

## КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Рожков П. П.<sup>1</sup>, Рожкова С. Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Проведено аналіз вертикальних коливань автотранспортного засобу спеціального призначення.*

**Постановка проблеми.** Досвід експлуатації багатосирих автотранспортних засобів (АТЗ) спеціального призначення показує, що забезпечення плавності ходу в умовах бездоріжжя та ґрунтових доріг є одною з головних умов успішного виконання спеціальних функцій автомобіля. Дослідження характеристик коливань дозволяють розробляти автоматичні системи стабілізації положення вузлів та систем АТЗ.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Теоретичні дослідження у напрямку визначення середньоквадратичного значення вертикальних прискорень підресореної маси ( $\sigma_z$ ) спираються на двохмасову розрахункову схему, що дозволяє визначити величину прискорень лише над віссю, але практичні потреби вимагають прогнозувати рівень вертикальних коливань у будь-якій точці корпусу АТЗ з довільним числом осей.

**Мета статті.** Метою статті є комп'ютерний аналіз прискорень вертикальних коливань підресореної маси АТЗ спеціального призначення в будь-якій точці кузова на конкретному прикладі

**Основні матеріали дослідження.** З попередніх досліджень відомо, що вертикальні коливання  $n$ -осного АТЗ в поздовжній площині можуть бути описані системою диференціальних рівнянь [1]

$$\begin{aligned} M_p \ddot{z} + \dot{z} \sum_{i=1}^n 2\mu_i + z \sum_{i=1}^n 2c_i + \dot{\theta} \sum_{i=1}^n 2\mu_i \ell_i + \theta \sum_{i=1}^n 2c_i \ell_i &= \\ = \sum_{i=1}^n 2(\mu_i \dot{x}_i + c_i x_i); \\ J_y \ddot{\theta} + \dot{\theta} \sum_{i=1}^n 2\mu_i \ell_i^2 + \theta \sum_{i=1}^n 2c_i \ell_i^2 + \dot{z} \sum_{i=1}^n 2\mu_i \ell_i + z \sum_{i=1}^n 2c_i \ell_i &= \\ = \sum_{i=1}^n 2(\mu_i \dot{x}_i + c_i x_i) \ell_i; \\ \frac{1}{2} m_i \ddot{x}_i + \mu_i \dot{x}_i + c_{0i} x_i - \dot{z} \mu_i - z c_i - \dot{\theta} \mu_i \ell_i - \theta c_i \ell_i &= c_{hi} q_i; \\ i=1 \dots n, \end{aligned}$$

де  $z$  - переміщення підресореної маси;

$\theta$  - кут поздовжніх коливань;

$x$  - переміщення непідресореної маси;

$M_p$  - підресорена маса;

$m_i$  - непідресорена маса  $i$ -ої осі;

$c_i$  - жорсткість ресор  $i$ -ої осі;

$c_{hi}$  - жорсткість шин  $i$ -ої осі;

$\mu_i$  - коефіцієнт опору амортизаторів  $i$ -ої осі;

$\ell_i$  - відстань від центру мас до  $i$ -ої осі;

$q$  - ордината висот нерівностей;

$c_{0i} = c_i + c_{hi}$ .

Послідовні перетворення наведеної системи рівнянь в операторній формі дозволило одержати частотні характеристики  $W_z(j\omega)$ ,  $W_\theta(j\omega)$  у виді [2]

$$W_z(j\omega) = \frac{(j\omega)^2 \sum_{m=1}^n e^{-j\omega\tau_m} \sum_{i=0}^{2n+1} B_{mi}(j\omega)^i}{\sum_{i=0}^{2n+4} A_i(j\omega)^i};$$

$$W_\theta(j\omega) = \frac{(j\omega)^2 \sum_{m=1}^n e^{-j\omega\tau_m} \sum_{i=0}^{2n+1} C_{mi}(j\omega)^i}{\sum_{i=0}^{2n+4} A_i(j\omega)^i},$$

де  $A_i, B_{mi}, C_{mi}$  - коефіцієнти поліномів, що функціонально залежать від параметрів підвіски.

Зображення по Лапласу збурюючого впливу, що діє на  $i$ -у вісь, представлено з урахуванням запізнювання щодо впливу на першу вісь у вигляді

$$Q_i(p) = Q_1(p) \cdot e^{-j\tau_i},$$

де  $\tau_i = (\ell_1 - \ell_i)/v$  - величина запізнювання;

$v$  - швидкість руху автотранспортного засобу.

При поперечно-кутових коливаннях частотна характеристика  $W_\psi(j\omega)$  має вигляд [1]

$$W_\psi(j\omega) = \frac{(j\omega^2) \sum_{m=1}^n e^{-j\omega\tau_m} \sum_{i=0}^{2n-1} D_{mi}(j\omega)^i}{\sum_{i=0}^{2n+2} R_i(j\omega)^i},$$

де  $\psi$  - кут поперечних коливань;

$D_{mi}, R_i$  - коефіцієнти поліномів, що функціонально залежать від параметрів підвіски.

