, что рельсы, уложенные в 1965—1970 гг., изношены меньше, чем уложенные в 1980—1985 гг.

В работе [2] приведен 31 вид дефектов рельсов, по которым производится их выбраковка, ремонт и реставрация. В основном это дефекты по концам рельсов.

К наиболее распространенным дефектам относятся: смятие головки (с наплывом, но без трещин) (рис. 1, а), смятие в виде волны или седловины (рис. 1, б), износ (истирание) головки по поверхности катания и боковой грани, особенно на кривых малых радиусов (рис. 1, в). При обследовании рельсов на действующих УЖД следует, в первую очередь, рассмотреть их дефекты по концам.

Рис. 1. Виды износа головки рельсов



Цель настоящей работы — определить характер износа рельсов узкой колеи для последующей оценки их прочности, работоспособности и пригодности к реставрации.

В 1988 г. на Конецгорской УЖД ТПО Архангельсклеспром была выполнена оценка работоспособности рельсов типа Р24. Участки пути, выбранные для наблюдений, уложены 8-метровыми рельсами со сроком службы 3...5 лет. Шпалы деревянные второго типа (1600 шт./км), балласт — среднезернистый песок. Тяговый состав — тепловозы ТУ-7, подвижной — лесовозные сцепы ЦНИИМЭ — ДВЗ, а также строительные и хозяйственные платформы. Годовой грузооборот дороги — 250 тыс. м³.

Первоначально на участке длиной около 6 км проводили дефектоскопию рельсов с помощью ультразвукового дефектоскопа УРДО-3 для выявления внутренних дефектов рельсов (трещины, волосовины, шлаковые включения и т. п.). До начала работ дефектоскоп был оттарирован в лабораторных условиях с помощью специального эталона.

По материалам наблюдений установлено отсутствие в рельсах внутренних дефектов, что можно объяснить высокой пластичностью металла. Таким образом, внутренние дефекты, появление которых не исключено, не относятся к основным и практически не влияют на срок службы рельсов узкой колеи.

На следующем этапе обследования определяли вид и характер износа головки рельсов на двух кривых со средними радиусами 480 и 560 м, уложенных на уклонах продольного профиля крутизной соответственно 6 (подъем) и 17 ‰ (спуск) в грузовом направлении.

Для измерения износа был разработан и изготовлен специальный шаблон-профилометр (рис. 2), имеющий восемь отверстий. С помощью зажима шаблон закрепляли на рельсе, базируя его по шейке рельса, нижней и боковой поверхности головки с наружной стороны. Расстояние от шаблона до поверхности головки измеряли с точностью $\pm 0,1$ мм нутромером штангенциркуля, который последовательно переставляли из одного отверстия в другое. Расстояние между отдельными замерами

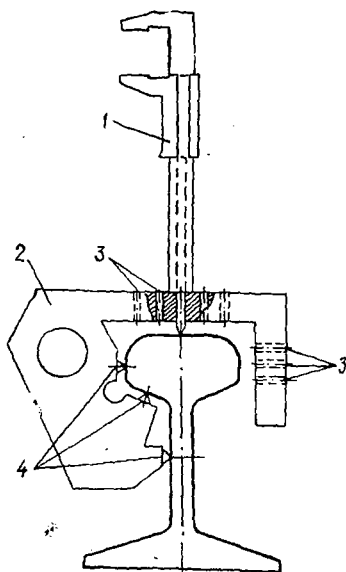


Рис. 2. Шаблон-профилемер: 1 — штангенциркуль; 2 — шаблон; 3 — отверстия; 4 — базовые точки

по длине рельса 1 м. Шаблон устанавливали на расстоянии 25 см от стыковых сечений, так как концы рельсов сильно деформированы в головке.

Предварительно в лабораторных условиях были выполнены тестовые измерения на эталонном образце рельса. По разности фактических и эталонных измерений определяли степень износа головки. Всего выполнены замеры в 238 сечениях. Результаты их статистической обработки приведены в табл. 1.

Поперечный профиль головки рельса показан на рис. 3, где тонкая сплошная линия соответствует проектному очертанию, жирная — фактическому по максимальному износу, пунктирная — по среднему износу. Цифрами 1—8 обозначены номера отверстий в шаблоне (точки наблюдения), числа определяют положение отверстий.

