

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСОК НА КОЛИВАННЯ ТА ПЛАВНІСТЬ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

С.Г. Чабан, М. О. Гайденко

*Одеський національний політехнічний університет*

*Проведені дослідження амплітудно-частотних характеристик переміщень, швидкостей та прискорень підресорених та невідресорених мас для механічної та пневматичної підвісок при встановленні їх на заданий транспортний засіб агропромислового комплексу. Проводиться аналіз типів підвісок, що використовуються на транспортних засобах агропромислового комплексу, визначається їхній вплив на коливання та плавність руху транспортного засобу агропромислового комплексу і їх зміна при різноманітних характеристиках.*

**Ключові слова:** амплітудно - частотні характеристики переміщень, коливання та плавність руху транспортного засобу агропромислового комплексу

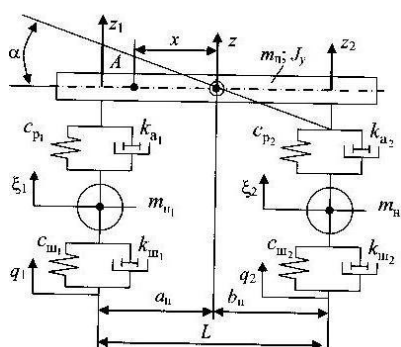
**Вступ.** На транспортний засіб агропромислового комплексу (ТЗАК), що рухається постійно діють зовнішні сили які зумовлюють коливання ТЗАК і всіх його складових частин. Зі збільшенням дорожніх нерівностей та швидкості руху інтенсивність цих коливань збільшується. Це призводить до того що досягнувши свого максимального значення вони стануть причиною руйнації всіх агрегатів ТЗАК. Для того, щоб цього не сталося ТЗАК повинен мати пристрій, який буде тримати коливання в допустимих межах. Основними пристроями, що захищають ТЗАК, водія і вантаж від непомірно великих динамічних впливів дороги і обмежує їх вібронавантаженість допустимим рівнем являється підвіска і шини, а для пасажирів і водія також пружні сидіння [1]. Головною задачею підвіски являється забезпечення плавності руху ТЗАК, дотримання коливань, що діють на водія та пасажирів в допустимих межах, збереження цілісності вантажу та нормальну роботу механізмів ТЗАК.

**Проблема.** Коливання та плавність руху ТЗАК оказують важливий вплив на їх технічний стан, збереження вантажів, самопочуття водія та пасажирів, довговічність вузлів та агрегатів. Плавність руху залежить від дорожніх умов та характеристик підвісок. Тому для конкретних умов експлуатації ТЗАК в умовах поганих доріг та бездоріжжя необхідно проектувати підвіски з необхідними характеристиками. Розрахунок систем підресорювання при випадкових впливах дозволяють амплітудно - частотні характеристики (АЧХ). АЧХ переміщень, швидкостей та прискорень дозволяють визначити вплив основних параметрів підвіски на коливання та динаміку системи корпусу та коліс ТЗАК [2].

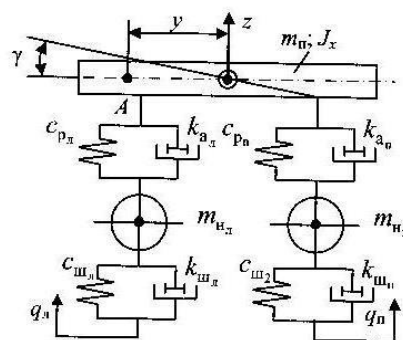
**Мета досліджень.** За допомогою сучасних комп'ютерних технологій дослідити вплив характеристик елементів підвісок на амплітудно – частотні

характеристики переміщень, швидкостей та прискорень підресорених та не підресорених мас.

**Результати досліджень.** Число можливих переміщень мас ТЗАК велике. Несуча частина може сприймати поступальні переміщення впродовж трьох координатних осей та кутові переміщення навколо них. Значення цих переміщень різні. На плавність руху основний вплив здійснюють коливання корпусу ТЗАК в вертикальній та поздовжній площинах, які характеризується поступальним переміщенням впродовж вертикальної осі та кутовими коливаннями навколо поперечної осі. При розробці математичної моделі коливань ТЗАК використовували еквівалентні коливальні системи двухвісного ТЗАК, рисунок 1, 2.



