

УДК 625.143.482

Канд. техн. наук О.М. Даренський

**МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СТАНУ КОЛІЇ НА БЕЗПЕКУ РУХУ
ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Представив д-р техн. наук, професор А.А. Плуґін

Вступ. Крайнім проявом порушень умов безпеки руху промислового залізничного транспорту є сходи рухомого

складу, які в даний час відбуваються досить часто. Згідно з оцінками працівників служб колії промислових залізниць на сходи

рухомого складу поза зоною стрілочних переводів припадає від 67 % до 80 %. З них частка сходів через порушення стійкості рухомого складу або рейко-шпальної решітки становить 65 %, через поперечні злами або інші руйнування рейок – 25 %, з інших причин, включаючи розширення колії на ділянках з дерев'яними шпалами – до 10 %.

Але на цей час немає методів оцінки впливу технічного стану колії на безпеку руху спеціального та спеціалізованого рухомого складу промислових залізниць, які мають суттєві особливості. Це насамперед високі осьові навантаження (до 450 км та більше), підвищена жорсткість ресор, малі діаметри коліс (до 650 мм), короткі жорсткі бази (до 1,3 м) та ряд інших. При порівняно невеликих швидкостях руху (до 10 км/год) на коліях металургійних підприємств вплив такого рухомого складу суттєво відрізняється від умов магістральних залізниць.

Таким чином, визначення критичних станів колії, за яких можливе порушення умов безпеки руху, отримання кількісних характеристик надійності роботи системи «екіпаж – колія» та визначення умов безпечної експлуатації колії при її критичних станах є актуальною задачею.

Основна частина. Стійкість рухомого складу на рейковій колії визначається в основному стійкістю колісної пари проти всповзанія гребенів коліс на рейки. Забезпечення стійкості проти всповзанія у свою чергу безпосередньо залежить від поперечних бічних сил, які передаються від колеса на рейку, їх співвідношення з вертикальними силами, що діють у точці контакту колеса і рейки. Причина можливого всповзанія гребенів коліс на рейки полягає в тому, що передні колеса візка рухомого складу при русі по кривих ділянках колії або по горизонтальних нерівностях набігають своїми гребенями на бічну грань головки опорної рейки. У точці контакту колеса і рейки виникає нормальна сила реакції

рейки на тиск гребеня H (рисунок). Її вертикальна складова V прагне перемістити рухоме колесо вгору по бічній поверхні рейки, а горизонтальна складова N_H направити екіпаж по рейковій колії і вона називається направляючою силою.

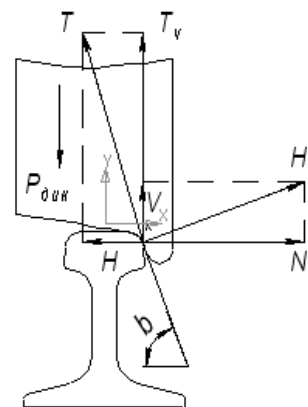


Схема сил взаємодії між колесом і рейкою в точці контакту всповзанія колеса

Професор Е.І. Даниленко [2] пропонує визначати умову забезпечення стійкості екіпажа проти всповзанія гребенів коліс на рейки як співвідношення сил, які перешкоджають підйому колеса, і сил, що прагнуть підняти колесо:

$$\frac{P_{дин}}{N_{дин}} \cdot \frac{tg\beta - \mu}{\mu \cdot tg\beta + 1} \geq [K_{уст}], \quad (1)$$

де $P_{дин}$ і $N_{дин}$ – вертикальні і горизонтальні поперечні динамічні сили, що діють на рейку;

β – кут нахилу гребеня колеса;

μ – коефіцієнт тертя гребеня колеса;

$[K_{уст}]$ – допустимі значення коефіцієнта запасу на стійкість ($[K_{уст}] = 1,4 - 1,5$ [2]).

Розрахунки показують, що для нових вагонних коліс із кутом нахилу гребеня $\beta = 60^\circ$ і мінімальним значенням коефіцієнта тертя $\mu = 0,2$ [2] при прийнятному коефіцієнті запасу на стійкість $[K_{уст}] = 1,45$ величина динамічних

горизонтальних поперечних сил не повинна перевищувати значення

$$[N_{дин}] \leq 0,785 \cdot P_{дин}.$$

Умова недопущення залишкових зрушень рейкової нитки під дією горизонтальних поперечних сил, тобто умова забезпечення поперечної стійкості рейко-шпальної решітки, згідно з дослідженнями професора М.Ф. Веріго [3], буде забезпечуватися при виконанні нерівності

$$\frac{R_z}{R_y} \leq [\alpha_c], \quad (2)$$

де R_z - найбільше динамічне горизонтальне навантаження, що передається рейкою на шпалу;

R_y - середнє значення вертикального динамічного навантаження рейки на шпалу;

$[\alpha_c]$ - коефіцієнт, що залежить від матеріалу баластної призми, для щебеневого баласту $[\alpha_c]=1,4$; інших видів баластних матеріалів $[\alpha_c]=1,1$ [3].