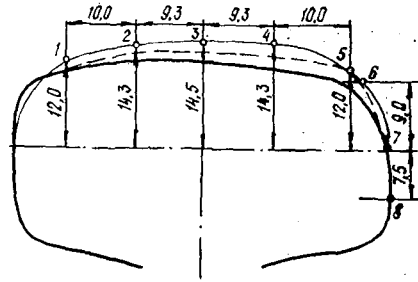
Данные табл. 1 и рис. 3 показывают, что износ рельсов имеет место как по поверхности катания, так и по внутренней боковой грани

Таблица 1

Но- мер точ- ки на- блю- де- ния	Сред- ний износ, мм	Среднее квад- ратич- ное от- клоне- ние, мм	Но- мер точ- ки на- блю- де- ния	Сред- ний износ, мм	Среднее квад- ратич- ное от- клоне- ние, мм
1	1,89	1,11	5	1,06	1,03
	1,84	1,10		1,55	1,43
2	2,33	1,07	6	0,52	0,87
	2,55	1,17		1,50	1,90
3	2,45	1,07	7	0,46	0,57
	2,93	1,19		0,49	0,53
4	1,87	1,10	8	0,38	0,48
	2,54	1,29		0,13	0,54

Примечание. В числителе данные для внутренне-го рельса по 114 замерам; в знаменателе — для наруж-ного рельса по 124 замерам.

Рис. 3. Поперечный профиль головки рельса



головки. При небольшом сроке эксплуатации отмечено появление наплывов металла по краям боковой грани головки не только с внутренней ее стороны, но и с наружной. Как правило, износ поверхности катания несимметричен по отношению к вертикальной оси рельсов, что свидетельствует о неправильной их подуклонке в кривых.

Для рельсов с более длительным сроком эксплуатации наплывы металла отмечены только с наружной стороны боковой грани головки; на внутренней стороне они достигают 3...4 мм.

На внутренней грани головки имеет место износ (истирание) из-за трения реборд о рельс в момент принудительного вписывания тележек тепловозов и вагонов в кривые. Такой износ наиболее существенно проявляется на наружном рельсе кривой, его максимальное значение — до 4 мм, среднее — до 1,5 мм.

Как боковой, так и вертикальный износ головки рельсов приводит к снижению срока их службы. На обследованных участках износ составляет около 1 мм в год, т. е. через 6...8 лет он превысит допустимое значение и потребуются замена рельсов.

Работы по обследованию состояния рельсов были продолжены в 1992 г. на Кудемской УЖД концерна Северолес. Опытный участок протяженностью примерно 7 км расположен на магистрали вблизи конечной станции. Он уложен рельсами Р24 со сроком службы более 10 лет на деревянных шпалах и песчаном среднезернистом балласте. Тяговый состав — тепловозы ТУ-7, подвижной — лесовозные сцепы ЦНИИМЭ — ДВЗ. Годовой грузооборот дороги — 200 тыс. м³.

Данные о распределении рельсов на участке по их длине приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расположение рельсовой нити (по движению в лес)	Число рельсов длиной, м					Итого
	8	16	24	32	40	
Левая	620	23	21	32	8	704
Правая	624	21	17	46	5	713

Поперечные размеры (высота рельса и ширина головки) определяли с помощью штангенциркуля с точностью $\pm 0,1$ мм в четырех сечениях по концам рельсов (рис. 4) в отдельности для левой и правой нитей. Результаты замеров использовали для построения гистограмм высот рельсов (рис. 5, а) и ширины головки (рис. 5, б). В первом случае распределение частот близко к нормальному, во втором — к логнормальному. Статистические характеристики данных измерений приведены в табл. 3.

