

Спірін А.В., канд. техн. наук, доцент,¹
 Борисюк Д.В., асистент,²
 Твердохліб І.В., канд. техн. наук, доцент¹
¹ Вінницький національний аграрний університет
² Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Вступ. Проблема підресорення сидіння в транспортних засобах виникла як самостійна, оскільки підвіска остова не задовольняє при збільшених швидкостях руху машини вимогам санітарно-гігієнічних норм. Якщо підвіска машини забезпечує максимальні значення спектра прискорення остова в місці установки сидіння в межах 8-9 Гц, що відповідає частотному діапазону, сприятливо переносимого людиною, то доцільність в спеціальному підресорюванні сидіння відпадає [1-3]. Щоб забезпечити такий спектр прискорень остова, необхідно істотно ускладнити його підвіску. Тому проблема поліпшення умов праці на транспортних засобах часто вирішується шляхом введення локального підресорення сидіння. Остов транспортного засоба при цьому може мати більш високий рівень прискорень коливань, обмежений граничними значеннями, пов'язаними з довговічністю вузлів ходової частини, рами тощо [4].

Одним з методів усунення шкідливого впливу коливань робочого місця оператора є забезпечення допустимих його амплітудо-частотних характеристик шляхом вибору пружно-в'язких в'язей між коливальними масами в залежності від геометричних параметрів опорної поверхні, по якій рухається машина, геометричними та механічними параметрами рушіїв, швидкості руху, коливальних мас та механічними параметрами в'язей між ними. При цьому керованими залишаються геометричні та механічні параметри рушіїв та механічні властивості в'язей.

Результати дослідження. При аналізі амплітудо-частотних характеристик коливань робочого місця оператора можна ввести деякі припущення та спрощення:

- збурююча дія з боку нерівності опорної поверхні носить гармонічний характер;
- механічні параметри рушія можуть бути представлені двома типами: абсолютно тверде тіло, деформоване тіло з наявними пружно-в'язкими властивостями;
- амплітудо-частотні збурення від рушія можуть передаватись до робочого місця через пружно-в'язкі в'язі, що характеризуються лінійним зв'язком пружних сил з переміщеннями та лінійним зв'язком в'язких сил зі швидкостями переміщень;
- всі коливання розглядаються у вигляді одномірних переміщень.

Передача коливань від опорної поверхні до робочого місця оператора, в загальному випадку може бути представлена багатомасовою системою з пружно-в'язкими в'язями. При цьому вводиться припущення, що розподілені маси зведені до зосереджених. В моделі замінимо всі вертикальні переміщення колеса x_k на z_k . Всі переміщення позначені змінною z . Механічна модель передачі коливань від деформованої опорної поверхні через деформоване колесо та пружно-в'язку підвіску до робочого місця може бути представлена схемою на рис. 1.

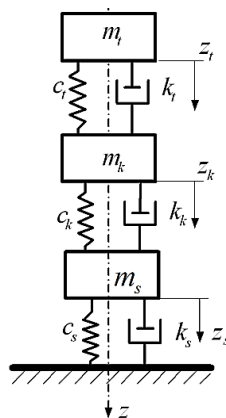


Рис. 1. Схема передачі коливань від деформованої опорної поверхні до робочого місця оператора

На схемі прийняті такі позначення: m_s, z_s, k_s, c_s - приведена маса, переміщення, модуль в'язкості та модуль пружності опорної поверхні; m_k, z_k, k_k, c_k - приведена маса, переміщення, модуль в'язкості та модуль пружності деформованого колеса; m_t, z_t, k_t, c_t - приведена маса робочого місця, переміщення,

модуль в'язкості та модуль пружності пружно-в'язкої підвіски. Для складання рівняння руху елементів системи можна використати класичний підхід з використанням рівняння Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (1)$$

де T - кінетична енергія системи; Π - потенціальна енергія системи; Φ - функція Релея, що характеризує лінійні в'язкі властивості дисипації енергії; Q_i - компоненти узагальнених сил; q_i, \dot{q}_i - узагальнені переміщення та узагальнені швидкості переміщень, відповідно.

Компоненти рівняння Лагранжа мають наступний вигляд:

- кінетична енергія системи:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{q}_i^2; \quad (2)$$

- потенціальна енергія системи:

$$\Pi = \frac{1}{2} c_i q_i^2. \quad (3)$$

Потенціальна енергія системи для гравітаційних сил:

$$\Pi_g = m g q_i. \quad (4)$$

Функція Релея, що характеризує в'язку дисипацію:

$$\Phi = m \dot{q}_i. \quad (5)$$

Узагальнена сила (збурююча сила) для поступального руху є прискоренням:

$$\ddot{z} = \frac{d}{dt} (4k + n) r - \sqrt{-\square^2 + r^2} T v \cos 8tTV = (4k + n) r - \sqrt{-\square^2 + r^2} T v \cos 8tTV. \quad (6)$$

В цьому випадку узагальнена сила з урахуванням прискорення матиме вигляд:

$$Q_i = m z. \quad (7)$$

Кінетична енергія для наведеної вище моделі матиме вигляд:

$$T = \frac{1}{2} m_t z_t'^2 t^2 + m_k z_k'^2 t^2 + m_s z_s'^2 t^2. \quad (8)$$

Потенціальна енергія від дії пружності елементів в'язей:

$$\Pi = \frac{1}{2} c_s z_s t^2 + c_k z_k t^2 - z_k t^2 + c_t z_k t - z_t t^2. \quad (9)$$

Потенціальна енергія гравітаційних сил:

$$\Pi_g = m_t g z_t t + m_k g z_k t + m_s g z_s t, \quad (10)$$

де g - прискорення вільного падіння.

