

УДК 625.142

О.М. Даренський

Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРІВ ПОПЕРЕЧНИМ ПЕРЕМІЩЕННЯМ ДЕРЕВ'ЯНИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ В ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЯХ ПІДПРИЄМСТВ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

На основі даних експериментальних досліджень встановлені залежності змін жорсткостей залізобетонних і дерев'яних шпал при горизонтальних вигинах рейок для умов колій підприємств металургійного комплексу. Враховано вплив осьових навантажень спеціального і спеціалізованого рухомого складу, конструктивних особливостей внутрізаводських колій.

Ключові слова: колії металургійного комплексу, опір шпал поперечним переміщенням.

Вступ

Інформація про сили опору поперечним переміщенням шпал в баласті, в першу чергу залізобетонних шпал, важлива при дослідженні взаємодії колії і рухомого складу, при розрахунках температурних сил, що виникають в колії, при розрахунках стійкості безстикової колії під дією температурних сил. За оцінкою деяких дослідників (наприклад [1]), до 60 – 65% загального опору рельсошпальної реші-

тки вигину в горизонтальній площині забезпечують сили опору баласту поперечному зсуву залізобетонних шпал. При цьому важливо знати, як сили опору змінюються в процесі експлуатації колії і як впливає на їх величину вертикальне навантаження при русі рухомого складу.

Аналіз досліджень та публікацій. Вперше матеріали з цього питання були узагальнені проф. М.Т. Членовим [2]. На підставі особистого досвіду та аналізу результатів інших досліджень він встано-

вив, що для зсуву поодинокі ненавантаженої шпалі потрібне зусилля, яке дорівнює 4 – 5 кН при щобеневому баласті при відсутності вібрацій, та ця величина залежить від величини зсуву.

Наступними дослідженнями ряду авторів [3 – 6 та ін.] встановлено, що значний вплив на опір шпал в баласті має вертикальне навантаження на шпалу, включаючи її власну вагу. При вібраціях від дії рухомого складу опір може зменшуватись до 0,75, а в окремих випадках до 0,5 свого статичного значення [4].

Професор О.П. Єршков виконав детальні дослідження характеристик горизонтальної поперечної жорсткості рейок при дерев'яних шпалах, розглядаючи рейку як балку на суцільній пружній основі [7]. Дослідження були виконані для умов магістральних залізниць при рейках типів Р43 та Р50.

Дослідження опорів залізобетонних шпал поперечним переміщенням також для умов магістральних залізниць були виконані в дослідженнях [8 – 11]. Як правило, були визначені модулі пружності рейкової основи при горизонтальних поперечних вигинах рейок або їх крученні.

Але для умов промислових залізниць, зокрема колій металургійного комплексу досі не визначено ні значення опору рейкових опор поперечним зсувом, ні фактори, які впливають на ці параметри.

Метою досліджень є визначення опірності шпал поперечним переміщенням як складової загальної жорсткості рейкових опор в умовах залізнич-

них колій підприємств металургійного комплексу.

До числа головних задач, які необхідно було вирішувати при дослідженні роботи шпал під дією динамічних горизонтальних поперечних сил, були віднесені наступні:

- визначення виду залежності між зсувами шпал і горизонтальними поперечними силами, які їх викликають або, інакше, визначення горизонтальних поперечних пружних характеристик шпал;
- вибір способу лінеаризації пружних характеристик для визначення горизонтальної поперечної жорсткості шпал;
- визначення робочих діапазонів вживаності розрахункових значень горизонтальної поперечної жорсткості шпал;
- вивчення впливу вертикального навантаження на горизонтальну поперечну жорсткість шпал;
- дослідження змін горизонтальної поперечної жорсткості шпал в процесі експлуатації колії і встановлення чинників, що впливають на ці зміни;
- визначення впливу конструктивних особливостей колії промислового транспорту на досліджувані параметри жорсткості шпал.

