

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОПРОФІЛЮ ДОРОГИ З УРАХУВАННЯМ ЗГЛАДЖУВАННЯ НЕРІВНОСТЕЙ ПНЕВМАТИЧНОЮ ШИНОЮ

Мамонтов А.Г., к.т.н., Реброва А.О., студентка

(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Основним джерелом коливань самохідних машин являються нерівності поверхні дороги. З урахуванням впливу профілю дороги на автомобіль його поділяють на три складові: макропрофіль, мікропрофіль та шорсткість. Найбільший вплив на коливання самохідної машини оказує мікропрофіль дороги, котрий описується як сукупність висот нерівностей, наявність котрих обумовлені видом застосованого матеріалу покриття дороги, а також його технічним станом.

Для дослідження нелінійних динамічних систем останнім часом генерують реалізації випадкових збурювань по заданих статистичних характеристиках.

При описі основних параметрів мікропрофілю використовують статистичні методи, які здебільшого базуються на нормальному законі розподілу ординат мікропрофілю. Мікропрофіль описується випадковою зміною ординат і довжини нерівностей.

При використанні плоскої еквівалентної розрахункової схеми автомобіля профіль поверхні дороги можна описати у вигляді перетину мікропрофілю уздовж дороги. Отже мікропрофіль дороги є випадковою функцією пройденого шляху x . А коливання автомобіля змінюються в часі t і є випадковим процесом. Знаючи, що пройдений шлях x визначається, як добуток швидкості руху V і часу руху t , можна перейти від випадкової функції до випадкового процесу.

Для статистичного опису поздовжнього профілю дороги використовують кореляційну функцію ординат середнього перетину, що має вигляд [1]

$$R_q(x_s) = \sigma_q^2 \cdot \left(A_1 \cdot e^{-\alpha_1 |x_s|} + A_2 \cdot e^{-\alpha_2 |x_s|} \cdot \cos(\beta \cdot x_s) \right), \quad (1)$$

де: σ_q^2 – середньоквадратичні відхилення нерівностей від нульового рівня; A_1, A_2 – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують частки експонентної та періодичної складових, відповідно; $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ – коефіцієнти кореляційного зв'язку для кожного виду профілю.

При моделюванні руху самохідної машини необхідно переходити від випадкової функції $q(x)$ до випадкового процесу $q(t)$, при цьому, переходити від $R_q(x_s)$ до $R_q(t)$.

$$R_q(x_s) = R_q(\tau), \text{ при } x_s = V \cdot t. \quad (2)$$

Таким чином вираження (1) набуває вигляд

$$R_q(\tau) = \sigma_q^2 \cdot \left(A_1 \cdot e^{-\alpha_1 V |\tau|} + A_2 \cdot e^{-\alpha_2 V |\tau|} \cdot \cos(\beta \cdot V \cdot t) \right). \quad (3)$$

При формуванні реалізації мікропрофілю дорожнього полотна

використаємо алгоритм, заснований на лінійному перетворенні послідовності $\xi(t)$ незалежних чисел, у послідовність $q(t)$ з заданими характеристиками. Для отримання дискретних значень висот мікропрофілю, котрі відповідають шагу дискретизації застосуємо формуючий лінійний фільтр [2]

$$\begin{cases} \dot{x} = y + \zeta_2 \cdot \xi(t); \\ \dot{y} = -(\alpha_2^2 + \beta^2) \cdot x - 2 \cdot \alpha_2 \cdot y + [\sqrt{\alpha_2^2 + \beta^2} - 2 \cdot \alpha_2] \cdot \zeta_2 \cdot \xi(t); \\ \dot{z} = -\alpha_1 \cdot z + \zeta_1 \cdot \xi(t). \end{cases} \quad (4)$$

де: $\zeta_1 = A_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_q^2 \cdot \alpha_1}{\tau}}$, $\zeta_2 = A_2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_q^2 \cdot \alpha_2}{\tau}}$ – коефіцієнти, котрі характеризують

профіль дорожнього покриття; $\xi(t)$ – дискретний білий шум; τ – шаг інтегрування.

Шина з дорожнім покриттям взаємодіє по площі, яка обумовлена величиною плями контакту, та одночасно охоплює декілька нерівностей полотна дороги та згладжує їх. Це обумовлює здатність шини знижувати зовнішній вплив, котрий передається зі сторони дороги на самохідну машину.

Вертикальний вплив дороги на колесо виражається середнім значенням функції мікропрофілю на довжині відбитка шини

$$q_{cr}(x) = \frac{1}{l_{ш}} \int_{l_{ш} 1+0,5l_{ш}}^{1+0,5l_{ш}} q(x) dx, \quad (5)$$

де: $l_{ш}$ – довжина плями контакту шини; $q(x)$ – функція котра описує мікропрофіль в повздовжньому напрямку.

Здатність шини згладжувати нерівності мікропрофілю задіється у вигляді передавальної функції динамічної ланки, входом котрої є ордината мікропрофілю опорної поверхні, а виходом – його осереднене значення по площадці плями контакту. Цій динамічній ланці відповідає диференційне рівняння наступного вигляду [2, 3]

$$\ddot{q}_{cr}(t) + \sqrt{2} \cdot K_{пл} \cdot \dot{q}_{cr}(t) + K_{пл}^2 \cdot q_{cr}(t) = K_{пл}^2 \cdot q(t), \quad K_{пл} = (0,9...1,3) \cdot \frac{V}{2 \cdot l_{ш}}, \quad (6)$$

де: V – швидкість руху самохідної машини.

Список використаних джерел

1. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля / Р. В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
2. Белецкий А. В. Моделирование профиля дорожного основания в задаче анализа динамики трансмиссии колесной машины. [Електронний ресурс]. – [2010]. – Режим доступу: <http://sdm.str-t.ru/insertfiles/5.pdf>. – (дата звертання : 25.11.2021).
3. Яценко Н. Н. Новая модель сглаживающей способности шин. Расчет колебаний автомобиля / Н. Н. Яценко, С. П. Рыков // Автомобильная промышленность. – 1992. – № 11. – С.18-21.