Приймаючи до уваги, що початкові зміщення в момент часу дорівнюють нулю, потенціальна енергія гравітаційних сил також дорівнює нулю:

$$\partial_{z_t t \rightarrow 0, z_k t \rightarrow 0, z_s t \rightarrow 0} \Pi_g = 0.$$

Функція в'язких в'язей Релея:

$$\Phi = \frac{1}{2} k_s z_s' t^2 + k_k z_k' t^2 - z_k' t^2 + k_t z_k' t - z_t' t^2. \quad (11)$$

Переходячи до складових рівняння Лагранжа можна записати для першого доданку для маси m_t :

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} = \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{z}_t} T = m_t \ddot{z}_t = m_t \ddot{z}_t. \quad (12)$$

Перший доданок для колеса маси m_k :

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} = \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{z}_k} T = m_k \ddot{z}_k = m_k \ddot{z}_k. \quad (13)$$

Перший доданок для приведеної до точки контакту маси опорної поверхні, а бо приєднаної маси m_s :

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} = \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{z}_s} T = m_s \ddot{z}_s = m_s \ddot{z}_s. \quad (14)$$

Другий доданок рівняння Лагранжа для випадку, що розглядається для перерахованих вище складових матиме вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial q_i} = \frac{\partial T}{\partial z_t} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial q_i} = \frac{\partial T}{\partial z_k} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial q_i} = \frac{\partial T}{\partial z_s} = 0. \quad (15)$$

Перший доданок правої частини рівняння Лагранжа 2 роду для відповідних мас:

$$\Pi_t = \frac{\partial}{\partial z_t} \Pi + \Pi_g / \Pi_g = 0 = -c z_k t - z_t t; \quad (16)$$

$$\Pi_k = \frac{\partial}{\partial z_k} \Pi + \Pi_g / \Pi_g = 0 = \frac{1}{2} -2c_k -z_k t + z_s t + 2c_t z_k t - z_s t; \quad (17)$$

$$\Pi_s = \frac{\partial}{\partial z_s} \Pi + \Pi_g / \Pi_g = 0 = \frac{1}{2} 2c_s z_s + 2c_k -z_k t + z_s t. \quad (18)$$

Накладені узагальнені сили в'язкості для елементів моделі:

$$\Phi_t = \frac{\partial}{\partial z_t'} \Phi = k_t -z_k' t + z_t' t; \quad (19)$$

$$\Phi_k = \frac{\partial}{\partial z_k'} \Phi = k_k + k_t z_k' t - k_k z_s' t - k_t z_t' t; \quad (20)$$

$$\Phi_s = \frac{\partial}{\partial z_s'} \Phi = -k_k z_k' t + k_k + k_t z_s' t; \quad (21)$$

С урахуванням вище визначених функцій можна записати систему трьох рівнянь:

$$\begin{aligned} m_t z_t'' t &= -c_t z_k t - z_t t - k_t -z_k' t + z_t' t; \\ m_k z_k'' t &= Q_i + \frac{1}{2} 2c_k -z_k t + z_s t - 2c_t z_k t - z_t t - k_k + k_t z_k' t + k_k z_s' t + k_t z_t' t; \\ m_s z_s'' t &= \frac{1}{2} -2c_s z_s t - 2c_k -z_k t + z_s t + k_k z_k' t - k_k z_k' t - k_k + k_s z_s' t. \end{aligned} \quad (22)$$

або в іншій формі запису:

$$\begin{aligned} m_t \ddot{z}_t &= c_t z_k - z_t - k_t -\dot{z}_k + \dot{z}_t; \\ m_k \ddot{z}_k &= Q_i + \frac{1}{2} 2c_k -z_k + z_s - 2c_t z_k - z_t - k_k + k_t \dot{z}_k + k_k \dot{z}_s + k_t \dot{z}_t; \\ m_s \ddot{z}_s &= \frac{1}{2} -2c_s z_s - 2c_k -z_k + z_s + k_k \dot{z}_k - k_k \dot{z}_k - k_k + k_s \dot{z}_s. \end{aligned} \quad (23)$$

Нажаль аналітичного розв'язку системи рівнянь у вигляді (22) і (23) отримати не можливо, тому його можна розв'язати лише чисельним методом.

Чисельне розв'язання отриманого рівняння при різних геометричних параметрах опорної поверхні та колеса, та при різних значеннях механічних властивостей опорної поверхні, модулів пружності та в'язкості, а також відомих значеннях приведених та визначених приєднаних мас дозволяє визначити раціональні величини пружних та в'язких елементів k_t, c_t, k_k, c_k , що забезпечать допустимі амплітудо-частотні характеристики коливань маси m_t , тобто робочого місця оператора.

Література

1. В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин, и Р.С. Музафаров, *Теория автомобиля*. Ижевск, Россия: Изд-во ИжПУ, 2006.
2. В.А. Скотников, А.А. Машенский, и А.С. Солонский, *Основы теории и расчета трактора и автомобиля*. М., Россия: Агропромиздат, 1986.
3. В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов, и др., *Тракторы. Теория*. М., Россия: Машиностроение, 1988.
4. А.Н. Мирошниченко, *Основы теории автомобиля и трактора*. Томск, Россия: Изд-во ТГАСУ, 2014.