Основна частина

Для вивчення змін сил опору поперечному переміщенню залізобетонних шпал в процесі експлуатації були проведені експериментальні роботи на дослідних ділянках, характеристики яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики досліджуваних ділянок, які вибрані для проведення експериментальних робіт

№ ділянки	Тип шпал, епюра	План ділянки	Тип рухомого складу	Осьові навантаження кН	Вантажонапруженість (млн т/рік)	Термін служби колії (роки)
1	Дер ІА 1840	Пр	Чавуновоз 50т	201	7	2
2	Дер ІА 1840	Кр R 300м	Чавуновоз 50т	201	7	7
3	Дер ІА 1840	Пр	Чавуновоз 80т	353	12	5
4	Дер ІА 2000	Кр R 480м	Чавуновоз 80т	353	12	9
5	Дер ІБ 1840	Кр R 650м	Шлаковоз 11м ³	211	5	5
6	Дер ІБ 1600	Пр	Шлаковоз 11м ³	211	5	10
7	Дер ІА 1840	Пр	Візки для ізложниць І-120-5500	346	8	6
8	Дер ІА 1840	Пр	Візки для ізложниць І-120-5500	346	8	8
9	Дер ІБ 2000	Кр R 450м	Платформа чавуновозна 70т	245	4	0
10	Дер ІА 1840	Пр	Платформа чавуновозна 70т	245	4	12
11	Дер ІА 1840	Пр	Думпкар 6-ВС-60	216	18	0
12	Дер ІА 2000	Кр R 280м	Думпкар 6-ВС-60	216	18	7
13	ж/б Ш-1, 1840	Пр	Чавуновоз 80т	353	12	5
14	ж/б Ш-1, 1840	Кр R 400м	Чавуновоз 80т	353	12	9
15	ж/б Ш-1, 1840	Пр	Шлаковоз 11м ³	211	5	9
16	ж/б Ш-1, 1840	Кр R 600м	Шлаковоз 11м ³	211	5	10
17	ж/б Ш-1, 1840	Кр R 450м	Шлаковоз 11м ³	211	5	10
18	ж/б Ш-1, 1840	Пр	Думпкар 6-ВС-60	216	18	5
19	ж/б Ш-1, 1840	Кр R 650м	Думпкар 6-ВС-60	216	18	7
20	ж/б Ш-1, 1840	Пр	Думпкар 6-ВС-60	216	18	10
21	ж/б Ш-1, 1840	Кр R 450м	Думпкар 6-ВС-60	216	18	10

При проведенні експериментальних робіт горизонтальні поперечні сили, діючі на шпалу від рейок, фіксувалися за допомогою силомірних елементів, встановлених на підкладках, вертикальне навантаження на шпалу фіксувалося силомірними підкладками [12]. Горизонтальні поперечні переміщення шпал визначалися за допомогою відеоцифрової системи вимірювання переміщень [13].

Значення горизонтальних поперечних і вертикальних сил і значення викликаних цими силами горизонтальних поперечних переміщень шпал записувалися в цифровому вигляді в пам'яті комп'ютера. Одержана інформація оброблялася за допомогою табличного процесора Excel для отримання усередненої залежності горизонтальних, поперечних сил від поперечних переміщень шпал для кожної ділянки.

На рис. 1 приведені, як приклад, горизонтальні поперечні пружні характеристики залізобетонних, які одержані в результаті обробки досліджуваних даних для ділянок №14. На цій ділянці обертаються навантажені чавуновози вантажопідйомністю 80 т з швидкостями руху до 5 км/год.

Вантажонапруженість ділянки складає 12 млн.т./рік. Рівень вертикальних навантажень, діючих на шпали від двох рейок при проході складу змінювався в межах 80 – 150 кН.

Рівень горизонтальних поперечних навантажень на залізобетонні шпали змінювався від 0 до 12 кН, при цьому ділянка №14 знаходилась в прямій.

Приведені на рис. 1 графіки пружних характеристик, а також результати, одержані для інших ділянок, показали, що із збільшенням вертикальних навантажень на шпали їх опірність горизонтальним поперечним переміщенням не лінійно зростає.