**Рис. 1.** Коливальна система двухвісного ТЗАК в продольній площині.



**Рис. 2.** Коливальна система двухвісного ТЗАК в поперечній площині.

Для того, щоб отримати лінійну модель, припустимо малі відхилення координат від статичного положення, та прийmemo слiдуючі допущення: - колеса ТЗАК мають точковий контакт з поверхнею дороги, тобто координати  $q(t)$  повністю копіюють мікропрофіль; - вантажні характеристики пружин та амортизаторів лінійні (або лінеаризовані), коефіцієнт жорсткості та опору  $C_p, k_a$  постійні ( $i=1,2,3,\dots,2n$ ); - шини ідеалізовані в вигляді пружнодемпферної моделі з постійними коефіцієнтами  $C_\phi, k_\phi$ ; - всі дисипативні сили підвіски, включаючи тертя, враховуються еквівалентними коефіцієнтами опору, що входять в величину  $k_a$ ; - характеристики та параметри підвіски правих та лівих коліс однакові:

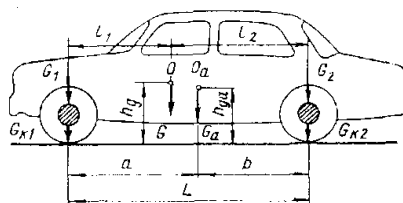
$$C_{pн} = C_{pл}, \quad C_{шн} = C_{шл}, \quad k_{ан} = k_{ал}, \quad k_{шн} = k_{шл}$$

- узагальнений коефіцієнт опору руху машини постійний, вплив мікропрофілю та аеродинамічних сил не враховується. Для складення диференціальних рівнянь використано рівняння динаміки. Рішення цих рівнянь дає систему у вигляді.

$$\ddot{z}_1 + \omega_1^2 z_1 + \eta_{a1} \ddot{z}_2 = \omega_1^2 q_1; \quad \ddot{z}_2 + \omega_2^2 z_2 + \eta_{a2} \ddot{z}_1 = \omega_2^2 q_2. \quad (1)$$

В даній роботі простежується, як змінюються амплітуди коливань підресорених та не підресорених мас при амортизаційно-пружинній підвісці передньої осі на прикладі ТЗАК «Део Леганза», та як вони зміняться при зменшенні жорсткості підвіски. Для описання коливань підресорених та не підресорених частин ТЗАК скористаємося схемою, що представлена на рисунку 3, причому врахуємо, що кількість осей дорівнює двом. Тоді коливальна система значно спроститься і буде включати три

маси: підресорену  $m_{\text{пд}}$ , яка включає масу двигуна, механізмів трансмісії, несучої частини, водія та пасажирів. Ці елементи в сукупності розглядають як тверде тіло, що має дві степені вільності переміщення в вертикальному напрямку та поворот в вертикальній площині. Коливаннями в напрямку продольної осі знехтуємо, тому що суттєвого впливу при сталому русі на вертикальні переміщення вони не здійснюють. Непідресорені маси (задній міст разом з колесами; пружини та карданний вал, маси яких діляться порівну між підресореними та непідресореними частинами, а також передня вісь з колесами) мають по одній степені вільності - вертикальні переміщення. Таким чином, система, що імітує двухвісний ТЗАК має чотири степені вільності. Лінійна модель двухвісної машини отримала багато симетричних систем підвіски різних ТЗАК. Ця модель дозволяє виявити деякі особливості коливань корпусу та встановити важливі залежності між параметрами та характеристиками системи підвіски. Модель двухвісної машини являється основною для оцінки плавності руху багатьох ТЗАК.



**Рис. 3.**Схема ТЗАК категорії  $M_1$

Перед тим як приступити до визначення амплітуд переміщень підресорених та непідресорених мас, потрібно перш за все визначити коефіцієнт

розподілення підресорених мас:  $\varepsilon_y = p_y^2 / l_1 l_2$  (2)

Де  $p_y^2$  — радіус інерції підресореної маси відносно поперечної осі,  $l_1$  та  $l_2$  — відстань від передньої та задньої осей ТЗАК до центра мас. Якщо  $\varepsilon_y = 1$ , тобто  $p_y^2 = l_1 l_2$ , то вертикальні коливання передньої частини корпусу машини перестають бути зв'язаними з вертикальними коливаннями задньої частини. Це значно спрощує дослідження та розрахунок підвіски двухвісного ТЗАК.

