

И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ), С. А. ЛЫКОВА (Сибирское отделение ВНИИЖТ, Иркутск, Российская Федерация), А. А. МАМИТКО (Иркутскжелдорпроект, Российская Федерация)

ИЗМЕНЕНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА ВДОЛЬ КРИВОЙ

Розглядається можливість зміни підвищення зовнішньої рейки вздовж кривої.

Рассматривается возможность изменения возвышения наружного рельса вдоль кривой.

The possibility of changing the outer rail superelevation along constant radius curves is considered.

При движении поездов по достаточно длинной кривой их скорость, как правило, меняется на всем ее протяжении. Возвышение наружного рельса в кривой устанавливается для какой-то одной скорости, поэтому у поездов будут возникать непогашенные ускорения, направленные внутрь или наружу кривой.

Непогашенные ускорения всегда приводят к дополнительному износу рельсов и подвижного состава. В литературе [1 – 7] приводятся данные о характере и величине этих износов. Как правило, рассматривается дополнительный вертикальный износ, вызываемый непогашенным ускорением [6], а для наружного рельса при непогашенных ускорениях, направленных наружу кривой, – еще и дополнительный боковой износ [7].

Зная скорость поезда, возвышение и кривизну в отдельных точках пути, можно определить непогашенное ускорение и оценить дополнительный приведенный износ. Это позволяет организовать оптимизационную процедуру, при которой определяется комбинация возвышений, обеспечивающая минимальный износ для заданного поездопотока. Такая технология реализована в программе РВПлан 3.1, где на основе данных [6, 7] выполняется оценка дополнительного приведенного износа в зависимости от знака и величины непогашенного ускорения.

Рассмотрим возможность установки различных возвышений по длине кривой.

Т.к. переменные возвышения пока не предусмотрены никакими нормативными документами, можно попытаться реализовать такой подход в рамках существующих нормативов. В соответствии с ЦПТ 53 [8] значимым считается отличие в расчетных возвышениях в кривой на уровне 15 мм. И если в много радиусной кривой

для ее отдельных частей (при длине отдельной круговой кривой не меньше 300 м, а в трудных случаях – 100 м) разница в расчетных возвышениях превышает 15 мм, то ЦПТ 53 разрешает устанавливать разные возвышения в таких кривых.

Таким образом, если мы условно представим себе нашу кривую как много радиусную, но с одинаковыми радиусами, то в рамках ЦПТ 53 будем иметь право рассмотреть возможность установки разных возвышений. Для отвода возвышения между частями предусмотрим фиктивную переходную кривую достаточной длины. Таким образом, при длине круговой кривой больше 230 м уже можно рассматривать варианты с разными возвышениями.

Попробуем сделать расчет величины изменения скорости, при котором возникает целесообразность рассмотрения разных возвышений в пределах одной кривой.

Если взять за основу простейшую формулу для расчета возвышений, то получим для участка с изменением скорости от V до V_2 :

$$h = 12,5 \frac{V^2}{R};$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 12,5 \frac{V_2^2 - V^2}{R}. \quad (1)$$

Разность квадратов скоростей представим следующим образом:

$$V_2^2 - V^2 = (V_2 - V)(V_2 + V) =$$

$$= \Delta V (2V + \Delta V). \quad (2)$$

Подставив значение 15 мм и выражение (2) в формулу (1), получим квадратное уравнение:

$$\Delta V(2V + \Delta V) = \frac{15}{12,5} R = 1,2 R;$$

$$\Delta V^2 + 2\Delta V V - 1,2 R = 0.$$

В результате решения этого уравнения получаем формулу, позволяющую выразить через меньшую скорость в кривой и ее радиус приращение скорости, при котором целесообразно устраивать разные возвышения:

$$\Delta V = -V + \sqrt{V^2 + 1,2 R}.$$

Приращения скорости в кривой (км/ч), при которых целесообразно (и даже необходимо) устанавливать разные возвышения, для разных радиусов и скоростей приведены в табл. 1. По данным табл. 1 построена диаграмма (рис. 1).

