

5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 629.113.001

Проф. Л.В. Крайник, д-р техн. наук;

Доц. О.В. Житенко, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ АВТОВОЗА-ЕВАКУАТОРА

Удосконалено математичну модель коливань автовоза-евакуатора, яка на відміну від існуючих, дала змогу врахувати вплив пружного закріплення автомобіля, а саме коливання його передньої та задньої підвісок для подальшого дослідження плавності та курсової стійкості автовоза-евакуатора.

Ключові слова: математична модель, коливання, автовоз-евакуатор.

Рухомі механічні системи з пружно закріпленими вантажами досить поширені, зокрема і в транспорті. Прикладами можуть бути автовози-евакуатори, дволанкові автовози, двосекційні автобуси і тролейбуси, десантні літаки, залізничні платформи з машинами (комбайнами, тракторами, автомобілями) тощо.

Одним із типових випадків механічних систем з пружно закріпленими вантажами є автовоз-евакуатор. Такий колісний транспортний засіб перевозить легкові автомобілі, що коливаються під час транспортування, тому для об'єктивного дослідження та аналізу руху динамічних процесів, що відбуваються під час руху такої машини, необхідно створити таку математичну модель, яка відтворювала б особливості компонування та взаємодію окремих елементів або ланок реальної коливальної системи. Іншими словами, необхідно врахувати коливання автомобіля (зокрема його передньої та задньої підвісок), що пружно закріплені на платформі автовоза-евакуатора (рис. 1).

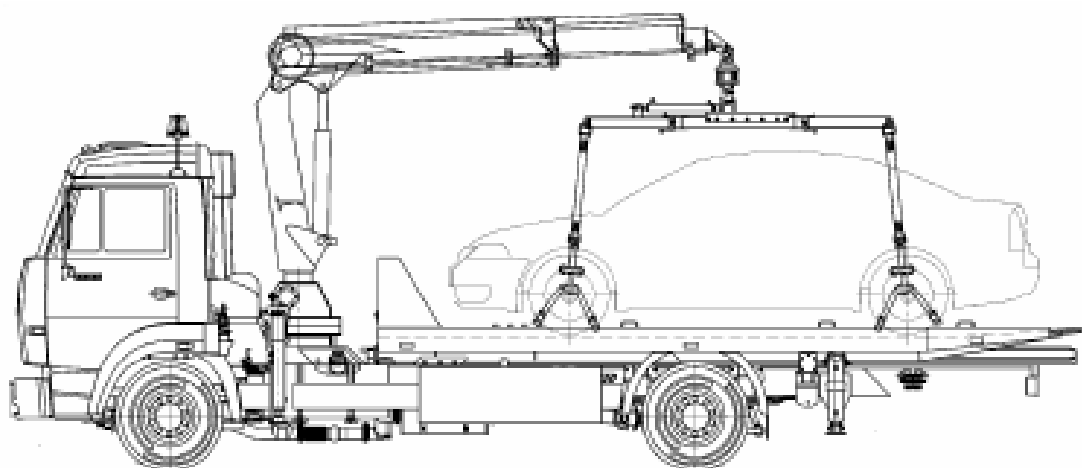


Рис. 1. Автовоз-евакуатор на базі шасі КАМАЗ-4308

Закріплення вантажу визначає поведінку такої колісної машини з погляду стійкості та плавності руху на дорозі. Типове закріплення автомобіля полягає у жорсткому кріпленні коліс до рами спеціальними стягувальними ремнями навколо кожного колеса, що під час транспортування внаслідок ко-

ливань автомобіля-вантажу створює додаткові навантаження – збурення для стійкості та плавності руху самого евакуатора. Тому очевидна доцільність дослідження динаміки вертикальних коливань такого колісного транспортного засобу з урахуванням додатково підпружиненого вантажу.