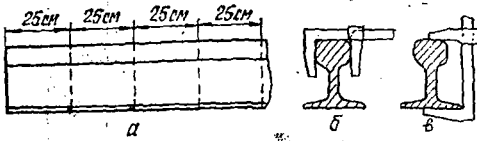


Рис. 4. Схемы измерений: а — положение сечений; б — измерение ширины головки; в — измерение высоты рельса

При анализе результатов исходим из того, что, согласно [2], рельсы узкой колеи по значению приведенного износа Δ (сумма вертикального и половина бокового) делят на четыре группы:

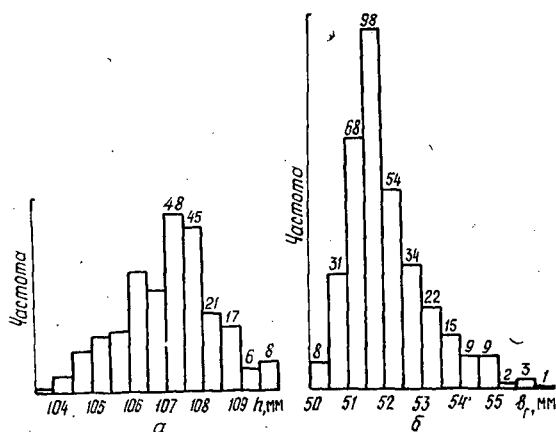
- I — годные для укладки в главный путь без ремонта ($\Delta < 7$ мм);
- II — после ремонта ($\Delta < 7$ мм);

Таблица 3

Сечение	Статистические характеристики															
	Левый рельс							Правый рельс								
	Но- мер	Н	М	σ	А	Е	Н	М	σ	А	Е	Н	М	σ	А	Е
Принимающий ко- нец	0	253	107,06	1,29	-0,5	-64	258	106,81	1,60	-13	224					
	1	255	107,23	1,07	-0,25	-32	258	107,25	1,10	-1,25	32					
	2	269	107,32	1,04	-0,5	32	240	107,23	1,05	0,25	32					
	3	259	107,41	1,05	0,5	32	245	107,41	1,06	0,25	-64					
Отдающий конец	0	262	107,41	1,03	0,25	0	249	107,40	1,01	0,25	-64					
	1	258	106,81	1,36	-2,5	128	251	106,62	1,85	-21,75	320					
	2	270	107,30	1,15	0	-32	246	107,17	1,14	-0,5	96					
	3	239	107,39	1,02	-0,25	-96	272	107,27	1,04	0	-32					
Принимающий ко- нец	0	276	107,49	1,10	0,5	0	229	107,27	0,97	0,75	128					
	1	247	107,41	1,02	0	0	240	107,36	1,03	-0,5	128					
	2	361	52,21	1,40	6,84	48	358	51,88	0,92	0,969	4					
	3	362	51,48	0,55	0,031	-4	352	51,49	0,51	-0,062	2					
Отдающий конец	0	359	51,46	0,54	0,125	0	351	51,42	0,51	0	6					
	1	360	51,42	0,49	-0,031	2	351	51,47	0,56	0,219	-2					
	2	361	51,89	1,03	1,875	8	347	51,92	0,89	1,031	6					
	3	361	51,45	0,51	0	-2	350	51,49	0,55	0,031	-2					
Принимающий ко- нец	0	361	51,42	0,49	0,031	0	350	51,50	0,52	0	0					
	1	353	51,42	0,48	-0,031	0	350	51,47	0,51	-0,031	2					

Примечание. N — число замеров в сечении; M — среднее арифметическое значение, мм; σ — средняя квадратичная погрешность, мм; А — коэффициент асимметрии; А = 0 — распределение симметрично; А > 0 — выгнута правая часть; А < 0 — левая; Е — коэффициент эксцесса (показатель остроты пика распределения), мм².

Рис. 5. Гистограммы высоты рельса (а) и ширины головки (б). Числами обозначены частоты



III — годные для укладки на станционных и складских путях ($\Delta = 7 \dots 10$ мм);

IV — не годные для укладки в путь ($\Delta > 10$ мм).

Данные измерений, частично отраженные на рис. 5 и в табл. 3, показывают следующее.

1. Высота рельсов h изменяется в диапазоне от 103,5 до 111,5 мм, а для новых рельсов она составляет $[h] = 107 \pm_{0,75}^{0,60}$ мм. Если фактическое значение h меньше нормативного $[h]$, то это вполне логично и объясняется износом рельсов и смятием их головки. Более сложны для понимания случаи $h > [h]$, которые у новых рельсов не наблюдаются.