Дисперсія прискорення коливань у будь-якій точці  $E$  підресореної маси знайдена в такий спосіб [3]

$$D_{z_E} = D_{z_c} + a_E^2 D_{\dot{\theta}} + b_E^2 D_{\dot{\psi}} + 2a_E D_{z_c \ddot{\theta}},$$

де  $D_{z_E}$  - дисперсія прискорення коливань підресореної маси в точці  $E$ ;

$D_{z_c}$  - дисперсія прискорення вертикальних коливань підресореної маси в центрі мас;

$D_{\dot{\theta}}$  - дисперсія прискорення кутових коливань у поздовжній площині;

$D_{\dot{\psi}}$  - дисперсія прискорення кутових коливань у поперечній площині;

$D_{z_c \ddot{\theta}}$  - дисперсія прискорення взаємних поздовжньо-кутових коливань у поздовжній площині;

$a_E$  - відстань від центру мас до точки  $E$  в поздовжній площині;

$b_E$  - відстань від поздовжньої осі до точки  $E$  в поперечній площині.

Дисперсію випадкового процесу на виході лінійної динамічної системи можна визначити за формулою

$$D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W(j\omega)|^2 S_q(\omega) d\omega,$$

де  $|W(j\omega)|^2$  - квадрат модуля передатної функції;

$S_q(\omega)$  - спектральна щільність дисперсії збурюючого впливу.

Спектральна щільність дисперсії збурюючого впливу для самого загального випадку має вид

$$S_q(\omega) = D_0 v \frac{\omega^2 + \omega_1^2}{\omega^2 (\omega^2 + \omega_2^2)},$$

де  $\omega_1 = v\lambda_1$ ;

$\omega_2 = v\lambda_2$ ;

$\lambda_1, \lambda_2$  - дорожні частоти,  $m^{-1}$ .

Дисперсія прискорень взаємних коливань підресореної маси у вертикальній площині обчислюється за формулою

$$D_{z_c \ddot{\theta}} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} 2 \operatorname{Re} S_{z_c \ddot{\theta}}(\omega) d\omega,$$

де  $S_{z_c \ddot{\theta}}(j\omega) = W_z(-j\omega) W_{\dot{\theta}}(j\omega) \cdot S_q(\omega)$ .

Розрахуємо  $\sigma_{z_E}$  АТЗ спеціального призначення в різних точках корпусу

$$\sigma_{z_E} = \sqrt{D_{z_E}}.$$

Підресорена маса АТЗ складає  $M_p = 11550$  кг, довжина 760 см, ширина 240 см. кількість осей  $n=4$ . Розрахунки виконувалися з кроком по довжині 20 см та по ширині 40 см. Швидкість руху по ґрунтовій дорозі 10 м/с. Відлік відбувається від лівого переднього

краю машини. Центр мас АТЗ розташований на середині по ширині та на відстані 418 см від краю по довжині. Результати розрахунку у вигляді графіку приведені на рис. 1

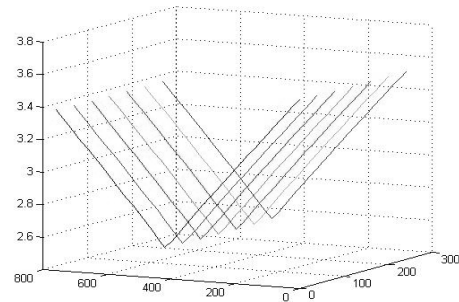


Рисунок 1 - Графік залежності  $\sigma_{z_E}$  від положення точки  $E$  корпусу АТЗ

**Висновки.** Проведені дослідження показали, що прискорення вертикальних коливань є найменшим в центрі мас і суттєво збільшуються по довжині у напрямку країв АТЗ.

#### Список використаних джерел

1. Силаев А.А. Спектральная теория поддресорирования транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 191 с.
2. Рожков П.П., Рожкова С.Э., Алексеев В.О. Получение передаточной функции  $n$ -осной динамической системы автотранспортного средства // Материалы IV-й международной научно-технической конференции “Автомобильный транспорт: Проблемы и перспективы”, Севастополь, 4-8 сентября 2000 г. - С. 163 - 168.
3. Динамика системы “дорога - шина - автомобиль - водитель” / Под ред. А. А. Хачатурова. - М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.

#### Аннотация

### КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рожков П. П., Рожкова С. Е.

*Проведен анализ вертикальных колебаний автотранспортного средства специального назначения.*

#### Abstract

### COMPUTER ANALYSIS OF VERTICAL VIBRATIONS SPECIAL PURPOSE VEHICLES

P. Rozhkov, S. Rozhkova

*Analysis of the vertical vibrations of the special purposes vehicle is conducted.*