Питанням дослідження вертикальної динаміки колісних транспортних засобів присвячено чимало наукових праць [1-10]. Досліджують переважно автомобілі та автопоїзди загального призначення. Практично немає досліджень процесів руху колісних машин з урахуванням пружного закріплення вантажів, окрім напівпричепа-автовоза [11], де автомобілі розглядають як окремі дискретні точкові маси, що пружно закріплені на платформах.

Автовоз-евакуатор є складною багатомасовою механічною системою з багатьма ступенями вільності. При цьому задача з визначення деяких параметрів коливань системи є дуже трудомісткою, і для підвищення якості проектування та конструкторської доводки цих машин потрібно застосовувати високу точність і багатоінформаційність розрахунків при побудові математичної моделі, яка повинна визначати основні групи динамічних параметрів. Тому головною проблемою є оптимізація коливних процесів і їх погашення з урахуванням вимог стандартів ІСО 2631-74 і ГОСТ 12.1.012-78, що визначають обмеження на вібрації та коливання, а також інші важливі показники, пов'язані з плавністю руху, стійкістю та керованістю.

Дослідження вертикальної динаміки автовоза-евакуатора (рис. 1) проводимо на основі математичного описування його спрощеної схеми (рис. 2), яка відображає з загальноприйнятими припущеннями [7] особливості конструкції і взаємозв'язок окремих його частин.

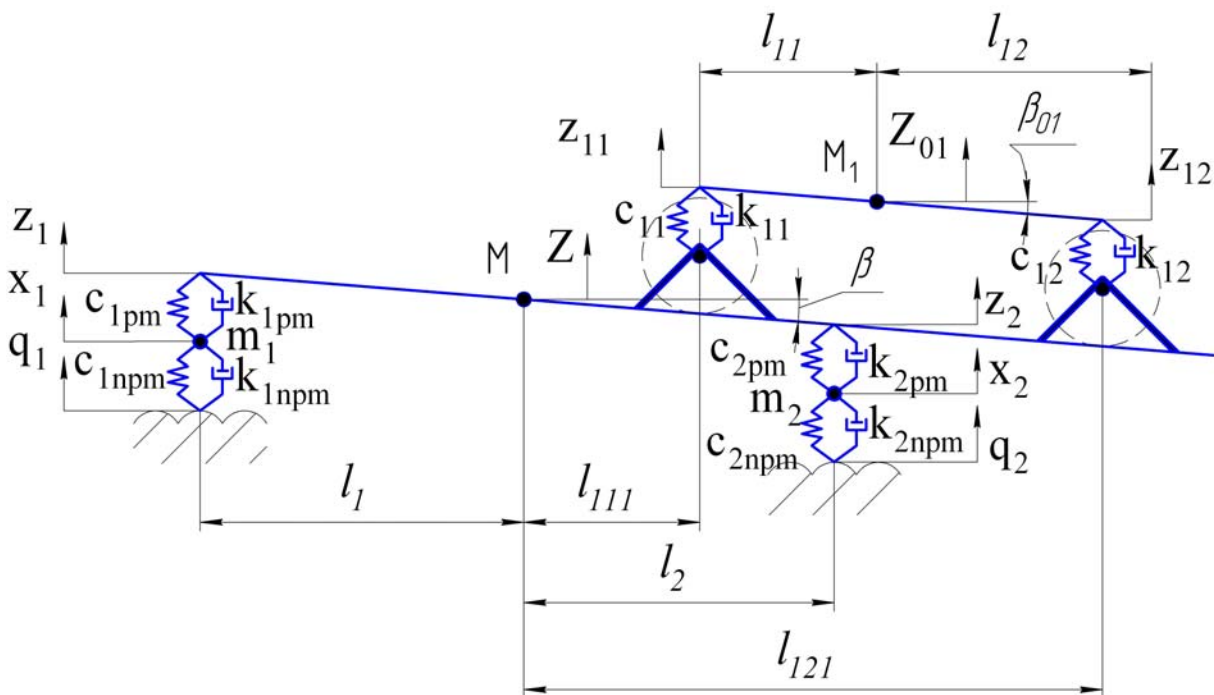


Рис. 2. Розрахункова схема автовоза-евакуатора

Математичну модель динаміки описуємо диференціальними рівняннями з використанням рівняння Лагранжа другого роду (1), які отримують на основі кінематичного і динамічного аналізу конструкції автовоза-евакуатора.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} = \frac{\partial L}{\partial q_j} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_j}, \quad (1)$$

