

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХВИЛЕПОДІБНОГО ЗНОСУ ПОВЕРХНІ КАТАННЯ РЕЙОК ПО КОРЕЛЯЦІЙНІЙ ФУНКЦІЇ

Хвилеподібний знос, що виникає на рейках в процесі експлуатації, характеризується послідовним чергуванням плавних геометричних нерівностей трьох груп – коротких, середніх і довгих. Запропонована двокомпонентна модель хвилеподібного зносу і методика визначення глибини і довжини нерівностей що використовує методи кореляційного аналізу в рамках запропонованої моделі.

Волнообразный износ, возникающий на рельсах в процессе эксплуатации, характеризуется последовательным чередованием плавных геометрических неровностей трех групп – коротких, средних и длинных. Предложена двухкомпонентная модель волнообразного износа и методика определения глубины и длины неровностей использующая методы корреляционного анализа в рамках предложенной модели.

A waveform wear, nascent on rails during their exploitation, is described by successive alternation of smooth geometrical roughness of three groups – short, middle and long. The two component model of waveform wears and methods of depth and length determination of roughness are offered. The methods we the principles of correlation analysis within the offered model.

В процесі експлуатації рейок на поверхні катання, залежно від умов експлуатації виникають дефекти та пошкодження, у тому числі хвилеподібний знос рейок, який характеризується послідовним чередуванням плавних геометричних нерівностей. Хвилеподібний знос розрізняється з довгими, середніми та короткими нерівностями. Кожна група нерівностей має своє технологічне та експлуатаційне походження. Перша група – довгі (початкові) нерівності, довжиною близько 140...180 см, вже є на поверхні кочення при укладанні рейки в колію і обумовлені технологією виготовлення і в процесі експлуатації практично не розвиваються, друга група – середні нерівності довжиною 30...50 см (хвилеподібний знос), які розвиваються в процесі особливих умов експлуатації рейок у кривих ділянках колії, а також короткі нерівності (ріфлі) довжиною 6...8 см, в основному на ділянках з пасажирським рухом поїздів. Враховуючи різний характер їх походжен-

ня в подальшому розглядаються тільки перші дві групи нерівностей.

Раніше задача визначення геометричних параметрів нерівностей вирішувалась тільки статистично, без використання елементів статистичної динаміки або теорії випадкових процесів.

Для побудови моделі початкові нерівності та хвилеподібний знос можна описати в першому наближенні виразом, графічна ілюстрація якого наведена на рис. 1:

$$R(l) = \frac{A_1}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L_1} l\right) + \frac{A_2}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L_2} l\right), \quad (1)$$

де A_1 – глибина початкових нерівностей;

L_1 – довжина початкових нерівностей;

A_2 – глибина хвилеподібного зносу;

L_2 – довжина хвилеподібного зносу.

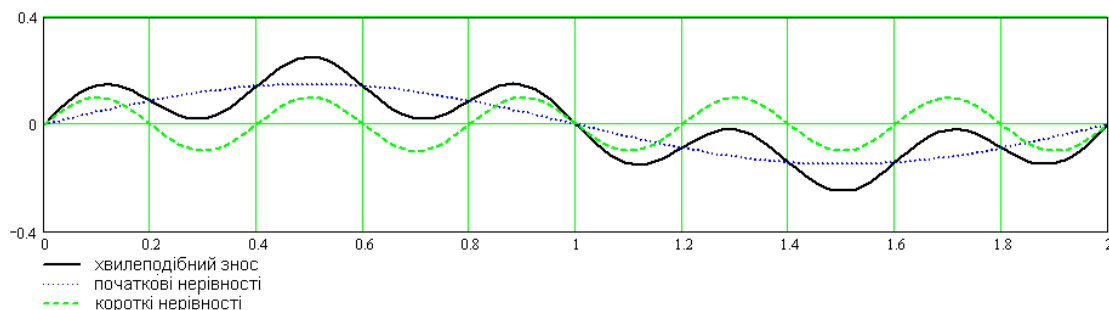


Рис. 1. Графік формування нерівностей з параметрами $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 0,2$ мм, $L_2 = 0,4$ м

Для побудови моделі хвилеподібного зносу рейок та його структури необхідно мати уяв-

лення про зміну глибини та довжини нерівностей в процесі експлуатації. Ця задача може

бути вирішена при застосуванні кореляційного аналізу.