Таблица 1

V, км/ч	Радиус кривой, м									
	300	400	500	600	800	1000	1500	2000	3000	4000
30	5	7	9	10	13	16	22	27	37	45
40	4	6	7	8	11	13	18	23	32	40
50	3	5	6	7	9	11	16	20	28	35
60	3	4	5	6	8	9	13	17	25	32
70		3	4	5	7	8	12	15	22	28
80			4	4	6	7	11	14	20	26
90				4	5	6	9	12	18	24
100					5	6	9	11	17	22
110						5	8	10	15	20
120							7	10	14	19
130							7	9	13	17
140								8	12	16
150								8	12	15
160									11	14

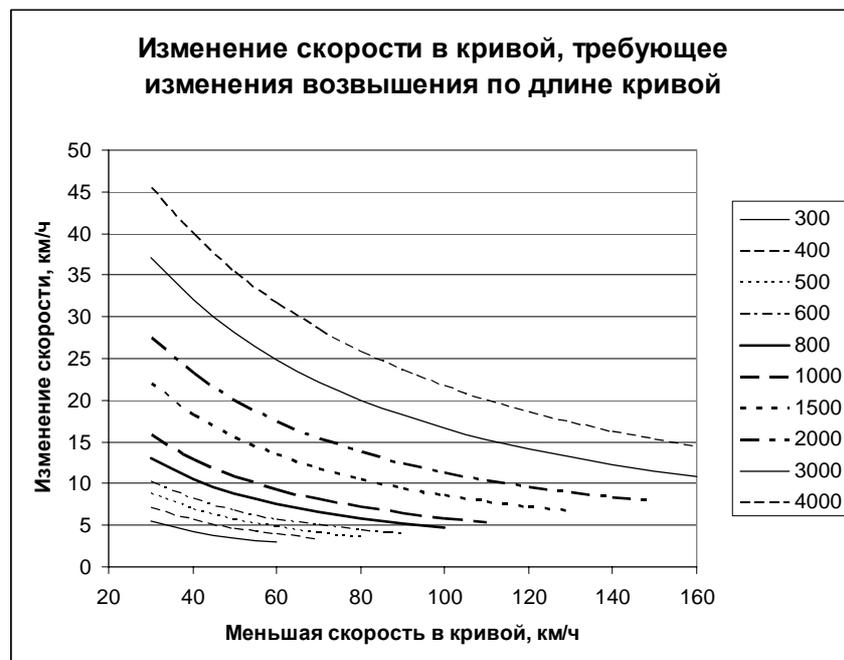


Рис. 1

Как видим, в кривых малого радиуса, в которых проблема износа особо актуальна, возвышение по длине кривой целесообразно менять уже при приращении скорости 3...5 км/ч, что не является чем-то из ряда вон выходящим.

Безусловно, такой подход к устройству возвышения в длинных кривых, в которых скорость поездов меняется на величину большую, чем приведенная в табл. 1, определенным образом усложнит работу путейцев. Но, в то же время, уменьшение боковых воздействий в таких кривых вызовет уменьшение расстройств и облегчит работу путейцев.

Выполним расчет возвышений для круговой кривой радиусом 400 м длиной 1200 м. Переходные по концам кривой не ограничивают скорость движения.

В качестве первого примера рассмотрим вариант с преобладающим грузовым движением.

Примем два типа поездов в поездопотоке – грузовой массой 5 000 т, 25 000 поездов в год и пассажирский массой 1 000 т, 10 000 поездов в год. Скорость грузового поезда вдоль кривой изменялась от 45 до 59 км/ч, а пассажирского от 65 до 79 км/ч (на 1 км/ч через каждые 100 м). Для данного поездопотока была определена средневзвешенная скорость (53,9 км/ч). Расчеты возвышений выполнялись из условия обеспечения минимального дополнительного приведенного износа, вызванного непогашенными ускорениями. Рассматривались различные варианты разбивки кривой на части с разными возвышениями (табл. 2).

Таблица 2

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{\max} , м/с ²		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутри	наружу		
8	1	0,048	0,512	1,712	70-76-79-86-89-96-103-110
8	5	0,060	0,500	1,738	70-80-80-90-90-100-105-110
6	5	0,070	0,501	1,753	75-80-90-95-100-110
4	10	0,092	0,499	1,781	75-90-100-110
3	15	0,100	0,499	1,798	80-95-110
2	20	0,153	0,499	1,868	90-110
1		0,266	0,499	2,018	110
1*		0,144	0,622	3,808	90

* Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (53,9 км/ч).

