

ОБҐРУНТОВАНИСТЬ СХЕМИ УКЛАДАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ ЗАМІСТЬ НЕПРИДАТНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ

У даній роботі проводиться аналіз можливості появи резонансних явищ в конструкції колії. Теоретично доведена неможливість виникнення резонансних явищ у колії при існуючій конструкції колії та затверджених УЗ швидкостях руху рухомого складу.

В данной работе проводился анализ возможности появления резонансных явлений в конструкции пути. Теоретически доказана невозможность возникновения резонансных явлений в пути при существующей конструкции пути и утверждённых УЗ скоростях движения подвижного состава.

In the given paper the possibility of occurrence of resonant effects in the rail structure was analyzed. Such phenomena impossibility is theoretically proved under existing structure of the rail track and the motion speeds of the rolling stock permitted by the UZ.

За роки незалежності України середня річна вантажонапруженість, в порівнянні з радянськими часами, значно зменшилась, зросли міжремонтні строки, і головним в забезпеченні безпеки руху на ділянках колії з дерев'яними шпалами стає фактор виходу з ладу дерев'яних шпал по гнилості. Також дерев'яні шпали є дуже дефіцитним матеріалом верхньої будови колії (далі ВБК).

З метою подолати цю проблему УЗ дозволено укладання залізобетонних шпал замість дерев'яних при поодинокій заміні та розрядці «кущів» непридатних дерев'яних шпал при поточному утриманні і ремонтах колії. Була створена конструкція колії з комбінації залізобетонних та дерев'яних шпал (далі КРШР), що закріплено відповідними нормативними документами: до 18.11.2005 – [3], з 19.11.2005 – [2].

При проектуванні схеми була врахована можливість появи резонансних явищ в конструкції колії на мостах та в рухомому складі. Дана обставина була врахована в [2, 3] вимогою: «Залізобетонні шпали укладають таким чином, щоб не було закономірності у чергуванні однакової кількості підряд заміненних залізобетонних та дерев'яних шпал», тобто щоб не створювалось постійної динамічної нерівності однакової довжини. Аналіз можливості появи резонансних явищ в колії при розробці [2, 3] не проводився. Нижче автор проведе теоретичний аналіз можливості появи резонансних явищ в конструкції колії.

Аналіз впливу на колію резонансних явищ

Виникнення резонансних процесів теоретично можливе лише в процесі динамічної взає-

модії колії та рухомого складу. Наведемо основне диференціальне рівняння динамічної взаємодії механічної системи «колесо-колія», згідно [6] воно має вигляд:

$$(m_k + m_n) \cdot \ddot{y} + f \cdot \dot{y} + \varepsilon_n \cdot y + m_k \cdot (\ddot{\eta}_n + \ddot{\eta}_k) = P_0 + P_{\text{pec}}, \quad (1)$$

де m_k , m_n – необресорена маса колеса та приведена маса колії відповідно, кг; y – прогин рейки, м; ε_n – жорсткість колії, Н/м; η_k – ордината нерівності на колесі, м; η_n – ордината нерівності колії, м; P_0 – статичне навантаження від колеса, Н; P_{pec} – навантаження від стискування ресор, Н.

Розглянемо розв'язання цього рівняння

$$y(t) = e^{-\xi t} \cdot z_\varphi \cdot \sin(\varphi_0 \cdot t + \theta_\varphi) + \frac{P_0}{\varepsilon_n} + \frac{1}{\varepsilon_n} \cdot \sum E_i \cdot n_i \sin(w_i \cdot t + \theta_i - e_i) \quad (2)$$

де t – час руху навантаження, с; ξ – коефіцієнт приведенного в'язкого тертя, с^{-1} ; z_φ – амплітуда вільних затухаючих коливань, м; φ_0 – циклічна частота вільних згасаючих коливань, $\frac{1}{2\pi \cdot \text{с}}$;

θ_φ – початковий кут (фаза) вільних коливань; E_i – i -тий силовий фактор (наприклад, від дії ізольованої нерівності колії), Н; n_i – коефіцієнт динамічності при відповідному силовому факторі i ; w_i – циклічна частота вимушених (при проходженні колесом нерівностей) коливань,

$\frac{1}{2\pi \cdot c}$; θ_i – початковий кут (фаза) вимушених коливань; e_i – фаза запізнювання.