Кореляційний момент функції визначається по формулі:

$$K(\tau) = \frac{\int_0^t (f(x) - \bar{x})(f(x + \tau) - \bar{x}) dx}{2t}, \quad (2)$$

де $f(x)$ – початкова функція;

t – довжина реалізації функції;

\bar{x} – середнє значення функції.

Оскільки, модель описує центрований процес і реалізація функції для рейок відома на інтервалі $0 \dots t$, формула (2) приймає вигляд:

$$K(\tau) = \frac{\int_0^t f(x)f(x + \tau) dx}{t}. \quad (3)$$

Попередній аналіз показав, що внаслідок кінцевості реалізації і ергодичності та стаціонарності процесу, на практиці функції, що описують поверхню кочення, кореляційні моменти можна розглядати в межах $\tau = 0 \dots t/5$, а в більшості випадків досить до першого перетину з 0 кореляційної функції. Кореляційна функція реалізації процесу хвилеподібного зносу зображена на рис. 2.

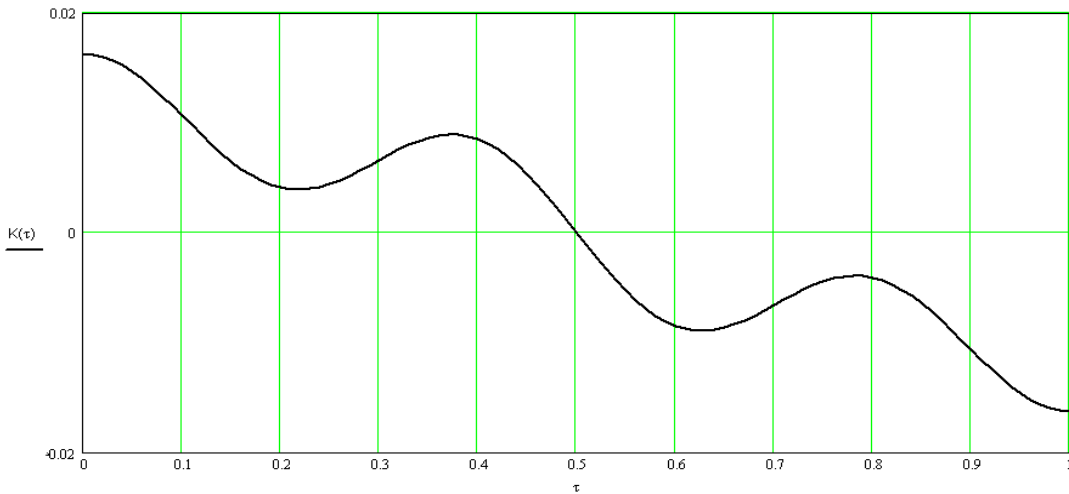


Рис 2. Кореляційна функція хвилеподібного зносу

Цей процес можна розглядати в рамках двох компонентної моделі.

Хвилеподібний знос може знаходитися в наступних стадіях розвитку – відсутність хвилеподібного зносу на рейках з початковими нерівностями та хвилеподібний знос з початко-

вими нерівностями, при тому глибина хвилеподібного зносу значно перевищує глибину початкових нерівностей. Вигляд кореляційної функції при різних параметрах нерівностей наведено на рисунках 3–5.

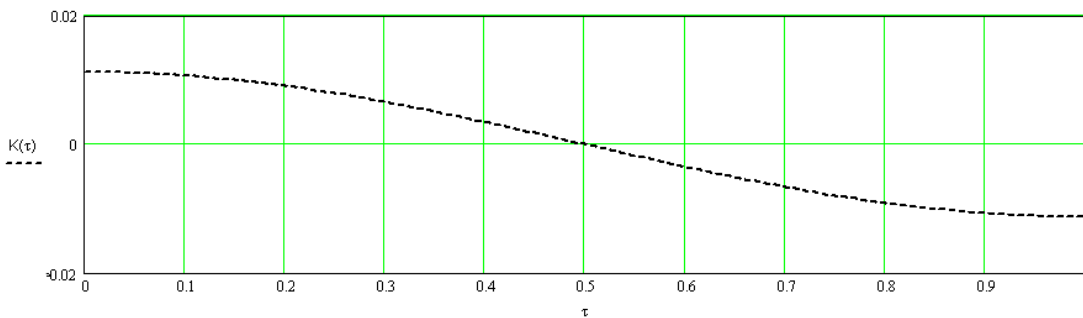


Рис. 3. Кореляційна функція початкових нерівностей з параметрами $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 0$ мм, $L_2 = 0,4$ м