На рис. 6, а приведены графики изменения высот рельсов (продольного профиля поверхности катания) на участке длиной 1 м с левого или правого их концов на расстоянии $a = 0,25$ м друг от друга. Графики показывают, что износ рельсов имеет волнообразный вид и соответствует дефекту, показанному на рис. 1, б. Наличие как углублений, так и выпуклостей на отдельных участках рельсов объясняется пластическими деформациями металла под вертикальной нагрузкой и одновременным его сдвигом под действием продольных сил (тяга, торможение) вдоль оси рельса.

Формирование волнообразного износа на концах рельсов (в средней части замеров не производили) отрицательно влияет на процесс взаимодействия пути и подвижного состава. Можно ожидать, что при

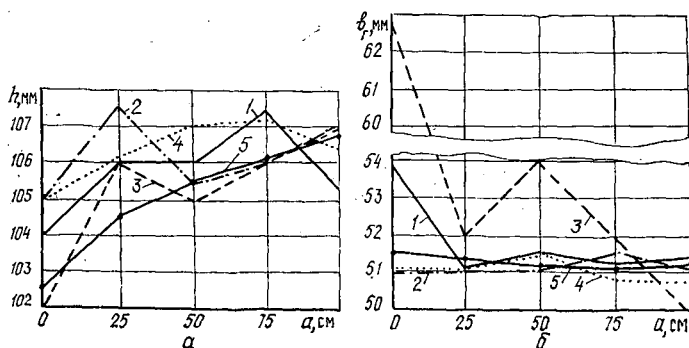


Рис. 6. Профили высоты рельса (а) и ширины головки (б): 1 — для рельса № 4 л; 2 — № 6 л; 3 — № 10 л; 4 — № 19 л; 5 — осредненный профиль

движении колес по таким участкам возникнут дополнительные динамические усилия на рельс, тяговый и подвижной состав. В настоящее время на лесовозных УЖД нет средств борьбы с таким износом. Его влияние на динамику поездов также пока не изучено. Очевидно, что большая волнистость поверхности катания рельсов может быть причиной их выбраковки и изъятия из пути.

Осредненный продольный профиль поверхности катания головки рельсов (рис. 6, а) показывает, что наибольший износ наблюдается в стыковых сечениях, хотя его значения ниже тех, при которых необходима смена рельсов.

2. Ширина головки b_r изменяется в диапазоне от 50 до 56 мм, а для новых рельсов она составляет $[b_r] = 51 \pm_{0,75}^{0,60}$ мм. Из двух факторов (износ и смятие), влияющих на ширину головки, преобладающим на прямых участках пути является смятие, причем на концах рельсов (рис. 6, б). Волнистость боковой грани выражена очень слабо, а на осредненном профиле практически незаметна.

Гистограмма ширины головки (см. рис. 5, б) показывает, что в диапазоне от 50,0 до 52,5 мм расположено примерно 75 % рельсов, у которых боковой износ на прямых участках пути следует признать близким к нормативному, и только у 25 % он выше. Таким образом, этот дефект не относится к факторам, снижающим срок службы рельсов.

3. Значения приведенного износа, служащие основанием для отнесения рельсов к той или иной группе, показаны выше. Основным критерием при определении приведенного износа является износ рельса по высоте. Поскольку для всех обследованных рельсов его максимальное значение не превысило 3,5 мм, они могут быть отнесены к первой категории, т. е. соответствуют требованиям, удовлетворяющим условиям укладки в главный путь.

Методика обследования состояния рельсов, использованная на Конецгорской и Кудимской УЖД, дает возможность оценить их износ в процессе эксплуатации. Однако она не позволяет с минимальными трудозатратами произвести выбраковку и определить количество рельсов, подлежащих реставрации. Очевидно, для этой цели следует базироваться в основном на материалах визуального осмотра пути, позволяющих выявить рельсы с разбитыми концами, подлежащие замене.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Разработка технических мероприятий по улучшению технического состояния лесовозных УЖД: Отчет о НИР / АЛТИ; Руководитель С. И. Морозов.— № 1 ГР 01.86.0040972.— Архангельск, 1986.— 127 с. [2]. Технические указания по содержанию узкоколейных железных лесовозных дорог / СевНИИП.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 136 с.

Поступила 14 января 1993 г.