

делениях на существующих железнодорожных путях.

Список литературы

1. Ловчук Г.П. и др. Прикладная геодезия. М.: Недра, 1983.

2. Борисов Э.А. Определение характеристик круговых кривых по хордам. Известия ВУЗ: Геодезия и аэрофотосъемка, №2-3, 1994.

3. Мазин И.Д., Сытник В.С. Пособие по инженерногеодезической съемке на действующих промышленных предприятиях. – М.: Недра, 1983.

4. Райфельд В.Ф. Геодезические работы при строительстве и реконструкции железных дорог. – М.: Недра, 1989.

5. Борисов Э.А. Исследование способов определения радиусов кривых, основанных на измерениях длин кривых и хорд. Известия ВУЗ: Геодезия и аэрофотосъемка, №1, 1993.

Борисов Э.А. Исследование хордовых способов определения радиусов кривых: Сб. науч. тр. – Донецк: ДонИЖТ, 2012. – Вып. . – с.

Аннотации:

Способы определения радиусов кривых, основанные на измерениях хорд, проклассифицированы и проанализированы с точки зрения параметров точности линейных и угловых элементов круговой кривой. Приведены рекомендации по практическому использованию рассмотренных способов.

Способи визначення радіусів кривих, котрі засновані на вимірюванні хорд, були класифіковані по групах та проаналізовані з точки зору параметрів точності лінійних і кутових елементів кругової кривої. Дані рекомендації до практичного використання розглянутих способів.

Ways to define the radiuses of curves based on measurements of chords, sorted and analyzed in terms of accuracy of linear and angular elements circular curve. Provides recommendations for the practical use of ways.

УДК 625.143.482

ДАРЕНСЬКИЙ О.М. к.т.н., професор (УкрДАЗТ).

Вплив стану колії на безпеку руху промислових залізниць

Вступ

Забезпечення безпеки руху є актуальною задачею в умовах промислових залізниць при перевезеннях особливо небезпечних вантажів – розплавленого металу і шлаку при безпосередньому контакті працівників підприємств з технологічним промисловим транспортом. За даними служб колії ППЗТ на сходи рухомого складу поза зоною стрілочних переходів припадає від 67 до 80%. З них частина сходів через порушення стійкості рухомого складу або рейко-шпальної решітки становить 65%, через руйнування рейок – 25%. Але на цей час не визначені стани колії, які є небезпечними для руху спеціального та спеціалізованого рухомого складу промислового транспорту з високими осьовими навантаженнями.

Це питання потребує спеціальних досліджень.

Основна частина

Дослідження пружних і дисипативних характеристик рейкових опор та їх змін в процесі експлуатації [1], встановлені залежності розвитку вертикальних і горизонтальних нерівностей колії промислового транспорту в різних експлуатаційних умовах [2], розроблені методи визначення динамічних вертикальних і горизонтальних поперечних сил взаємодії колії та рухомого складу на базі концепції колії як балки на багатьох пружно-дисипативних опорах і запропонований комплекс моделей елементів верхньої будови колії МКЕ [3], дозволили реалізувати загальний підхід до вирішення проблеми підвищення безпеки руху промислового залізничного транспорту, викладений у [4].

Багатоваріантні розрахунки вертикальних і горизонтальних поперечних сил взаємодії двадцяти найбільш поширених типів спеціальних і спеціалізованих вагонів металургійних і гірничодобувних підприємств дозволили визначати характеристики стійкості цих екіпажів і рейко-шпальної решітки [4] в різних експлуата-

ційних умовах. До таких умов експлуатації відносяться характеристики рейок, включаючи їх знос, жорсткість і еквівалентний коефіцієнт дисипації рейкових опор, довжина і амплітуда вертикальних і горизонтальних нерівностей колії. Всі ці характеристики є змінними, залежними від факторів часу або пропущеного по ділянках тоннажу. Розрахунок характеристик стійкості в свою чергу дозволив встановити критичні значення динамічних сил взаємодії рухомого складу і колії і відповідні цим значенням часові показники. Розрахунки показали, що найбільший вплив на величини цих сил мають нерівності колії.

Розрахунки напруженого стану елементів верхньої будови колії, в першу чергу рейок, виконані із застосуванням комплексу моделей МКЕ [3] дали можливість визначити співвідношення діючих і допустимих напружень, встановити критичні умови експлуатації, головними з яких також виявилися характеристики нерівностей, і відповідні цим умовам часові показники.