З формули (2) бачимо, що $y(t)$ зростає пропорційно n_i .

Розберемо детальніше коефіцієнт динамічності n_i , прийнемо за i ізольовану нерівність у колії, тоді n_{π} матиме вигляд

$$n_{\pi} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{w_{\pi}}{\varphi}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{\xi}{\varphi}\right)^2 \cdot \left(\frac{w_{\pi}}{\varphi}\right)^2}}, \quad (3)$$

де φ – частота вільних затухаючих коливань, c^{-1} :

$$\varphi = \sqrt{\frac{\mathcal{M}_{\pi}}{m_k + m_{\pi}}}, \quad (4)$$

$$w_{\pi} = \frac{v}{l_n}, \quad (5)$$

де v – швидкість руху навантаження, м/с; l_n – довжина ізольованої нерівності, м.

Розглянемо складові формули (3):

- \mathcal{M}_{π} , m_{π} – визначаються конструкцією колії та згідно [1] приймаються величиною постійною;

- m_k – має постійне значення, залежить від типу рухомого складу;

- l_n приймається постійною величиною, тому що n_{π} розглядається в межах однієї нерівності.

Вищенаведені складові на характер формування n_{π} не впливають, тому беремо їх в межах існуючих параметрів конструкцій колії та рухомого складу.

Розглянемо залежність коефіцієнту динамічності n_{π} від швидкості руху v та коефіцієнту приведенного в'язкого тертя ξ :

$$n_{\pi} = f(v, \xi). \quad (6)$$

Для прикладу розрахунку використовуємо наступні вихідні дані

- приймаємо колію на дерев'яних шпалах з модулем пружності $U = 25$ МПа, тип рейок Р50;

- $\mathcal{M}_{\pi} = 44172.7$ кН/м;
- $m_k = 2230$ кг;
- $m_{\pi} = 2921$ кг;
- $l_n = 3.0$ м;

Слід зауважити, що згідно формули (6) при розрахунках з іншими вихідними даними характер залежностей не зміниться.

Отже графік функції $n_{\pi} = f(v, \xi)$ з вищенаведеними вихідними даними має вигляд (рис. 1).

З формули (3) та рис. 1 бачимо, що $n_{\pi} \rightarrow \infty$, тобто резонанс виникає лише при $\xi = 0$ та при $w_{\pi}(v) \rightarrow \varphi$. Згідно [9], для конструкцій колії, що експлуатуються, ξ лежить в межах $50 \dots 120 c^{-1}$.

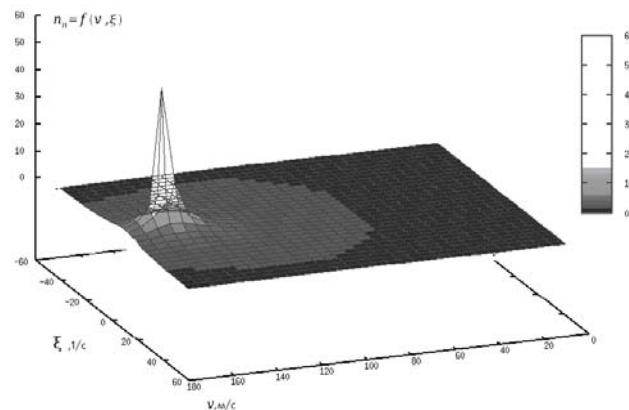


Рис. 1. Коефіцієнт n_{π} в залежності від v та ξ

Проаналізуємо окремо вплив сил тертя. Приймаємо $w_{\pi} = \text{const}$ та $w_{\pi} \rightarrow \varphi$ (згідно рис. 1 для заданих умов резонанс досягається при швидкості руху приблизно 500 км/год.), тоді $n_{\pi} = f(\xi)$. Будуємо графік (рис. 2) цієї функції при вищенаведених вихідних даних (для більшої деталізації графік обмежений значенням $n_{\pi} = 5$).