Расчеты показывают, прежде всего, несостоятельность в данном случае использования средневзвешенной скорости для расчета возвышений. Как видим, и ускорения, и износ в этом случае хуже, чем при подборе возвышений из условия минимума дополнительного приведенного износа. При этом износ уменьшается почти в два раза. Еще на 10 % износ

можно уменьшить, устроив несколько возвышений вдоль кривой (разбивка кривой на три части с возвышениями 80, 95 и 110 мм).

В качестве второго примера рассмотрим вариант с меньшим пассажирским движением. Количество пассажирских поездов в год примем 2 000. Средневзвешенная скорость в этом случае получается 52,6 км/ч.

Таблица 3

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{\max} , м/с ²		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутри	наружу		
8	1	0,048	0,512	1,217	70-76-79-86-89-96-103-110
8	5	0,060	0,500	1,251	70-80-80-90-90-100-105-110
6	5	0,070	0,501	1,270	75-80-90-95-100-110
4	10	0,092	0,499	1,306	75-90-100-110
3	15	0,100	0,499	1,328	80-95-110
2	20	0,153	0,499	1,417	90-110
1		0,266	0,499	1,602	110
1*		0,113	0,652	3,649	85

* Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (52,6 км/ч).

При уменьшении количества пассажирских поездов использование средневзвешенной скорости приводит к еще большему (в 2,3 раза) износу. Применение трех возвышений (80, 95 и 110 мм) дает дополнительно 15 % сокращения износа (табл. 3).

В качестве третьего примера рассмотрим вариант с большим пассажирским движением. Количество пассажирских поездов в год примем 20 000, а грузовых – 5 000. Средневзве-

шенная скорость в этом случае получается 61,8 км/ч.

Пример показывает, что для участков с преимущественным пассажирским движением эффект от оптимизации по износу существенно меньше. Использование возвышения по средневзвешенной скорости приводит к нарушению ограничения по непогашенному ускорению для грузового поезда (табл. 4).

Таблица 4

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{\max} , м/с ²		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутри	наружу		
8	1	0,300	0,377	1,204	115-121-124-130-134-140-147-130
8	5	0,297	0,377	1,216	115-120-120-130-130-140-140-130
6	5	0,297	0,377	1,224	115-120-125-130-140-130
4	5	0,297	0,377	1,242	115-120-130-130
3	5	0,297	0,377	1,245	115-125-130
2	15	0,297	0,377	1,252	115-130
1		0,297	0,469	1,309	115
1*		0,328	0,438	1,265	120

* Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (61,8 км/ч). Ускорения для грузового поезда превышают допустимые.

В качестве четвертого примера рассмотрим вариант с достаточно большим грузовым и малым пассажирским движением. Количество

пассажирских поездов в год примем 5 000, а грузовых – 35 000. Средневзвешенная скорость в этом случае получается 52,8 км/ч.

Таблица 5

Количество разбивок	Минимальный шаг возвышений, мм	a_{\max} , м/с ²		Износ, мм	Возвышения, мм
		внутри	наружу		
8	1	0,048	0,512	1,840	70-76-79-86-89-96-103-110
8	5	0,060	0,500	1,885	70-80-80-90-90-100-105-110
6	5	0,070	0,501	1,911	75-80-90-95-100-110
4	10	0,092	0,499	1,959	75-90-100-110
3	15	0,100	0,499	1,988	80-95-110
2	20	0,153	0,499	2,107	90-110
1		0,266	0,499	2,357	110
1*		0,113	0,652	5,249	85

* Расчет возвышения по средневзвешенной скорости (52,8 км/ч).

В данном примере (табл. 5) результаты схожи со вторым примером (табл. 3).

На рис. 2 показан график износа левого и правого рельса, а на рис. 3 – максимальные ус-

корения вдоль кривой для варианта 1*. На рис. 4, 5 показаны такие же графики для варианта 70-76-79-86-89-96-103-110.