Тривалу міцність рейок з урахуванням утоми металу під дією тривалих повторно-змінних навантажень, доцільно визначати з використанням сучасної методики, розробленої вітчизняними вченими [4], яка зводиться до розрахунку допустимих напружень при роботі на витривалість.

Для запобігання появи тріщин у металі, яка є другою за кількістю випадків причиною сходження рухомого складу промислового транспорту, необхідно щоб діючі загальні та місцеві напруження не перевищували допустимі напруження, що визначаються за умовою довготривалої витривалості з певним коефіцієнтом запасу.

Допустимі максимальні і мінімальні напруження у відповідності до методики, викладеної в [4], визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} [\sigma_{max}] &= \frac{2\sigma_{-1}}{(1-r)K + (1+r)\psi_\sigma}, \\ [\sigma_{min}] &= [\sigma_{max}]r, \end{aligned} \quad (3)$$

де σ_{-1} - межа витривалості при симетричному циклі навантажень, який визначається при випробуваннях стандартних зразків металу;

r - коефіцієнт асиметрії діючих навантажень

$$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}};$$

ψ_σ - коефіцієнт впливу асиметрії циклу на граничну амплітуду;

K - загальний коефіцієнт запасу міцності, який характеризує відмінності в роботі рейок і стандартних зразків металу при багатоциклічних навантаженнях.

Методики визначення коефіцієнта впливу асиметрії циклу і загального коефіцієнта запасу міцності при багатоциклічних навантаженнях докладно розглянуті професором Е.І. Даниленком [2] і були прийняті як нормативні в «Правилах розрахунку залізничної колії на міцність і стійкість» [5].

Для залізничних рейок коефіцієнт ψ_σ визначається рівним [2]

$$\psi_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{0,2}}, \quad (4)$$

де σ_{-1} - межа витривалості рейкової сталі при симетричному циклі навантаження;

$\sigma_{0,2}$ - умовна межа плинності рейкової сталі при відносному подовженні 0,2.

Ці параметри встановлені чинним стандартом [6] і для рейкової сталі категорії якості Т1 можуть бути прийняті рівними:

$$\sigma_{0,2} = 800 \text{ Н/мм}^2;$$

$\sigma_{-1} = 237 \text{ МПа}$ – по підшві рейки (розтягнення);

$\sigma_{-1} = 307$ МПа – по головці рейки (стиснення).

Коефіцієнт запасу міцності K прийнятий рівним 1,3 для рейок, які не пропустили нормативний тоннаж, і 1,4 для рейок після пропуску нормативного тоннажу [5].

Таким чином, вплив конструкції та стану колії на умови безпечного руху поїздів визначаються рівнем вертикальних і горизонтальних динамічних сил, діючих на колію від рухомого складу, і напруженнями в елементах колії, що виникають під дією цих сил. У свою чергу на рівень сил впливають як характеристики рухомого складу (маса обресорених і необресорених частин, жорсткості ресорних комплектів, характеристики гасителів коливань та ін.), так і характеристики колії, до яких належать тип рейок і рівень їх зносу, вертикальні і горизонтальні поперечні пружні і дисипативні характеристики рейкових опор, умови плану і профілю колії. Однак основною причиною, що викликає появу значних динамічних сил, здатних створювати загрозу безпеці руху, є вертикальні і горизонтальні поперечні відступи від норм утримання - нерівності колії. Слід підкреслити, що всі зазначені характеристики колії безперервно змінюються в процесі експлуатації. Знаючи значення параметрів, закономірності їх змін у часі і маючи достовірні для умов промислового транспорту методи визначення сил взаємодії рухомого складу та колії і методи визначення напруженого стану елементів колії, можна для будь-якого моменту часу визначити за наведеними вище методиками виконання умов безпечного руху поїздів. Однак інформація дає лише якісну оцінку - виконуються чи ні умови безпеки. Кількісну оцінку виникаючих змін умов безпеки руху може дати апарат теорії надійності.

Безпосередньо до поняття безпеки руху примикають такі характеристики надійності, як безпека і довговічність.

Безвідмовністю є здатність зберігати працездатність протягом деякого напрацювання без вимушених перерв. Характеризується такими числовими показниками, як імовірність і середній час безвідмовної роботи, частота та інтенсивність відгуків, середній час роботи між відгуками. Довговічністю називається здатність до тривалої експлуатації при необхідному технічному обслуговуванні. Якщо відмови незворотні, то довговічність відповідає середньому часу безвідмовної роботи. Причому під часом роботи може розумітися і календарний час, і пропущений по ділянці тоннаж, й інші показники, що характеризують тривалість або обсяг виконаної роботи. Методики розрахунків показників надійності наведені в спеціальній літературі [7].