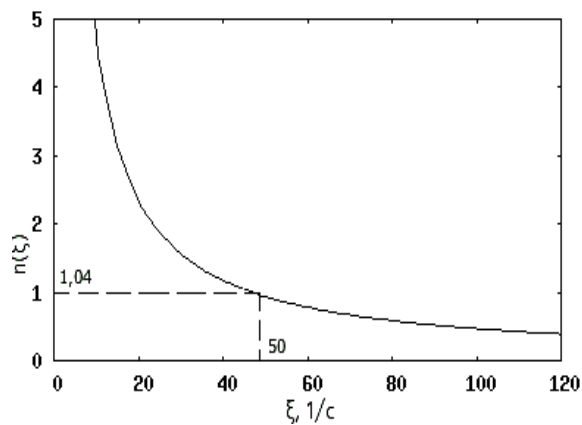


Рис. 2. Графік функції $n_{\pi} = f(\xi)$

З графіка бачимо, вже при мінімальному значенні $\xi = 50$, зростання амплітуди коливань складає лише 4%. Це дозволяє зробити висновок про теоретичну відсутність резонансних явищ при проході рухомим складом ізольованої нерівності при існуючих силах тертя та затверджених УЗ швидкостях руху.

Проаналізуємо можливість появи резонансних явищ – з постійно зростаючою амплітудою.

Розглянемо рух колеса по безперервній нерівності.



Рис. 3. Модель колії у вигляді безперервної нерівності

У відповідності до правила суперпозицій при рішенні диференційних рівнянь проаналізуємо окремо вплив нерівності даного типу. Рух виражається рівнянням виду

$$y(t) = e^{-\xi t} \cdot z_{\varphi} \cdot \sin(\varphi_0 \cdot t + \theta_{\varphi}) + \frac{1}{\omega_{\varphi}} \times \\ \times E_{\pi} \cdot n_{\pi} \sin(\omega_{\pi} \cdot t + \theta_{\pi} - e_{\pi}). \quad (7)$$

Якщо при розгляді вищенаведеного рівняння (7) зневажити сили тертя, то при проході колесом нерівності величина власних коливань φ приведеної маси колії m_{π} та необресореної маси рухомого складу m_k стане рівній величині вимушених коливань ω_{π} . З плином часу буде відбуватися накладення власних частот на вимушені, що і викликає резонанс, рівняння якого матиме вигляд:

$$rez(t) = \frac{A}{2} \cdot \frac{m_k}{m_k + m_{\pi}} \cdot \frac{t}{T_w} \cdot \cos\left(\frac{t}{T_w}\right), \quad (8)$$

де A – амплітуда коливань, м; T_w – період вимушених коливань, с.

Як бачимо з рівняння (8), амплітуда коливань A зростає пропорційно часу t . Графік функції цього рівняння має вигляд (рис. 4):

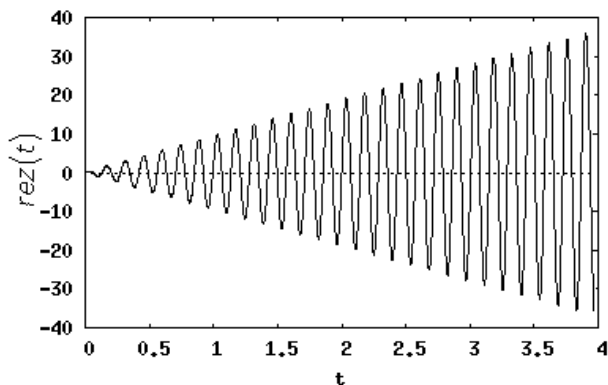


Рис. 4. Резонанс при дії безперервної нерівності колії

Формула (8) професора С. П. Тимошенко [7] отримана за умови відсутності сил тертя у колії. Розглянувши рівняння (7), ми бачимо, що

власні коливання згаснуть через деякий час та залишаться лише вимушені коливання. Розв'язання рівняння (7) без врахування сил тертя теж представляє лише теоретичний інтерес, бо не відображає дійсної роботи колії під навантаженням.

Вищенаведені теоретичні викладення підтверджуються відсутністю врахування резонансних явищ при аналізі впливу додаткових сил від дії безперервної нерівності на колеса при розрахунках колії на міцність.

Теоретично доведено [7] та у [1] затверджено, що максимальне значення додаткового прогину від нерівності становить:

$$y_{max} = 1.47 \cdot f, \quad (9)$$

де y_{max} – максимальна величина додаткового прогину від дії безперервної нерівності, м; f – величина нерівності, м.