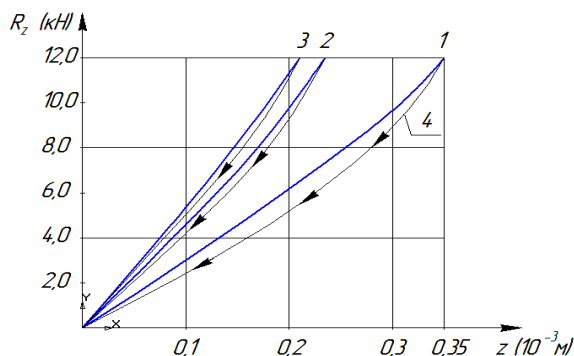


Рис. 1. Горизонтальні поперечні пружні характеристики залізобетонних шпал для ділянок № 14, чавуновоз 80 т, швидкість 1,2-1,38 м/с при вертикальному навантаженні на шпалу: 1 – 80 кН; 2 – 120 кН; 3 – 150 кН; 4 – при розвантаженні шпал.

Для лінеаризації горизонтальних поперечних пружних характеристик і визначення горизонтальної поперечної жорсткості шпал застосовувався метод хорд, при цьому як робочі діапазони лінеаризації

були використані значення пружних переміщень залізобетонних шпал 0-0,6 мм для прямих ділянок колії і 0,4 – 1,0 мм для кривих радіусом до 350 м. Для дерев'яних шпал діапазони лінеаризації прийняті рівними 0-1,2 мм для прямих, 0,5 – 1,5 мм для кривих радіусом до 450 м і 0,8 – 1,7 мм для кривих менших радіусів. Такі діапазони прийняті виходячи з аналізу реальних переміщень шпал в колії, які одержані експериментально.

В табл. 2 приведені значення горизонтальної поперечної жорсткості дерев'яних і залізобетонних шпал, одержаних в результаті статичної обробки даних експериментальних робіт на дослідних ділянках. Середньоквадратичні відхилення цих параметрів знаходяться в межах 7 – 14% для дерев'яних і 4 – 6% для залізобетонних шпал. Більший розкид даних для дерев'яних шпал пояснюється, мабуть, широким діапазоном механічних характеристик деревини.

Графіки залежності горизонтальних поперечних жорсткостей залізобетонних і дерев'яних шпал від величини вертикальних навантажень на шпали приведені на рис. 2 і 3. Ці криві апроксимовані рівняннями вигляду:

$$C_z = (a + v p_y^c) \cdot f(T),$$

де p_y – вертикальні навантаження від двох рейок на шпалу (кН); $f(T)$ – вплив пропущеного по ділянках тоннажу (млн.т); a , v , c , – емпіричні коефіцієнти.

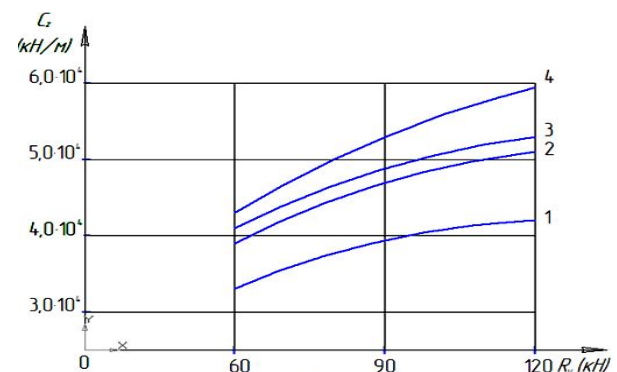


Рис. 2. Графіки залежностей горизонтальних поперечних жорсткостей залізобетонних шпал від величини вертикальних навантажень на шпалу при пропущеному тоннажі по ділянках тоннажа: 1 – 45-50 млн. т; 2 – 108 млн.т; 3 – 126 млн.т; 4 – 180 млн.т

Із зростанням пропущеного по ділянках тоннажу горизонтальна поперечна жорсткість залізобетонних і дерев'яних шпал зростає. На рис. 4 приведені графіки залежності горизонтальних поперечних жорсткостей залізобетонних і дерев'яних шпал, які були одержані на підставі даних експериментальних робіт на ділянках 19 – 22 і 11 – 13, по яких обертаються думпкери 6-BC-60 з осьовими навантаженнями до 216 кН. Значення горизонтальних поперечних жорсткостей шпал визначені при однаковому рівні вертикальних навантажень на шпали 60 кН.