При значеннях  $0,8 < \varepsilon_y < 1,2$  зв'язок між вертикальними коливаннями передньої та задньої частини підресореної маси значно малий і ним можна знехтувати. Для ТЗАК звичайної компоновки при повному завантаженні коефіцієнт  $\varepsilon_y$  становить  $0,8 - 1,1$ . Визначимо коефіцієнт  $\varepsilon_y$  для ТЗАК «Део Леганза»:  $\varepsilon_y = I_y / (m_{\text{нд}} l_1 l_2)$  (3)

Де  $I_y = A m_{\text{нд}} L^2$  — момент інерції підресореної маси відносно поперечної осі,  $A$  — дослідний коефіцієнт, який дорівнює для багатьох ТЗАК  $0,13 - 0,22$  [3,4],  $L = 2,67$  м — база ТЗАК. Для ТЗАК в спорядженому стані:

$$l_1 = G_1 L / G_0 = 952 \times 2,67 / 1325 = 1,918 \text{ м}; \quad l_2 = L - l_1 = 2,67 - 1,92 = 0,75 \text{ м}$$

$$p_y^2 = I_y / m_{\text{нд}} = \frac{A m_{\text{нд}} L^2}{m_{\text{нд}}} = A L^2 = 0,2 \times 2,67^2 = 1,43 \text{ м} \cdot \text{с}^2; \quad \varepsilon_y = 1,43 : (1,918 \times 0,75) = 0,99$$

Для ТЗАК при повному завантаженні:

$l_1 = 1.39m$ ;  $l_2 = L - l_1 = 2.67 - 1.39 = 1.28m$ ;  $\varepsilon_y = 1.43 \div (1.39 \times 1.28) = 0.8$  Отже, як видно, коефіцієнт  $\varepsilon_y$  не попадає в потрібні межі для ТЗАК в завантаженому стані, щоб можна було знехтувати коливаннями передньої частини ТЗАК при розгляданні тільки передньої, тому слід враховувати також коливання задньої частини. Для отримання більш точних результатів, коливання задньої частини ТЗАК будемо враховувати і при розрахунку ТЗАК у спорядженому стані. Використовуючи розрахункову схему виводяться рівняння, за допомогою яких описуються коливання підресорених та непідресорених мас, які мають слідуєчий вигляд:

$$m_{nd}\ddot{z}_i + k_{ai}\dot{z}_i + c_{pi}z_i - k_{ai}\dot{\xi}_i - c_{pi}\xi_i = 0 \quad (4)$$

$$m_{nn}\ddot{\xi}_i + (\kappa_{ai} + \kappa_{ui})\dot{\xi}_i + (c_{pi} + c_{ui})\xi_i - \kappa_{ai}\dot{z}_i - c_{pi}z_i = k_{ui}\dot{q}_i + c_{ui}q_i \quad (5)$$

Де  $m_{nd}$  — маса підресорених частин;  $m_{nn}$  — маса непідресорених частин;  $z_i$  — переміщення підресореної маси;  $\xi_i$  — переміщення непідресореної маси;  $k_{ai}$  — коефіцієнт опору підвіски;  $k_{ui}$  — коефіцієнт опору шини;  $c_{pi}$  — жорсткість підвіски;  $c_{ui}$  — жорсткість шини;  $q_i$  — координата поперечного перерізу мікропрофілю дороги. Рішення рівнянь (3) — (5) шукаємо в формі:

$$\begin{aligned} z_1 &= A_1 \sin vt + A_2 \cos vt; \dot{z}_1 = A_1 v \cos vt - A_2 v \sin vt; \ddot{z}_1 = -A_1 v^2 \sin vt - A_2 v^2 \cos vt; \\ \xi_1 &= A_3 \sin vt + A_4 \cos vt; \dot{\xi}_1 = A_3 v \cos vt - A_4 v \sin vt; \ddot{\xi}_1 = -A_3 v^2 \sin vt - A_4 v^2 \cos vt; \\ z_2 &= A_5 \sin vt + A_6 \cos vt; \dot{z}_2 = A_5 v \cos vt - A_6 v \sin vt; \ddot{z}_2 = -A_5 v^2 \sin vt - A_6 v^2 \cos vt; \\ \xi_2 &= A_7 \sin vt + A_8 \cos vt; \dot{\xi}_2 = A_7 v \cos vt - A_8 v \sin vt; \ddot{\xi}_2 = -A_7 v^2 \sin vt - A_8 v^2 \cos vt; \end{aligned} \quad (1.6)$$

Для побудови амплітудно — частотних характеристик, потрібно в програму підставити всі необхідні дані ТЗАК «Део Леганза» при амортизаційно—пружинній підвісці:  $M_0 = 1325$  кг — маса ТЗАК в спорядженому стані;  $M_a = 1830$  кг — маса ТЗАК при повному завантаженні;  $M_{01} = 716$  кг — маса, що приходить на передню частину ТЗАК в спорядженому стані;  $M_{02} = 609$  кг — маса, що приходить на задню частину ТЗАК в спорядженому стані;  $M_{a1} = 952$  кг — маса, що приходить на передню частину ТЗАК при повному завантаженні;  $M_{a2} = 878$  кг — маса, що приходить на задню частину ТЗАК при повному завантаженні;  $m_{nd01} = 615,6$  кг — маса підресорних частин, що приходяться на передню вісь ТЗАК в спорядженому стані;  $m_{nn1} = 100,4$  кг — маса не підресорених частин передньої осі;  $m_{ndA1} = 851,6$  кг — маса підресорених частин, що приходяться на передню вісь ТЗАК при повному завантаженні;  $m_{nd02} = 468,4$  кг — маса підресорених частин, що приходяться на задню вісь ТЗАК в спорядженому стані;  $m_{nn2} = 140,6$  кг — маса не підресорених частин задньої осі;  $m_{ndA2} = 737,4$  кг — маса підресорених частин, що приходяться на задню вісь ТЗАК при повному завантаженні;  $m_{ui}$  — маса колеса. Жорсткість пружини визначаємо за формулою:

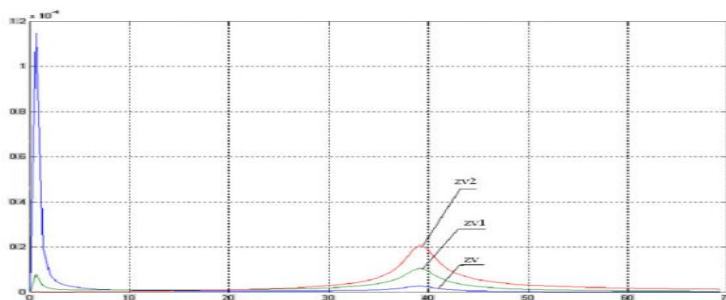
$$C_p = m_{nd} \times \omega_0^2 \quad (7)$$

Де  $\omega_0$  — частота власних коливань ТЗАК. Для ТЗАК категорії  $M_1$  в  $\omega_0 = (0.6 \dots 6.0)c^{-1}$  Тоді :

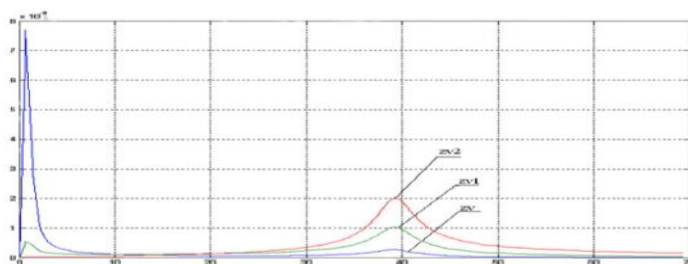
$$C_{p1}^c = 615.6 \times 0.8^2 = 394 \text{ Н/м}; C_{p1}^e = 851.6 \times 0.94^2 = 752 \text{ Н/м};$$

$$C_{p2}^c = 468.4 \times 0.8^2 = 300 \text{ Н/м}; C_{p2}^e = 737.4 \times 0.94^3 = 652 \text{ Н/м}$$

Для побудови амплітудно—частотних характеристик переміщень підресорених та не підресорених мас використовувалась програма MATLAB. По результатам розрахунків побудовані амплітудно—частотні характеристики переміщень, швидкостей та прискорень. В даній роботі приводяться амплітудно—частотні характеристики підресорених мас на прикладі ТЗАК «Део Леганза», які приведені в якості приклада на рисунках 4,5.