Однак така інформація дала лише якісну оцінку - виконуються чи ні умови безпеки. Кількісна оцінка виникаючих змін умов безпеки руху можна отримати за допомогою теорії надійності.

Безпосередньо до поняття безпеки руху примикають такі характеристики надійності як безвідмовність і довговічність. Безвідмовністю є здатність зберігати працездатність протягом деякого напрацювання без вимушених перерв. Характеризується такими числовими показниками як ймовірність і середній час безвідмовної роботи, частотою та інтенсивністю відмов та середнім часом роботи між відмовами. Методики розрахунків показників надійності наведені в спеціальній літературі [5].

Найбільш повну інформацію про безвідмовності роботи системи екіпаж-колія містить закон розподілу напрацювань до першої відмови. В якості таких розподілів в розрахунках надійності вико-

ристовуються експотенціальний, рівномірний, Реллея, Вейбулла та інші розподіли. Однак, враховуючи той факт, що конструкція колії забезпечує в початковий, в деяких випадках досить тривалий, період експлуатації безпечний і безвідмовний рух поїздів, у розглядаємих розрахунках надійності слід використовувати усічений нормальний розподіл Гауса. Нормальний розподіл визначається двухпараметричними функціями $f(t, x)$ и $F(t, x)$ [6, 7]:

$$f(t, x) = \frac{e^{-\frac{(t-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

$$F(t, x) = \int_0^t \frac{e^{-\frac{(t-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} dt \quad (1)$$

де: $F(t, x)$ – функція розподілу;
 $f(t, x)$ – щільність нормального розподілу;

t – час до першої відмови;

\bar{x} – математичне очікування часу роботи, якій відповідає критичним станом колії;

σ – дисперсія цієї величини.

Функція розподілу визначає функцію надійності $P(t)$ або ймовірність безвідмовної роботи [7, 8]:

$$P(t) = F(t, x) \int_0^t f(t) dt \quad (2)$$

Критичні значення характеристик колії $x_{к.р.}$ – амплітуди і довжини нерівностей, значення пружно-дисипативних характеристик рейкових опор та інші, визначаються розрахунками з умов можливого порушення стійкості екіпажу, рейко-шпальної решітки або руйнування рейки [4].

Зміни характеристик колії x_i в часі (амплітуда нерівності $x_i = \eta$; довжина нерівності $x_i = l_\eta$; жорсткість рейкових опор $x_i = c$; дисипація опор $x_i = \beta$ і так далі),

завичай досить добре описуються емпіричними рівняннями парабол:

$$x(t) = at^b$$

$$\sigma(t) = ct^d + \bar{\sigma}, \quad (3)$$

де: t – період роботи;

σ_i – дисперсія величини x_i ;

a, b, c, d – емпіричні коефіцієнти, одержані або методом випрямлення, або методом найменших квадратів;

$\bar{\sigma}$ – дисперсія величини x на початку роботи.

Перевірку відповідності емпіричного закону розподілу можна виконати за допомогою критерію Колмогорова або Фішера [5].

Якщо залежності (3) визначені за період спостережень, близький за тривалістю до періоду безвідмовної роботи, то вони дозволяють виконати екстрополяцію і розраховувати період безвідмовної роботи $t = T_0$ з умови $P(t) \geq 0,9973$, тобто допустиме значення x [7]:

$$x(t) = x(t) + 3\sigma(t).$$

Функції, зворотні рівнянням (3) дозволяють визначати математичне очікування x і дисперсію σ для рівняння (1).

Таким чином, застосування теорії надійності дає можливість отримати характеристики надійності системи екіпажколія (рівняння 1 і 2), розуміючи під системою, в даному випадку, «комплекс складових, між якими існують взаємні відносини» [5].

Черговість виконаних розрахунків була прийнята наступною:

1) Формування вихідних даних:

- залежності змін жорсткості рейкових опор;

- залежності змін еквівалентних коефіцієнтів дисипації опор;

- залежності змін характеристик нерівностей колії;

- експорт в табличному форматі Excel результатів визначень сил взаємодії екіпажів та колії;

- експорт в табличному форматі Excel результатів визначень діючих напружень в рейках.

2) Розрахунки умов стійкості рухомого складу, рейко-шпальної решітки і умов втомної міцності рейок, визначення критичних значень вертикальних і горизонтальних поперечних динамічних сил.

3) Пошук за допомогою вбудованої функції програмної системи Mathcad критичних станів колії, в першу чергу характеристик нерівностей.