Найбільш повну інформацію про безвідмовність роботи системи «екіпаж-колія» містить закон розподілу напрацювань до першої відмови. У розрахунках надійності використовуються експоненціальний, 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 розрахунках надійності, що розглядаються, слід використовувати усічений нормальний розподіл Гауса. Нормальний розподіл визначається двопараметричними функціями $f(t, x)$ і $F(t, x)$ [9, 10]:

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

$$F(t, x) = \int_0^t \frac{e^{-\frac{(t-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} dt, \quad (5)$$

де $F(t, x)$ – функція розподілу;

$f(t, x)$ – щільність нормального розподілу;

t – час до першої відмови;

\bar{x} – математичне очікування часу роботи, який відповідає критичним станам колії;

$\bar{\sigma}$ – дисперсія цієї величини.

Функція розподілу визначає функцію надійності $P(t)$ або ймовірність безвідмовної роботи [10, 11]:

$$P(t) = F(t, x) \int_0^t f(t) dt. \quad (6)$$

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 екіпажа, рейко-шпальної решітки або руйнування рейки (рівняння (1)-(4)).

Зміни характеристики 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 т. д.) зазвичай досить добре описуються емпіричними рівняннями парабол:

$$\begin{aligned} x(t) &= at^b, \\ \sigma(t) &= ct^d + \bar{\sigma}, \end{aligned} \quad (7)$$

де t – період роботи;

σ_t – дисперсія величини x_t ;

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 [7].

Якщо залежності (7), визначені за період спостережень, близькі за тривалістю до періоду безвідмовної роботи, то вони дозволяють виконати екстраполяцію і розрахувати період безвідмовної роботи $t = T_0$ з умови $P(t) \geq 0,9973$, тобто допустиме значення x [10]

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

Функції, зворотні рівнянням (7), дозволяють визначати математичне очікування і дисперсію цієї величини $\bar{\sigma}$ для рівняння (5).

Вищенаведений метод визначення ймовірності безвідмовної роботи системи «екіпаж-колія» і, отже, кількісних характеристик безпеки руху може бути реалізований у програмній системі Mathcad.

Висновки. Запропонований метод оцінювання впливу технічного стану колії промислових залізниць на безпеку руху спеціалізованих і спеціальних вагонів дозволяє встановлювати критичні, за умов безпеки руху, стани колії, визначити безпечні умови експлуатації колії в таких станах, прогнозувати проведення ремонтних і попереджувальних колійних робіт.

Список літератури

1. Даниленко, Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: у 2 т.: підруч. для вищих навч. закладів / Е.І. Даниленко. – К.: Імпрес, 2010. – Т. 1. – 528 с.
2. Даниленко, Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: у 2 т.: підруч. для вищих навч. закладів / Е.І. Даниленко. – К.: Імпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.

3. Вериго, М.Ф. Установление норм боковых динамических нагрузок подвижного состава по условию устойчивости пути поперечному сдвигу [Текст] / М.Ф. Вериго, С.С. Крепторгорский // Труды ЦНИИ МПС. – 1962. – Вып. 248. – С. 210-302.
4. Даниленко, Э.И. Определение допускаемых напряжений в литых крестовинах из высокомарганцовистой стали [Текст] / Э.И. Даниленко, А.Г. Коган, Е.А. Шур // Вестник ВНИИЖТ. – №5. – 1989. – С. 44-48.
5. Даниленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даниленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
6. ДСТУ 4344-2004 Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови [Текст]. – К., 2004.
7. Балух, Х. Диагностика верхнего строения пути [Текст]: монография / Х. Балух. – М.: Транспорт, 1981. – 451 с.
8. Капур, К. Надёжность и проектирование систем [Текст] / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 608 с.
9. Войнов, К.Н. Прогнозирование надёжности механических систем [Текст]: монография / К.Н. Войнов – Л.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
10. Губачева, Л.О. Надійність транспортних засобів: навч. посібник [Текст]: монографія / Л.О. Губачева. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 124 с.
11. Губачева Л.А. Определение функции эксплуатационной надежности [Текст] / Л.А. Губачева // Залізничний транспорт України. – 2006. – №1. – С. 20-25.

Ключові слова: безпека руху промислових залізниць, технічний стан колії, імовірність безвідмовної роботи.

Анотації

У роботі розглянута найбільш розповсюджена причина сходів рухомого складу промислового транспорту, встановлені критерії визначення критичних станів колії за умов безпечного руху. Запропоновано метод кількісної оцінки безпеки руху промислових залізниць за допомогою апарату теорії надійності.

В работе рассмотрена наиболее распространенная причина сходов подвижного состава промышленного транспорта, установлены критерии определения критических состояний пути при условиях безопасного движения. Предложен метод количественной оценки безопасности движения промышленных железных дорог с помощью аппарата теории надежности.

The most widespread reason of stair of rolling stock of industrial transport is in-process considered, set criteria of determination of critical conditions of track at the terms of safe motion. The offered method of quantitative estimation of safety of motion of industrial railways is by the vehicle of theory of reliability.