Горизонтальна поперечна жорсткість шпал на досліджуваних ділянках

№ ділянки	Тип шпал	Баласт	Осьові навантаження (кН)	Пропущений тонаж (млн.т)	План ділянки	Жорсткість шпал при поперечному зсуві (кН/м)	Середньоквадр. відхилення (кН/м)
1	Дер І А	шлак загл	201	14	Пр	$1,38 \cdot 10^4$	$0,06 \cdot 10^4$
2	Дер І А	шлак	201	49	Кр R 300м	$1,37 \cdot 10^4$	$0,07 \cdot 10^4$
3	Дер І А	щебінь	353	60	Пр	$1,68 \cdot 10^4$	$0,12 \cdot 10^4$
4	Дер І А	щебінь	353	108	Кр R 480м	$1,88 \cdot 10^4$	$0,16 \cdot 10^4$
5	Дер І Б	шлак загл	211	25	Кр R 650м	$1,31 \cdot 10^4$	$0,08 \cdot 10^4$
6	Дер І Б	шлак	211	50	Пр	$1,35 \cdot 10^4$	$0,09 \cdot 10^4$
7	Дер І А	шлак	346	48	Пр	$2,42 \cdot 10^4$	$0,17 \cdot 10^4$
8	Дер І А	шлак загл	346	64	Пр	$2,88 \cdot 10^4$	$0,21 \cdot 10^4$
9	Дер І Б	шлак	245	2	Кр R 450м	$1,14 \cdot 10^4$	$0,12 \cdot 10^4$
10	Дер І А	шлак загл	245	48	Пр	$1,54 \cdot 10^4$	$0,16 \cdot 10^4$
11	Дер І А	щебінь	216	9	Пр	$1,18 \cdot 10^4$	$0,14 \cdot 10^4$
12	Дер І А	щебінь	216	126	Кр R 280м	$1,54 \cdot 10^4$	$0,16 \cdot 10^4$
13	ж/б Ш-1	шлак	353	60	Пр	$4,68 \cdot 10^4$	$0,22 \cdot 10^4$
14	ж/б Ш-1	шлак загл	353	108	Кр R 400м	$6,22 \cdot 10^4$	$0,28 \cdot 10^4$
15	ж/б Ш-1	шлак	211	45	Пр	$3,53 \cdot 10^4$	$0,12 \cdot 10^4$
16	ж/б Ш-1	шлак загл	211	50	Кр R 600м	$4,42 \cdot 10^4$	$0,19 \cdot 10^4$
17	ж/б Ш-1	щебінь	216	50	Кр R 450м	$3,74 \cdot 10^4$	$0,12 \cdot 10^4$
18	ж/б Ш-1	щебінь	216	90	Пр	$4,18 \cdot 10^4$	$0,16 \cdot 10^4$
19	ж/б Ш-1	щебінь	216	126	Кр R 650м	$4,58 \cdot 10^4$	$0,15 \cdot 10^4$
20	ж/б Ш-1	щебінь	216	180	Пр	$4,92 \cdot 10^4$	$0,24 \cdot 10^4$
21	ж/б Ш-1	щебінь	216	180	Кр R 450м	$5,08 \cdot 10^4$	$0,21 \cdot 10^4$

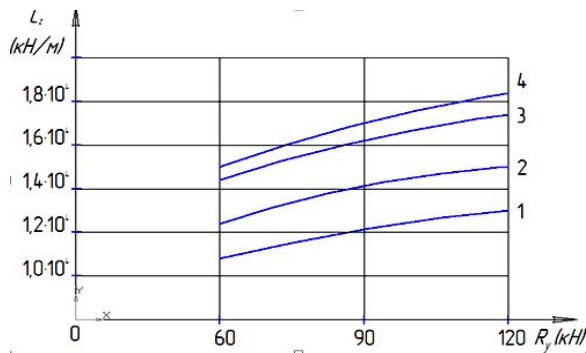


Рис. 3. Графіки залежностей горизонтальних поперечних жорсткостей дерев'яних шпал від величини вертикальних навантажень на шпалу при пропущеному тонажі по ділянках тонажа: 1 – 9-14 млн. т; 2 – 48-50 млн.т; 3 – 108 млн.т; 4 – 126 млн.т

