

УДК 625.032

*Калиновський А.Я., канд. техн. наук, доц. НУЦЗУ,  
Ларін О.М., д-р техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,  
Ущанівський І.Л., ГУДСНСУ у Львівській обл.,  
Чернобай Г.О., канд. техн. наук, доц. НУЦЗУ*

**ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕРТИКАЛЬНИХ  
ОДНОВІСНИХ КОЛИВАНЬ ВІЗКА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ  
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
ПНЕВМАТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ДРУГІЙ СТУПЕНІ ПІДВІШУВАННЯ**  
(представлено д-ром техн. наук Бодянським Е.В.)

Розглядається побудова математичної моделі одновісних вертикальних коливань візка для транспортування небезпечних вантажів, який має двоступеневе ресорне підвішування підвищеної якості із застосуванням пневмоелементів

**Ключові слова:** вибухонебезпечні вантажі, ступінь ресорного підвішування, коректор жорсткості

**Постановка проблеми.** Для транспортування небезпечних, зокрема, вибухонебезпечних вантажів від місця знаходження до пункту утилізації розроблена конструкція спеціального візка [1], ресорне підвішування якого має характеристики, що задовольняють умовам безпечного транспортування, а відсутність двигуна і трансмісії обумовлює просту, надійну і, головне, недорогу конструкцію (рис. 1).

Головною особливістю конструкції візка є застосування, на відміну від традиційного для автомобілебудування одноступеневого ресорного підвішування, додаткової другої ступені із коректором жорсткості [2–3], динамічні характеристики якої забезпечують умови безпечного транспортування.

Деякі особливості роботи цієї конструкції в умовах реальної експлуатації, що можуть суттєво ускладнити підготовку до транспортування небезпечних вантажів, вирішуються застосуванням однофрових герметичних пневматичних пружних елементів [4] в опорних точках вантажної платформи.

Визначення необхідних параметрів запропонованого ресорного підвішування, від яких суттєво залежать його динамічні вла-

стивості, має бути забезпечено розрахунками на математичній моделі запропонованої конструкції.

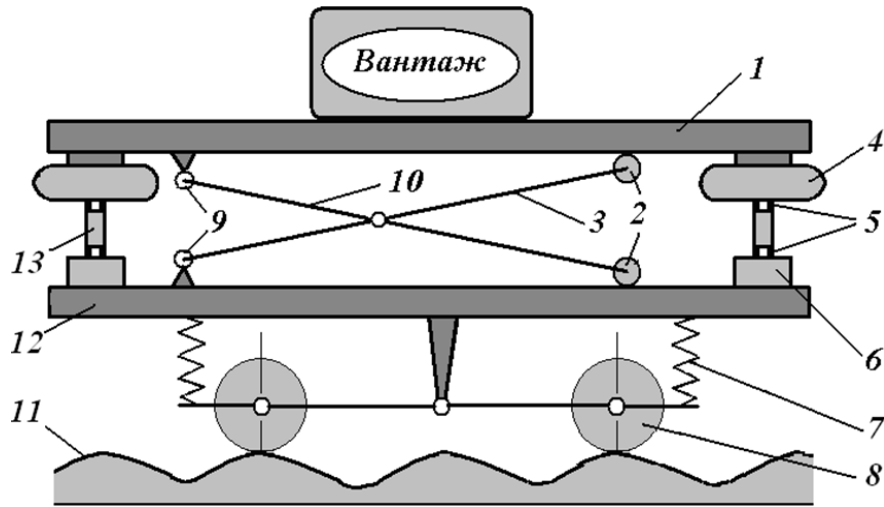


Рис. 1 – Схема конструкції транспортного засобу для перевезення небезпечних вантажів. 1 – вантажна платформа, 2 – опорні котки, 3, 10 – важелі напрямного паралелограму, 4 – гумовокордна одногофрова оболонка, 5 – дросельна шайба, 6 – додатковий резервуар, 7 – пружини першої ступені підвішування, 8 – колеса візка, 9 – шарнірні кріплення важелів напрямного паралелограму, 11 – профіль дороги, 12 – опорна платформа, 13 – повітряний трубопровід

**Постановка завдання та його вирішення.** Маючи на увазі, що вертикальні коливання мають основний вплив на динамічні властивості транспортної системи для попередніх досліджень доцільно провести їх розрахунок на спрощеній одновісній моделі (рис. 2).