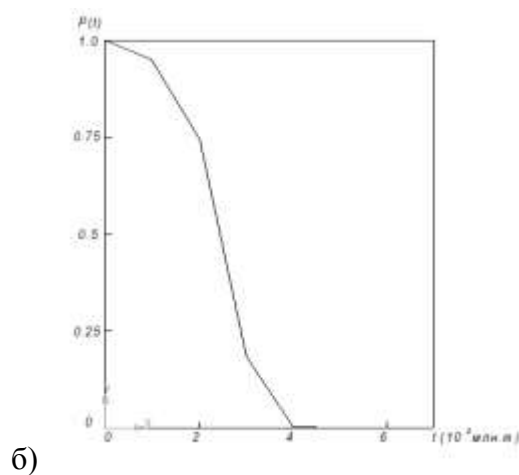
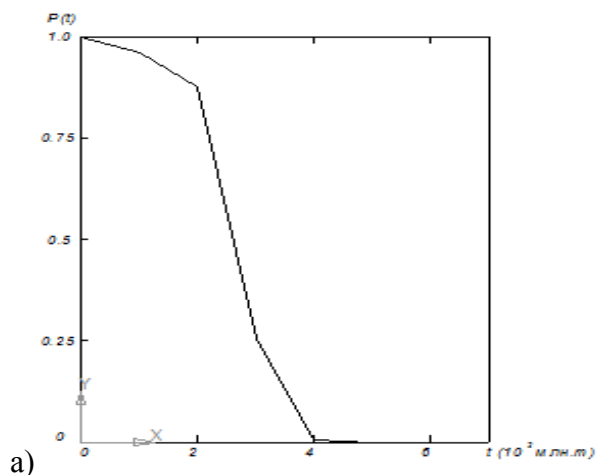
4) Визначення математичного очікування і дисперсії часових показників експлуатації, відповідних критичним станам колії.

5) Розрахунок ймовірностей безвідмовної роботи системи екіпаж - колія за

критеріями стійкості екіпажу, рейко-шпальної решітки та міцності рейок.

Пропонована методика розрахунків реалізована в програмній системі Mathcad.

На рисунку 1 приведені, як приклад, функції ймовірностей безвідмовного руху чавуновозів вантажопідйомністю 140 т по колії з рейками типу Р65 на залізобетонних шпалах в кривій радіусом 400 м з нерівністю плану лінії довжиною 6 м і амплітудою 60 мм після пропуску 350 млн.т. зі швидкістю 7 км / год за критеріями стійкості вагона, рейко-шпальної решітки та міцності рейок, які були отримані в результаті розрахунків. Загальна ймовірність безвідмовної роботи цієї системи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи по зазначеним критеріям і наведена на рис. 1-г.