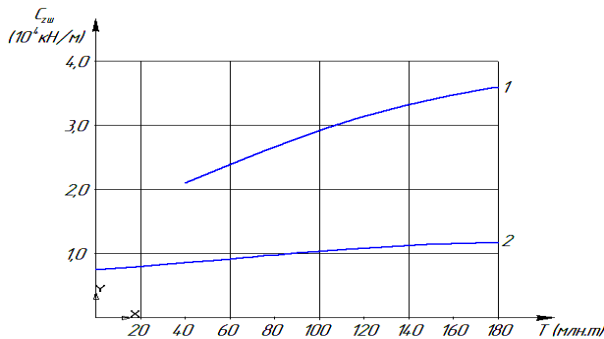


Рис. 4. Графіки залежностей горизонтальної поперечної жорсткості шпал від величини пропущеного тонажа: 1 – залізобетонні шпали (ділянки №19,20,21,22 думпкари 6-BC-60); 2 – дерев'яні шпали (ділянки №11,12,13 думпкари 6-BC-60)

Із зростанням пропущеного по ділянках тонажу від 90 до 180 млн.т. горизонтальна поперечна жорсткість залізобетонних шпал зростає від рівня $2,85 \cdot 10^4$ кН/м до $3,64 \cdot 10^4$ кН/м, що складає 28%. При дерев'яних шпалах при тих же значеннях пропущеного тонажу жорсткість змінюється від $1,025 \cdot 10^4$ кН/м до $1,21 \cdot 10^4$ кН/м (18% збільшення). Аналогічна залежність була одержана і для інших ділянок.

Досліди на колії із заглибленою баластною призмою (ділянки №1,10,15 і 18) і результати статистичної їх обробки дозволили встановити, що горизонтальна поперечна жорсткість залізобетонних шпал в таких умовах збільшується в середньому в 1,2 рази, дерев'яних – в 1,5 рази в порівнянні із звичайними конструкціями колії.

Експериментальні роботи виконані, в 2009 році на ділянках № 11,12,20 і 21, дозволили встановити, що в зимових умовах горизонтальна поперечна жорсткість залізобетонних і дерев'яних шпал зростає в 1,8 рази.

З урахуванням вище висловленого була встановлена залежність змін горизонтальної поперечної жорсткості шпал при різному рівні вертикальних навантажень на шпалу і при збільшенні пропущеного по ділянках тонажу. Для залізобетонних шпал ця залежність є виразом:

$$C_{zш} = K_k \cdot K_3 \left(0,73 \cdot 10^4 + 0,22 \cdot 10^4 \cdot P_y^{0,519} \right) \times \left(1 + 0,021T^{0,695} \right), \text{ (кН/м)},$$

де K_k – коефіцієнт, який враховує конструкцію колії (для звичайної баластної призми $K_k=1$, для заглибленої або напівзаглибленою $K_k=1,2$);

K_3 – коефіцієнт, для літніх умов дорівнює 1, для зимніх умов дорівнює 1,8;

P_y – вертикальне навантаження від двох рейок на шпалу (кН); T – пропущений по ділянці тоннаж (млн.т).

Для дерев'яних шпал залежність змін горизонтальної поперечної жорсткості має вигляд:

$$C_{zш} = K_k \cdot K_3 \left(0,24 \cdot 10^4 + 0,18 \cdot 10^4 \cdot P_y^{0,348} \right) \times \left(1 + 0,019T^{0,690} \right), \text{ (кН/м)},$$

де K_k – коефіцієнт конструкції ($K_k=1$ – для звичайної баластної призми,

$K_k=1,15$ – для заглибленої або напівзаглибленою).

Решта позначень колишня.