Для побудови відповідної математичної моделі візок розглядається як система трьох пружно пов'язаних твердих тіл:

- вантажна платформа разом із приведеною до неї частиною маси другої ступені ресорного підвішування і вантажем, масу яких позначимо  $M_2$ ;

- опорна і поворотна платформи разом із приведеними до них частинами маси другої та першої ступені ресорного підвішування, масу яких позначимо  $M_1$ ;

- колеса візка, сумарну масу яких позначимо  $M_0$ .

При складанні математичної моделі використовуємо абсолютну і локальні системи координат.

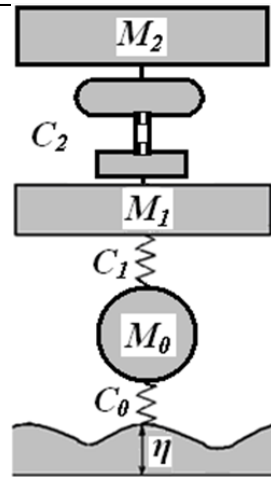


Рис. 2 – Механічна модель для дослідження одновісних вертикальних коливань транспортного засобу для перевезення небезпечних вантажів.  $M_2$  – маса вантажної платформи,  $C_2$  – еквівалентна жорсткість пневмоелементів другої ступені підвішування і коректора жорсткості,  $M_1$  – маса опорної платформи,  $C_1$  – еквівалентна жорсткість торсіонів першої ступені підвішування,  $M_0$  – маса коліс візка,  $C_0$  – еквівалентна жорсткість шин,  $\eta$  – профіль дороги

Нерухома абсолютна система координат  $\xi G \zeta$  (рис.3) розташована на початку траєкторії, де знаходився центр мас вантажної платформи при відсутності вимушеного руху.



Рис. 3 – Абсолютна і локальні системи координат

Локальні системи координат  $XOZ$  (з індексами) пов'язані з центрами мас відповідних твердих тіл, відповідають їх коливан-

ням відносно положень статичної рівноваги і рухаються відносно абсолютної системи координат  $\zeta G \zeta$  з постійною швидкістю  $V$ .

Таким чином, вертикальні одновісні коливання досліджуваної механічної системи визначається наступними координатами:

- вертикальне переміщення вантажної платформи –  $Z_2$  ;
- вертикальне переміщення опорної платформи –  $Z_1$ ;
- вертикальне переміщення колеса візка –  $Z_0$ .

Поздовжній рух системи визначається рівнянням  $X_0 = X_1 = X_2 = X = Vt$ , де  $V$  – швидкість руху,  $t$  – час.

В першій ступені ресорного підвішування запропонованого транспортного засобу прийнята традиційна для автомобілебудування незалежна торсіонна підвіска кожного із чотирьох коліс візка. Сумарну жорсткість торсіонів позначимо  $C_1$ .

Другу ступінь ресорного підвішування, яка складається із чотирьох пружних пневмоелементів і двох коректорів жорсткості, моделюємо пружним елементом, спеціально визначену приведену жорсткість якого позначимо  $C_2 = f(\Delta_2)$ , де  $\Delta_2$  – усереднена деформація пружних елементів другої ступені ресорного підвішування.

Сумарну жорсткість шин позначимо  $C_0$ .

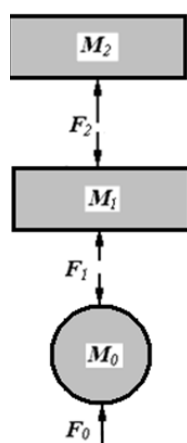


Рис. 4 – Сили, які діють на складові елементи механічної моделі візка.  $M_2$  – маса вантажної платформи,  $F_2$  – сила пружності другої ступені підвішування,  $M_1$  – маса опорної платформи,  $F_1$  – сили пружності в першій ступені підвішування,  $M_0$  – маса коліс візка,  $F_0$  – сили пружності шин

Зважаючи на значно більшу у порівнянні із гумовими шинами жорсткість поверхні дороги в якості збудника вимушених

коливань візка приймаємо абсолютно жорсткій геометричний профіль заданої конфігурації  $\eta = \eta(\xi)$ .

На попередньому етапі досліджень при визначенні власних частот коливань до математичної моделі введені лише сили пружності, які діють на складові елементи візка (рис. 4), а дисипативні сили не враховуємо.