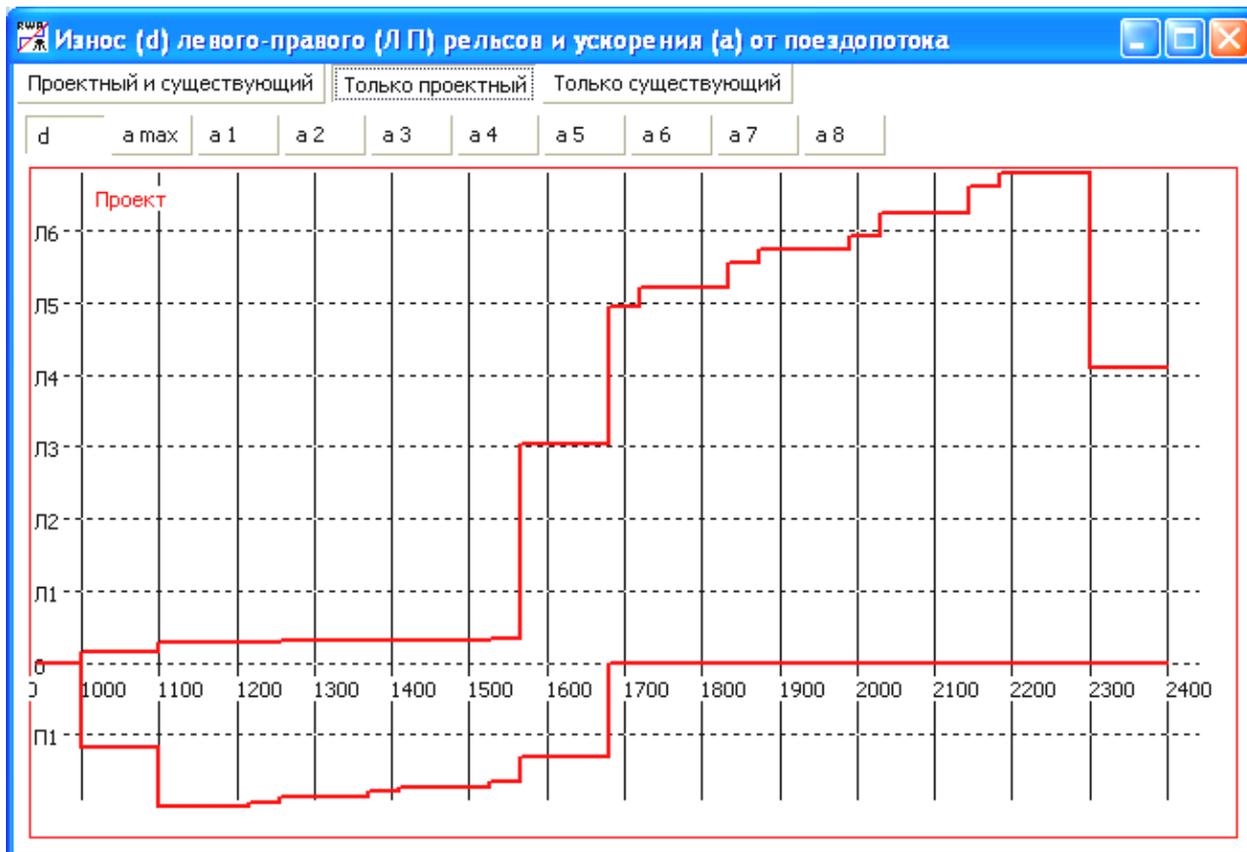


Рис. 2



Рис. 3

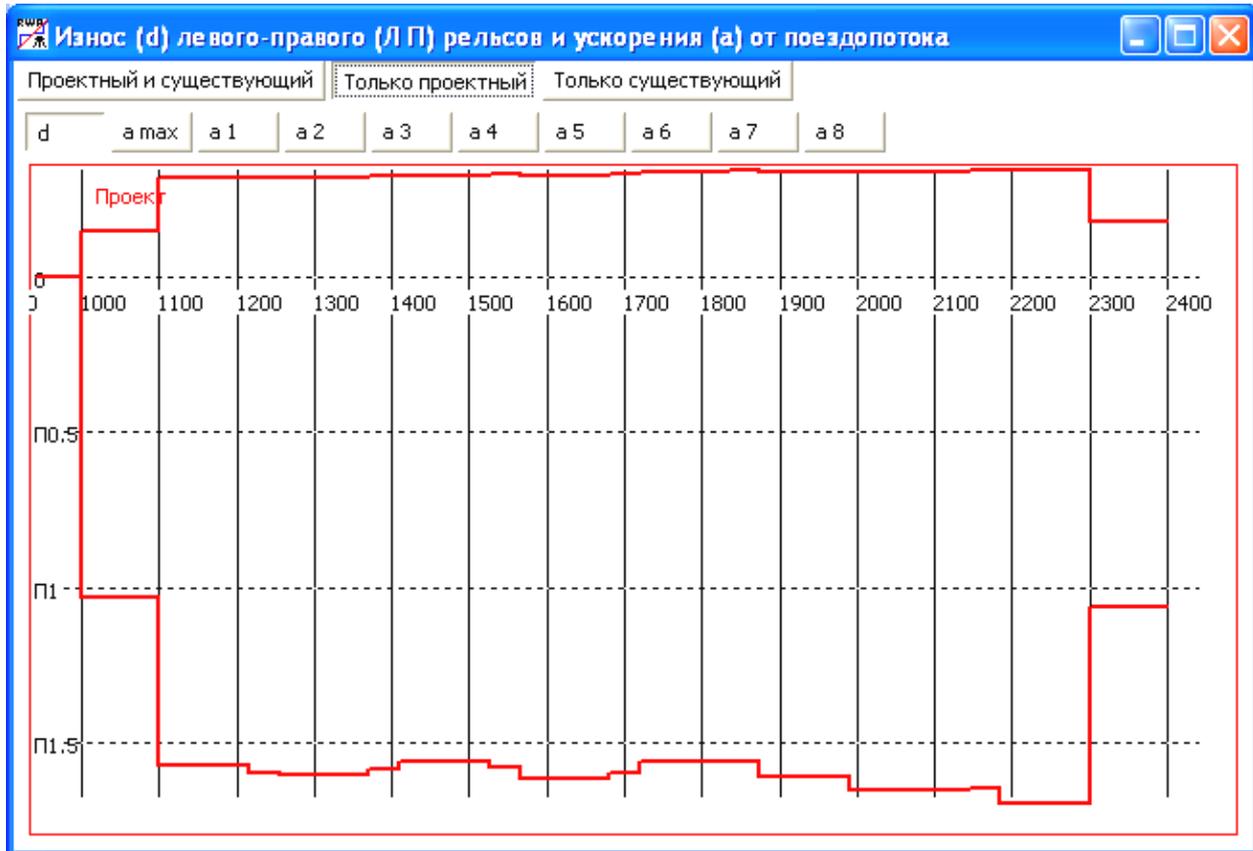


Рис. 4

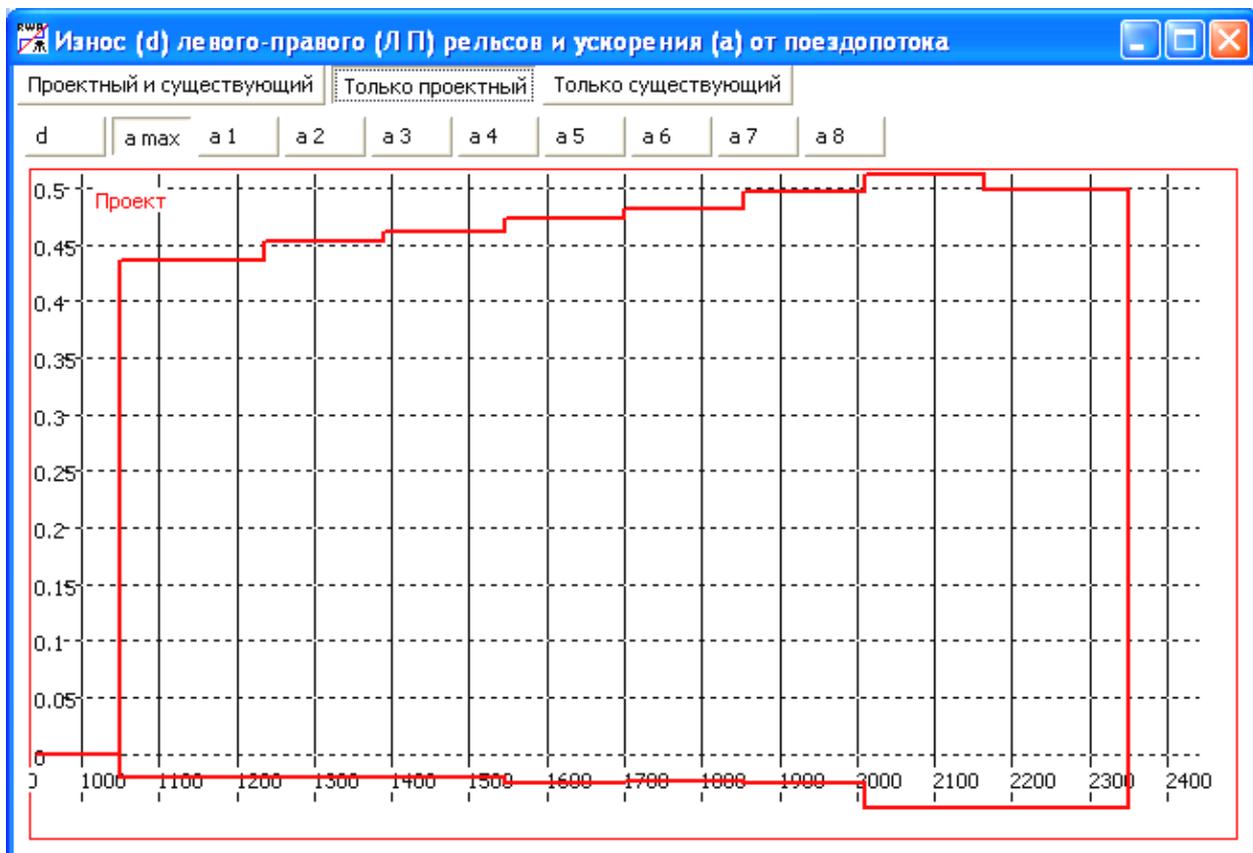


Рис. 5

Очевидно, что при преимущественном грузовом движении в длинных кривых малого радиуса, на которых скорость поездов существенно изменяется, следует рассчитывать возвышения, исходя из минимума износа, и рассматривать целесообразность применения нескольких возвышений по длине кривой.

Следует сопоставлять затраты на установку пути в такое положение и его текущее содержание с затратами на замену рельсов и на борьбу с расстройствами пути, которые, естественно, будут тем выше, чем больше непогашенные ускорения.

Безусловно, полученные значения не являются абсолютными, но они достаточно точно характеризуют соотношение износов в разных ситуациях. Для установления более точных зависимостей вертикального и бокового износов от непогашенных ускорений и параметров плана необходимо проведение большого числа экспериментальных измерений.