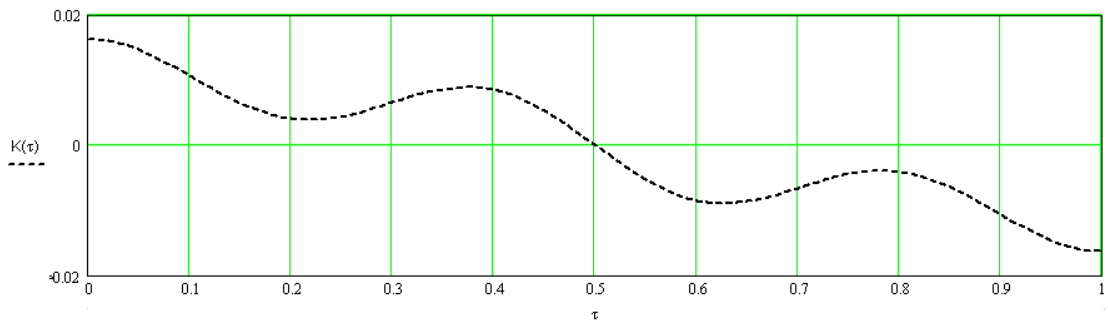


Рис. 4. Кореляційна функція початкових нерівностей та хвилеподібного зносу з параметрами $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 0,2$ мм, $L_2 = 0,4$ м

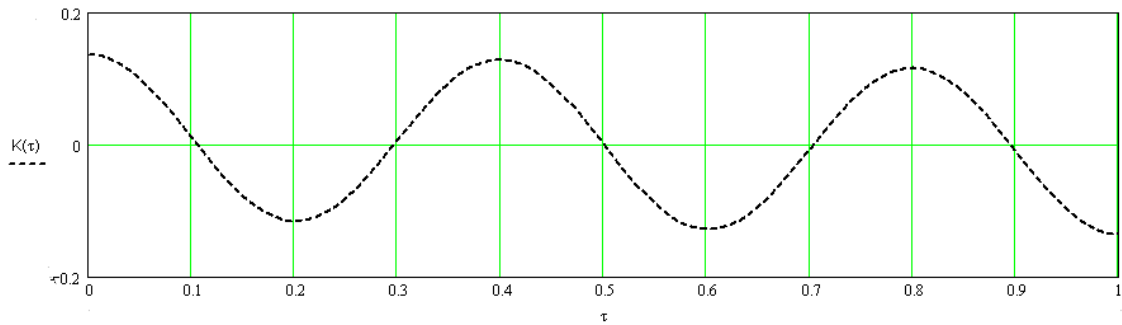


Рис. 5. Кореляційна функція початкових нерівностей та хвилеподібного зносу з параметрами $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 1$ мм, $L_2 = 0,4$ м

Як видно з наведених графіків точка перетину кореляційною функцією 0 визначається домінуючим процесом (рис. 3, 5). При наявності хвилеподібного зносу, глибина якого перевищує глибину початкових нерівностей (рис. 4), точка перетину 0 зсувається у лівий бік.

Виходячи з того, що кореляційна функція наданого процесу є суперпозицією двох кореляційних функцій, що його складають, довжину і глибину нерівностей можна визначити по наступній методиці.