**Рис. 4.** АЧХ переміщень ( $z_v$ ), швидкостей ( $z_{v1}$ ), та прискорень ( $z_{v2}$ ) підресореної маси при пружинній підвісці для ТЗАК в спорядженому стані.



**Рис.5.** АЧХ переміщень ( $z_v$ ), швидкостей ( $z_{v1}$ ), та прискорень ( $z_{v2}$ ) підресореної маси при пружинній підвісці для ТЗАК при повному завантаженні.

**Висновки.** Аналіз розрахунків та приведених графіків показав, що при збільшенні жорсткості підвіски в зоні низькочастотного резонанса переміщення не підресорених мас навантаженого ТЗАК значно зменшується. Для не підресорених мас в зоні високочастотного резонансу зі збільшенням жорсткості як переміщення так і прискорення зменшується. При зменшенні жорсткості підвіски як в зоні низькочастотного так і високочастотного резонансу переміщення та прискорення зменшуються, тобто покращується плавність ходу ТЗАК, однак при цьому значно збільшуються переміщення та прискорення не підресорених мас в зоні високочастотного резонансу. Збільшення переміщень та прискорень не підресорених мас погіршує керованість та стійкість, особливо на поворотах. Для покращення плавності ходу необхідно встановлювати регульовані підвіски (підвіски з нелінійними прогресивними характеристиками), які автоматично можуть змінювати жорсткість в залежності від дорожніх умов та швидкості руху ТЗАК. Це можливо виконати на пневматичних, гідравлічних, пневмогідравлічних та електричних підвісках.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Горовой О.Г., Максимов В.Г., Чабан С.Г. Математична модель коливального процесу нелінійної підвіски. Труды ОПУ-О.: -2008, Вип.2. (30)
- 2.Богомоллов В.О., Гелло В.О. Моделі коливань кузова автомобіля у процесі гальмування. УДК 621.015
- 3.Туренко А.Н., В.И. Клименко, В.А. Богомоллов и др. Основы прикладной теории колебаний: учебное пособие. Харьков: ХНАДУ, 2002. – 130 с.
- 4.Thomas Gillespie. Fundamentals of Vehicle Dynamics / T.Gillespie. – Michigan: SAE Press, 1997. – 640 p.

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСОК НА КОЛЕБАНИЯ И ПЛАВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Чабан С.Г., Гайденко М.А.

**Ключевые слова:** амплитудно- частотные характеристики перемещений, колебания и плавность движения средств агропромышленного комплекса.

Резюме

*Проведены исследования амплитудно-частотных характеристик перемещений, скоростей и ускорений подрессоренных и непрорессоренных масс для механической и пневматической подвесок при установке их на заданное транспортное средство агропромышленного комплекса. Проводится анализ типов подвесок, используемых на транспортных средствах агропромышленного комплекса, определяется их влияние на колебания и плавность движения транспортных средств агропромышленного комплекса и их изменение при различных характеристиках.*

**EFFECT OF SUSPENSION PARAMETERS TO FLUCTUATIONS AND SMOOTH MOVEMENT OF VEHICLES FOR AGRICULTURE**

Chaban S.G., Gaidenko M.A.

**Key words:** amplitude - frequency characteristics of movement, vibration and smooth driving.

Summary

*The investigations of the amplitude - frequency characteristics of displacements, velocities and accelerations of the sprung and unsprung mass for mechanical and pneumatic suspension when installed on a given vehicle. Analyzes the types of suspensions used in passenger cars, is determined by their effect on the vibration and smooth movement of the car and change under different specifications.*