Висновок

Таким чином, на основі даних експериментальних робіт, були встановлені залежності змін горизонтальної поперечної жорсткості залізобетонних і дерев'яних шпал в процесі експлуатації колій металургійних підприємств з урахуванням особливостей їх експлуатації.

Список літератури

1. Коган А.Я. Продольные силы в железнодорожном пути [Текст] / А.Я. Коган // Тр. ВНИИЖТ, вып. 332, – М.: Транспорт, 1967. – 166 с.
2. Членов М.Т. Длинные рельсы [Текст]: моногр. / М.Т. Членов. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 203 с.
3. Влияние эксплуатации и работ по содержанию бесстыкового пути на поперечное сопротивление балластного слоя [Текст] / Бюллетень технико-экономической информации / ЦНИИТЭИ МПС. – М., 1972. – № 3. – С. 55-58.
4. Иванова Л.И. Экспериментальные исследования связей рельсов с основанием [Текст] / Л.И. Иванова,

Н.И. Карпущенко. – Труды НИИЖТа: вып. 129: Новосибирск, 1971. – С. 51-60.

5. Иванова Л.И. Карпущенко Н.И. Экспериментальные исследования перемещений элементов рельсоопальной решетки под поездами на грузовой [Текст]: / Л.И. Иванова, Н.И. Карпущенко // Труды НИИЖТ. – 1971. – № 129. – С. 61-67.

6. Карпущенко Н.И. Надежность связей рельсов с основанием [Текст]: моногр. / Н.И. Карпущенко. – М.: Транспорт, 1986. – 150 с.

7. Ериков О.П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках [Текст] / О.П. Ериков // Труды ЦНИИ МПС: Трансжелдориздат. – М., 1964. – Вып. 264. – С. 39-48.

8. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / под ред. М.А. Фришман. – Вестник ЦНИИ МПС, 1970. – № 8. – С. 31-35.

9. Показкий В.А. Экспериментальные исследования по определению сил сопротивления поперечному перемещению шпал в балласте [Текст] / В.А. Показкий О.А. Сулов. – Труды ИрГУПС. – 1998. – Вып. 23. – С. 21-27.

10. Варызгин Е.С. Расчет сопротивления поперечному сдвигу по торцам шпал [Текст] / Е.С. Варызгин // Вестник ВНИИЖТ. – 1970. – № 8. – С. 35-37.

11. Новикович В.И. Определение сопротивления рельсо-шпальной решетки перемещениям поперек оси пути [Текст] / В.И. Новикович, В.В. Еришов // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – № 8. – С. 48-50.

12. Даренский А.Н. Результаты экспериментальных исследований работы железнодорожного пути промышленного транспорта [Текст] / А.Н. Даренский // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – № 122. – С. 68-79.

13. Система для вимірювання переміщень в елементах інженерних конструкцій і споруд під дією навантажень [Текст] / О.М. Даренський, В.М. Астахов, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг, Є.А. Беліков // Пат. №70477 Україна, МПК11 G 01 D 5/00; E01 B 35/00. № 2011 14788; заявл. 13.12.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11. – 5 с.

Надійшла до редколегії 11.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОПЕРЕЧНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ДЕРЕВЯННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

О.М. Даренский

На основании данных экспериментальных исследований установлены зависимости изменений жесткостей железобетонных и деревянных шпал при горизонтальных изгибах рельсов для условий путей предприятий металлургического комплекса. Учтено влияние осевых нагрузок специального и специализированного подвижного состава, конструктивных особенностей внутризаводских путей.

Ключевые слова: колеи металлургического комплекса, сопротивление шпал поперечным перемещением.

RESEARCH OF RESISTANCES THE TRANSVERSAL MOVING OF WOODEN AND REINFORCED CONCRETE RAILROAD TIES IS IN THE RAILWAY WAYS OF ENTERPRISES OF METALLURGICAL COMPLEX

O.M. Darenkiy

Based on these experimental studies found Variation stiffness of concrete and wooden sleepers with horizontal rails bending conditions for metallurgical complex ways. The effect of the axial loads of special and specialized vehicles, the design features in-plant pathways.

Keywords: tracks of metallurgical complex, resistance of railroad ties the transversal moving.