А) *Визначення частотних параметрів.* У разі відсутності нерівностей хвилеподібного зносу графік кореляційної функції являє собою косинус, з частотою, що дорівнює частоті поча-

ткових нерівностей. Точка перетину з 0 (визначимо її як τ_1) – половина періоду довгих нерівностей. У випадку коли довжина початкових нерівностей $L_1 = nL_2$ (де n – ціле) це справедливо і для стадії розвитку хвилеподібного зносу зображеного на рис. 4. В загальному випадку для другого і третього випадку потрібна побудова косинусоїди по трьох характерних точках кореляційної функції ($\tau_{1.1}$, $\tau_{1.2}$, $\tau_{1.3}$), відповідним точкам перегину (рис. 6), які можна визначити взявши другу похідну від кореляційній функції, тобто:

$$\tau_{1.1} = \tau \Big|_{K''(\tau)=0} \quad (4)$$

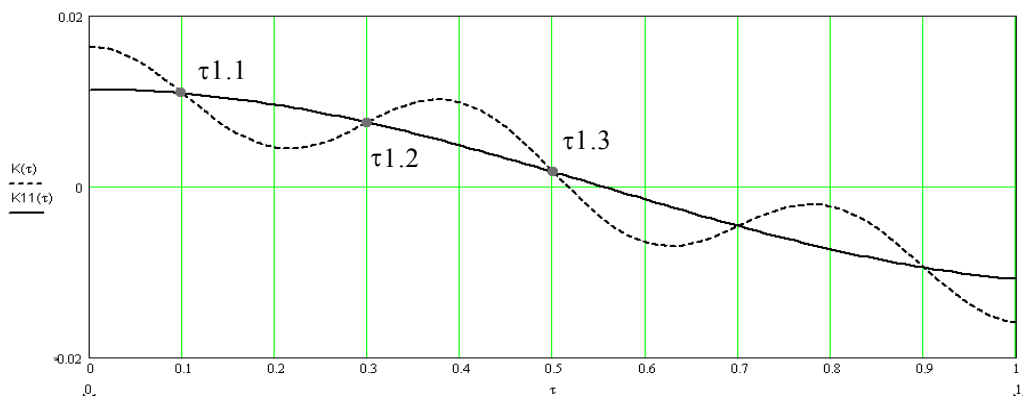


Рис. 6. Побудова кореляційної функції початкових нерівностей

Якщо не будувати косинусоїду, максимальна погрішність визначення довжини початкових нерівностей становитиме чверть періоду коротких нерівностей, що для багатьох випадків допустимо.

Як видно з рис. 6 довжина хвилеподібного зносу визначається по точці $\tau_{1.1}$, яка відповідає чверті довжини середніх нерівностей і її значення дорівнює половині першого локального мінімуму при $\tau = 0,2$ м. Виходячи з того, що частотно початкова функція і її кореляційні моменти пов'язані, точка $\tau_{1.2} = 3\tau_{1.1}$, а точка $\tau_{1.3} = 5\tau_{1.1}$.

Для третьої стадії (рис. 5), коли глибина хвилеподібного зносу значно перевищує глибину початкових нерівностей, точка τ_1 близька до точки $\tau_{1.1}$, тобто визначає швидше довжину середніх нерівностей. Про наявність довгих нерівностей свідчить те що значення в $K(0)$ і модуля першого локального мінімуму відрізняються.

Б) Визначення амплітуди. Відомо, що дисперсія складного процесу дорівнює сумі дисперсій його складових якщо складові між собою не корельовані. Тоді дисперсія процесу дорівнює значенню нульового кореляційного моменту і амплітуда синусоїди, що описує нерівність, буде пов'язана з дисперсією співвідношенням:

$$\sigma^2 = \frac{a^2}{2} = \frac{\left(\frac{A}{2}\right)^2}{2}, \quad (5)$$

де σ – середньоквадратичне значення;
 a – амплітуда процесу, $2a = A$.

Для випадку початкових нерівностей, виходячи з (5), глибина визначається:

$$A_1 = 2\sqrt{2K(0)}. \quad (6)$$

Для другої і третьої стадії розвитку, при розрахунках, із задовільною погрішністю (так як косинус на інтервалі $\tau = 0 \dots \tau_{1.1}$ убуває повільно) можна прийняти:

$$A_1 = 2\sqrt{2K(\tau_{1.1})}; \quad (7)$$

$$A_2 = 2\sqrt{2(K(0) - K(\tau_{1.1}))}, \quad (8)$$

де A_1 і A_2 глибина початкових нерівностей і хвилеподібного зносу відповідно.

Таким чином, застосовуючи кореляційний аналіз для хвилеподібного зносу рейок, як випадкового процесу, можна визначити основні геометричні параметри нерівностей на поверхні катання рейок.