Сили тертя у колії

Вище була теоретично доведена неможливість резонансних явищ у колії при існуючих конструкціях верхньої будови колії завдяки існуванню сил тертя. Тепер встановимо основні джерела сил тертя у колії:

- внутрішні сили тертя в матеріалах, з яких складається конструкція колії;
- сили тертя в місцях контакту елементів, що складають верхню будову колії;
- сили тертя, незалежні від навантаження (рис. 5), $W_{ш}$ бокових поверхонь шпали 1, що коливається в баластному шарі 2. Вони залежать від тиску $E_{ш}$ призми обрушення 3 баластного шару та від коефіцієнта тертя баласту о бокову поверхню шпали;
- сили тертя W_6 (див. рис. 5), що залежать від навантаження. Сила P , що передається на шпалу, створює тиск на баласт інтенсивністю p . Під впливом цього тиску смуга $abcd$, стискаючись під навантаженням, намагається випучитися та прийняти бочкоподібну форму (на рис. 6 зображене штриховою лінією). На вертикальних стінках ab та cd цієї полоси виникає боковий розпір μr , де μ – коефіцієнт бокового розпору. При коливаннях шпали та баластної смуги $abcd$ з'являються вертикальні сили тертя

$$W_6 = \int_0^{h_6} f \mu r dh, \quad (10)$$

де f – коефіцієнт тертя баласту о баласт; h_6 – товщина смуги $abcd$.

Вищерозглянуті сили тертя існують в усіх конструкціях колії, що експлуатуються.

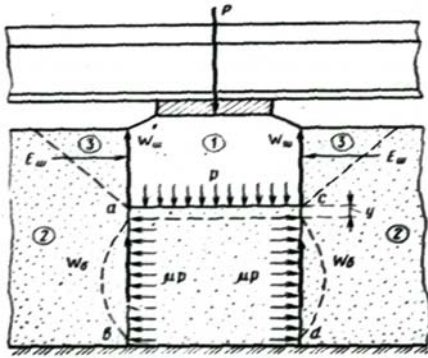


Рис. 5. Схема дії сил тертя у конструкції колії

Як бачимо, сили тертя існують в незалежності від типу шпал, матеріалу баласту, елементів конструкції колії, а їх значення знаходиться в межах, достатніх для відсутності резонансних явищ ($\xi = 50 \dots 120 \text{ с}^{-1}$).

З наведених вище даних ми можемо зробити висновок, про відсутність резонансних явищ як у конструкції з однотипними шпалами, так і в конструкції з різнотипними шпалами через достатні сили тертя в конструкції ВБК.

Висновки

У відповідності до теоретичних даних та практичних результатів, що містяться в джерелах [6, 8, 9, 10, 11], була теоретично доведена неможливість виникнення резонансних явищ існуючих конструкцій ВБК при затверджених УЗ швидкостях руху.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Даніленко Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП/0117 / Е. І. Да-

ніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – С. 168.

2. Керівництво з укладання залізобетонних шпал замість дерев'яних при поодинокій заміні та розрядці «кущів» непридатних дерев'яних шпал при поточному утриманні і ремонтах колії. Розроблене ДП «Науково-конструкторське, технологічне бюро колійного господарства Укрзалізниці», 2005. – С. 8.

3. Временные технические условия на укладку железобетонных шпал вместо деревянных при одиночной замене и разрядке «кустов» негодных деревянных шпал при текущем содержании и ремонтах пути. ЦП № 4003, 1994. – С. 8.

4. Барабошин В. Ф. Повышение стабильности пути в зоне рельсового стыка / В. Ф. Барабошин, Н. И. Ананьев. – Транспорт, 1978. – 46 с. (Всесоюз. науч.-иссл. ин-т ж.д. транспорта).

5. Каменский В. Б. Усиление пути с деревянными шпалами / В. Б. Каменский, В. М. Ермаков // Путь и путевое хозяйство, 1999. – № 8. – С. 8-10.

6. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

7. Тимошенко С. П. Прочность элементов конструкции. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

8. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.

9. Пейч Ю. Л. Равнодеформируемый путь: тенденции и возможности // Путь и путевое хозяйство, 2003. – № 1.

10. Вериго М. Ф. Динамика вагонов: Консп. лекций. – ВЗИИТ, 1971. – 176 с.

11. Чернышев М. А. Практические методы расчета пути. – М.: Транспорт, 1967. – 236 с.

Надійшла до редколегії 23.05.2008.