Диференціальні рівняння коливань візка складаються з урахуванням вищенаведеного із використанням загальних положень динаміки

$$\begin{aligned} M_0 \ddot{Z}_0 &= F_0 - F_1; \\ M_1 \ddot{Z}_1 &= F_1 - F_2; \\ M_2 \ddot{Z}_2 &= F_2, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $F_0, F_1, F_2$  – сили, які діють в пружних елементах, дорівнюють

$$\begin{aligned} F_0 &= C_0 \Delta_0; \\ F_1 &= C_1 \Delta_1; \\ F_2 &= C_2 \Delta_2, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2$  – деформації пружних елементів становлять

$$\begin{aligned} \Delta_0 &= \eta - Z_0; \\ \Delta_1 &= Z_0 - Z_1; \\ \Delta_2 &= Z_1 - Z_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким чином, після відповідних перетворень диференціальні рівняння математичної моделі одновісних вертикальних коливань мають вид

$$\begin{aligned} M_0 \ddot{Z}_0 + Z_0 (C_0 + C_1) - Z_1 C_1 - \eta C_0 &= 0; \\ M_1 \ddot{Z}_1 + Z_1 (C_1 + C_2) - Z_0 C_1 - Z_2 C_2 &= 0; \\ M_2 \ddot{Z}_2 + Z_2 C_2 - Z_1 C_2 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Розробка математичної моделі вимушених коливань візка потребує попереднього розрахунку пружної характеристики другої ступені ресорного підвішування (рис. 5).

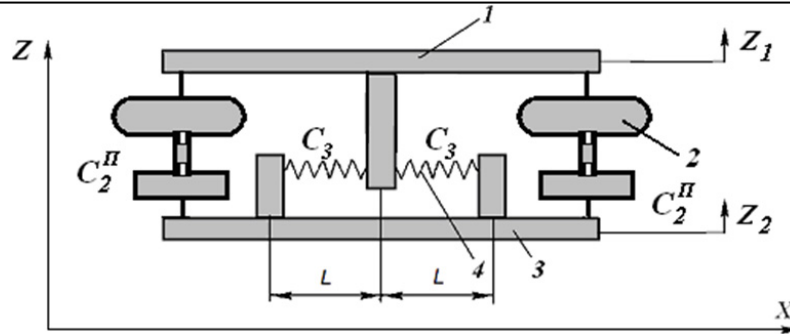


Рис. 5 – Схема конструкції другої ступені ресорного підвішування із застосуванням коректора жорсткості. 1 – вантажна платформа, 2 – пружні елементи другої ступені підвішування, 3 – опорна платформа, 4 – пружини коректора жорсткості

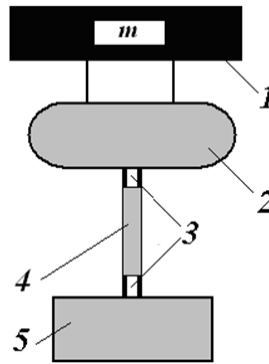


Рис. 6 – Схема опорного елемента другої ступені пневматичного підвішування транспортного засобу для перевезення небезпечних вантажів. 1 – підресорена маса, 2 – гумовококордна однофрива оболонка, 3 – дросельна шайба, 4 – повітряний трубопровід, 5 – додатковий резервуар

Приведена жорсткість комплекту пружинних елементів другої ступені підвішування становить [12]

$$C_2 = C_2(\Delta_2) = 4C_3 \left( 1 - \frac{(L + \delta)L^2}{\sqrt{(L^2 + \Delta_2^2)^3}} \right) + 4C_2^II, \quad (5)$$

де:  $\delta$  – попередній стиск пружин-коректорів,  $C_3$  – жорсткість пружин-коректорів,  $C_2^II$  – жорсткість пневматичного елемента,  $L$  –

конструктивний параметр,  $\Delta_2$  – деформація пружних елементів другої ступені підвішування.

Пневматична система другої ступені ресорного підвішування складається (рис.6) із резервуарів постійного (5) та змінного (2) об'ємів, які зв'язані між собою трубопроводом (4) із встановленими в місцях з'єднання дросельними шайбами (3).

Відповідно до задач цього етапу досліджень при визначенні власних частот коливань пружні характеристики пневматичної системи другої ступені ресорного підвішування (зокрема, жорсткість пневматичного елемента –  $C_2^II$ ), визначаються експериментально і після математичної обробки вводяться в модель відповідним рівнянням

$$C_2^II = f(\Delta_2, P), \quad (6)$$

де  $P$  – тиск в пневматичній системі в положенні статичної рівноваги, що визначається масою вантажу і, відповідно, горизонтальним розташуванням пружин коректорів жорсткості.