Кривая скорости строится, как правило, для точки посередине поезда. Т.к. при движении поезда в кривой каждый вагон одну и ту же точку проходит с разной скоростью, определенный интерес представляет также исследование влияния этого фактора на оценку износов и получаемых возвышений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев, Л. П. Взаимодействие колес с рельсами и их износ [Текст] / Л. П. Мелентьев // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 6-13.

2. Редькин, В. И. Износ рельсов стал меньше [Текст] / В. И. Редькин // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 19-21.
3. Буйносов, А. П. Взаимодействие колеса и рельса [Текст] / А. П. Буйносов // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 22-25.
4. Марков, Ю. Н. Возвышение и износ рельсов [Текст] / Ю. Н. Марков // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 1. – С. 31-32.
5. Лысюк, В. С. Превратности научных идей [Текст] / В. С. Лысюк // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 29-32.
6. Карпущенко, Н. И. Параметры колеи и износ рельсов [Текст] / Н. И. Карпущенко, И. А. Осташко // Путь и путевое хозяйство. – 1996. – № 8. – С. 6-7.
7. Повилайтене, И. Влияние геометрических параметров железнодорожного пути в кривых на боковой износ наружного рельса [Текст] / И. Повилайтене, К. Сакалаускас, И. Подагелис // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 3. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2004. – С. 46-49.
8. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути. ЦПТ 53 [Текст]. – М.: МПС, 2003. – 151 с.

Поступила в редколлегию 25.05.2010.

Принята к печати 03.06.2010.