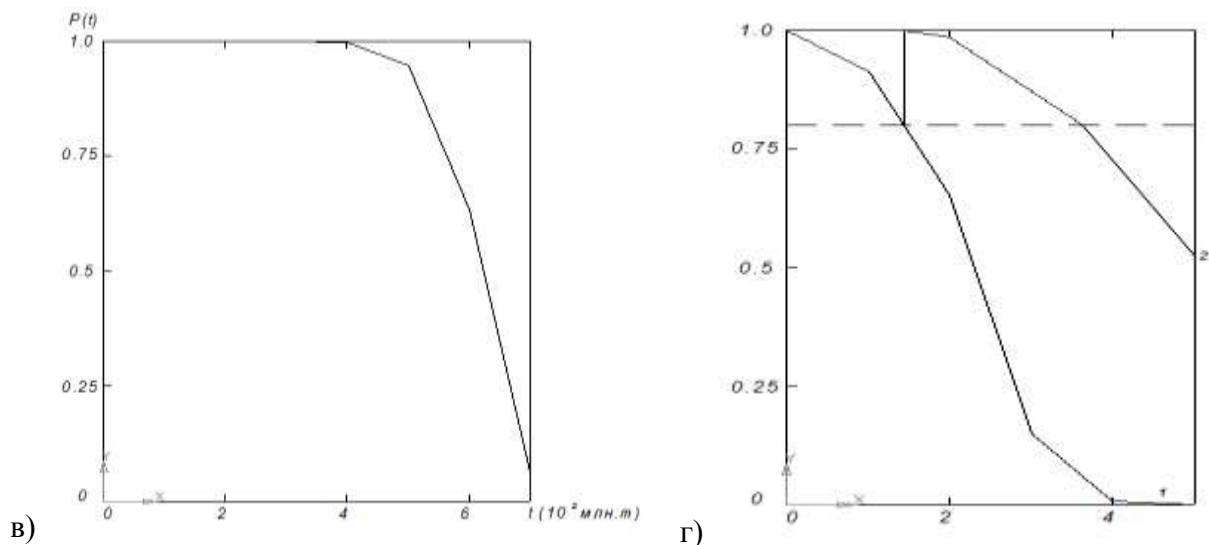


Рис. 1. Функції надійності роботи системи екіпаж-колія при русі чавуновозів вантажопідйомністю 140т:

- а.) за критерієм стійкості решітки;
- б) за критерієм стійкості екіпажу;
- в) за критерієм міцності рейок;
- г) 1-загальна ймовірність безвідмовної роботи;

Розрахунки ймовірностей безвідмовної роботи дозволяють визначити допустимі значення несправностей колії на ділянках обертання різного рухомого складу, планувати проведення ремонтно-колійних робіт.

Однак, безпека руху повинна бути забезпечена і до проведення ремонтно-колійних робіт протягом певного часу. Єдиним способом зниження рівня діючих сил, підвищення стійкості екіпажів і рейко-шпальної решітки, запобігання зламів рейок, є обмеження швидкостей руху.

Так, на рисунку 1-г наведена функція надійності при русі чавуновозів 140 т. при обмеженні швидкості руху до 3 км / год. Розрахунки функцій надійності для різних експлуатаційних умов металургійних і гірничодобувних підприємств дозволили встановити допустимі швидкості руху по ділянках колії, які мають нерівності профілю і плану різного ступеня розвитку і при поєднанні цих несправностей (таблиці 1 і 2). Такі обмеження дозволяють продовжити безпечний термін експлуатації колії до 3 місяців

БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Таблиця 1

Допустимі швидкості руху (км/год) по колії з нерівностями профілю

Довжина нерівності (м)	Осідання (мм)	Колії металургійних підприємств			Колії гірничодобувних підприємств	
		Осьові навантаження (кН)			Осьові навантаження (кН)	
		≤ 265	265-294	>294	≤265	>265
≤ 5	≤30	10	7	5	20	15
	>30-80	5	3	Рух закривається	10	7
	>80	Рух закривається			5	Рух закривається
>5-10	≤30	Встановлена			Встановлена	
	>30-80	20	15	10	20	15
	>80	10	5	3	10	5
> 10	<30	Встановлена			Встановлена	
	>30-80	25	20	15	30	25
	>80	15	10	5	20	10

Таблиця 2

Допустимі швидкості руху (км/год) по колії з нерівностями плану

Довжина нерівності (м)	Амплітуда нерівності (мм)	Колії металургійних підприємств			Колії гірничодобувних підприємств	
		Осьові навантаження (кН)			Осьові навантаження (кН)	
		≤ 265	265-294	>294	≤265	>265
≤ 4	≤20	15	10	10	25	20
	20-60	10	7	5	15	10
	>60	Рух закривається			5	Рух закривається
>4-8	≤20	20	15	10	25	20
	20-60	15	10	5	15	10
	>60	7	5	3	10	5
> 8	≤20	Встановлена			Встановлена	
	20-60	20	15	10	25	20
	>60	15	10	5	15	10

Висновки

1. Встановлені критичні стани колії за умов безпеки руху спеціальних та спеціалізованих вагонів промислового транспорту. Такі стани колії характеризуються насамперед величинами вертикальних та горизонтальних нерівностей колії, а також жорсткістю та дисипацією рейкових опор та зносом рейок.

2. Встановлені граничні величини вертикальних та горизонтальних нерівностей колії, при яких можливі сходи рухомого складу внаслідок втрати його стійкості, втрати стійкості рейкошпальної решітки або руйнування рейок.

3. Визначені допустимі швидкості руху спеціальних та спеціалізованих вагонів по колії, яка має несправності у вигляді вертикальних або горизонтальних нерівностей та при їх поєднанні.

БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Таблиця 3

Допустимі швидкості руху по коліях металургійних і гірничодобувних підприємств (км/год) з поєднанням нерівностей у плані з нерівностями профілю

Особі назва з'язаних (км/год)	Довжина нерівностей (м)	Осцяня (мм)	Довжина нерівностей по шви (м)													
			≤4						>4-8						>8	
			Амплітуда нерівностей по шви (мм)													
≤265	≤10	≤30	≤20	20-60	>60	≤20	20-60	>60	≤20	20-60	>60	≤20	20-60	>60		
		>30-80	10	7	5	15	10	7	5	25	15	10	25	15	10	
		>80	7	5	3	10	7	5	20	15	10	20	15	10		
	>10	≤30	3	Рух закривається	5	3	Рух закривається	3	Рух закривається	5	3	3	3	3	3	
		>30-80	15	10	Рух закривається	20	15	7	30	20	15	20	15	10	15	
		>80	10	7	5	15	10	5	25	15	10	25	15	10		
265-294	≤10	≤30	7	5	Рух закривається	7	5	3	15	10	7	25	10	7		
		>30-80	7	5	Рух закривається	10	7	5	25	10	7	20	15	10		
		>80	3	Рух закривається	7	5	3	5	Рух закривається	5	Рух закривається	5	Рух закривається	5		
	>10	≤30	10	7	Рух закривається	15	10	5	25	15	10	25	15	10		
		>30-80	7	5	Рух закривається	10	7	3	10	7	5	10	7	5		
		>80	5	Рух закривається	5	3	Рух закривається	3	Рух закривається	7	5	3	5	3		
>294	≤10	≤30	7	3	Рух закривається	10	5	3	25	10	5	7	10	5		
		>30-80	5	Рух закривається	5	Рух закривається	7	Рух закривається	7	Рух закривається	7	Рух закривається	7			
		>80	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається	Рух закривається			
	>10	≤30	10	5	Рух закривається	10	5	3	20	10	5	20	10	5		
		>30-80	7	3	Рух закривається	7	3	Рух закривається	10	7	5	10	7	5		
		>80	3	Рух закривається	5	Рух закривається	5	Рух закривається	7	Рух закривається	7	Рух закривається	7	Рух закривається		

Список літератури

1. Даренський О.М., Бугаєць Н.В. Зміни деяких параметрів жорсткості рейкових скріплень типу КБ при їх експлуатації [текст]/О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць//Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2009. – №111 – с. 282 – 294
2. Даренский А.Н. Результаты определения пространственных неупругих сопротивлений железнодорожного пути деформациям для условий промышленного транспорта [текст]/А.М. Даренский//ІКС ЗТ. – 2010. – №6 – с. 78 – 82
3. Даренський О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження залізничних колій промислового транспорту. Монографія / О.М. Даренський // Харків. УкрДАЗТ, 2011. – с. 204
4. Даренський О.М. Методи оцінювання впливу стану колії на безпеку руху промислового залізничного транспорту /О.М. Даренський //Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2012. – № – с.
5. Капур К., Ламберсон Л. Надёжность и проектирование систем [Текст] / К. Капур, Л. Ламберсон – М.: Мир, 1980 – 608 с.
6. Войнов К.Н. Прогнозирование надёжности механических систем [Текст]: монография / К.Н. Войнов – Л.: Машиностроение, 1978 – 208 с.
7. Губачева Л.О. Надійність транспортних засобів: Навчальний посібник [Текст]: монографія / Л.О. Губачева – Лу-

ганськ: Видавництво СНУ ім. В. Даля, 2009 – 124 с.

8. Губачева Л.А. Определение функции эксплуатационной надежности [Текст] / Л.А. Губачева // Залізничний транспорт України – 2006, №1, с. 20-25.

Анотації:

Ключові слова: безпека руху спеціальних і спеціалізованих вагонів промислового транспорту, теорія надійності, критичні стани колії.

Приведені результати досліджень впливу стану колії на безпеку руху промислового залізничного транспорту. Встановлені параметри вертикальних і горизонтальних нерівностей колії, при яких можлива втрата стійкості рухомого складу та колії або руйнування рейок. Пропонуються допустимі швидкості руху по таких нерівностях та при їх поєднанні.

Приведены результаты исследований влияния состояния пути на безопасность движения промышленного железнодорожного транспорта. Установлены параметры вертикальных и горизонтальных неровностей пути, при которых возможна утрата устойчивости подвижного состава и пути или разрушение рельсов. Предложены допустимые скорости движения по таким неровностям и при их сочетании.

The results of studies of influence the state of way to safety on industrial railways. Clarified parameters of vertical and horizontal irregularities of the way in which is possible loss of stability of the rolling stock and track or destruction of rails. Proposed allowable speed for such irregularities, and their combination.