**Висновки.** Наведена вище спрощена одновісна математична модель візка для транспортування небезпечних вантажів, який має двоступеневе ресорне підвішування підвищеної якості, складається із трьох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку (4), що визначають параметри руху цієї системи в процесі коливань, котрі спричиняються геометричними нерівностями абсолютно жорсткого профілю дороги заданої конфігурації  $\eta = \eta(\xi)$  і враховують спеціально визначену приведену жорсткість (5, 6) другої ступені ресорного підвішування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ларін О.М. До питання вибору конструкції другої ступені ресорного підвішування несамохідного візка для транспортування небезпечних вантажів / О.М. Ларін, А.Я. Калиновський, С.А. Соколовський, Г.О. Чернобай // Наук. вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. / Науковий журнал №1 (25), 2012 – Київ, 2012. – С. 165 – 167.
2. Виброзащитные системы с квазиулевою жесткостью / [Алабужев П.М. и др.] – Л.: Машиностроение, 1986. 96 с.

3. Зайцев А.А. Перспективный амортизатор для АТС / А.А. Зайцев, С.Ю. Радин, Е.В. Сливинский // Автомобильная промышленность. Машиностроение. – 2007, №9 – С. 26–28.
4. Илюшкин С.Н. Тепловозы узкой колеи с пневматическим рессорным подвешиванием. / С.Н. Илюшкин, Д.Ю. Почтарь, В.М. Адашевский, Г.А. Чернобай // ВНИПИЭИлеспром, 1983, вып. 13, С. 9 – 10.
5. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем / Болотин В.В. – М.: Наука, 1979. – 336 с.
6. Прикладные задачи теории нелинейных колебательных систем / [Гуляев В.И. и др.] – М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.
7. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин / Силаев А.А. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.
8. Соколов Л.М. Механічна модель візка для транспортування небезпечних вантажів / Л.М. Соколов, С.А. Соколовський, Г.О. Чернобай // Вісті Автомобільно–дорожнього інституту: науково–виробничий збірник /АДІ ДонНТУ. – Горлівка, 2012. – № 1(14). – С. 91 – 94.
9. Чернобай Г.О. Побудова математичної моделі просторових коливань візка для транспортування небезпечних вантажів / Г.О. Чернобай, О.М. Ларін, В.Г. Баркалов //Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 135/2012. Серія Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012 – С. 105 – 109.
10. Куценко С.М. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов / Куценко С.М. – Харьков: Вища школа, 1978. – 97 с.
11. Кирпичников В.Г. Применение квазистационарного метода при исследовании термодинамических процессов в системе пневмоподвешивания локомотивов. / В.Г. Кирпичников, В.М. Адашевский // – Весник ХПИ. – Харьков, 1977. №134, С. 3-5.
12. Калиновський А.Я. Визначення пружних характеристик другої ступені рессорного підвішування візка для транспортування небезпечних вантажів із застосуванням коректора жорсткості / А.Я. Калиновський, Ларін О.М., Соколовський С.А. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. - Горлівка, 2012. - № 1(14). - С. 66-69.



Калиновский А.Я., Ларин А.Н., Ущипивский И.Л., Чернобай Г.А.

**Построение математической модели вертикальных одноосных колебаний тележки для транспортировки опасных грузов с применением пневматических элементов во второй ступени подвешивания**

Рассматривается построение математической модели одноосных вертикальных колебаний тележки для транспортировки опасных грузов, которая имеет двухступенчатое рессорное подвешивание повышенного качества с применением пневмоэлементов

**Ключевые слова:** взрывоопасные грузы, ступень рессорного подвешивания, корректор жесткости

Kalinovskiy A.Y., Larin A.N., Ushapivskiy I.L., Chernobay G.A.

**Mathematical model of vertical single-axis vibration trucks for transportation of dangerous goods with the use of pneumatic elements in the second stage suspension**

The construction of a mathematical model of uniaxial heaving trolley transportation of dangerous goods, which has a two-step spring suspension of high quality using pneumoelementov

**Key words:** explosive loads, stage spring suspension, corrector stiffness

**УДК 912+502**

*Карпець К.М., канд. геогр. наук, викл., НУЦЗУ*

**ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ СТАНУ  
ДОВКІЛЛЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ  
СИТУАЦІЙ, ЗАСТОСОВУЮЧИ ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Побудована регресійно-кореляційна формалізована модель забруднення (самоочищення) постійних водотоків міста Харкова. Використовуючи дані моделі, на основі відомих морфометричних показників, можливо визначати геохімічні параметри гідрологічного середовища русел водотоків в будь-яких точках.

**Ключові слова:** модель, водозбірний басейн, морфометричні показники

**Постановка проблеми.** На теперішній час в літературі спеціально не розглядався рельєф у якості чинника самоочищення поверхневого стоку, і в цьому відношенні наша робота є першою такою спробою. Можна вважати, така обставина спричинена