де: T, U, R – відповідно кінетична, потенціальна енергія та дисипативна функції Релея; q_j – узагальнена координата ($j = 1 \dots 4$). Зміщення відраховуємо від положення статичної рівноваги, тоді вид рівнянь не зміниться при дії сили ваги і її можна явно не вказувати.

Запишемо функцію (1) для руху автовоза-евакуатора, вибираючи за координати вертикальні переміщення підресорених z та непідресорених мас x з відповідними індексами згідно з рис. 2. Як збурювальну функцію q для прикладу вибрано профіль одиничної нерівності у вигляді половини синусоїди [5]. Відзначено [5], що, порівнюючи коливання, що спричинені одиничними нерівностями з коливаннями, що викликані профілем дороги, який змінюється за синусоїдальним законом, відмінності є кількісними та незначними. Позначимо також: m_1, m_2 – непідресорені маси відповідних мостів автовоза-евакуатора; M, M_1, I, I_{01} – підресорені маси автовоза-евакуатора та автомобіля на платформі, і їх моменти інерції відносно центральної осі, що проходить перпендикулярно до площини рисунка; $c_{1pm}, c_{2pm}, c_{1npm}, c_{2npm}, c_{11}, c_{12}, k_{1pm}, k_{2pm}, k_{1npm}, k_{2npm}, k_{11}, k_{12}$ – відповідні еквівалентні жорсткості підвісок та шин та їх коефіцієнти в'язкого тертя; $l_1, l_2, l_{11}, l_{12}, l_{111}, l_{121}$ – відповідні геометричні параметри автовоза-евакуатора.

Кінетична енергія системи буде мати такий вигляд:

$$T = \frac{1}{2} M \cdot \dot{Z}^2 + \frac{1}{2} I \cdot \dot{\beta}^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} M_1 \cdot \dot{Z}_{01}^2 + \frac{1}{2} I_{01} \cdot \dot{\beta}_{01}^2, \quad (2)$$

де значення змінних, згідно з рис. 2, будуть мати вигляд:

$$Z = \frac{z_1 l_2 + z_2 l_1}{l_1 + l_2}; \quad Z_{01} = \frac{z_{11} l_{12} + z_{12} l_{11}}{l_{11} + l_{12}}; \quad \beta = \frac{z_1 - z_2}{l_1 + l_2}; \quad \beta_{01} = \frac{z_{11} - z_{12}}{l_{11} + l_{12}}. \quad (3)$$

Потенціальна енергія системи буде мати вигляд:

$$U = \frac{1}{2} c_{1pm} (z_1 - x_1)^2 + \frac{1}{2} c_{1npm} (x_1 - q_1)^2 + \frac{1}{2} c_{2pm} (z_2 - x_2)^2 + \frac{1}{2} c_{2npm} (x_2 - q_2)^2 + \frac{1}{2} c_{11} (z_{11} - (Z - \beta \cdot l_{11}))^2 + \frac{1}{2} c_{12} (z_{12} - (Z - \beta \cdot l_{121}))^2. \quad (4)$$

Дисипативна функція Релея буде мати вигляд:

$$R = \frac{1}{2} k_{1pm} (\dot{z}_1 - \dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} k_{1npm} (\dot{x}_1 - \dot{q}_1)^2 + \frac{1}{2} k_{2pm} (\dot{z}_2 - \dot{x}_2)^2 + \frac{1}{2} k_{2npm} (\dot{x}_2 - \dot{q}_2)^2 + \frac{1}{2} k_{11} (\dot{z}_{11} - (\dot{Z} - \dot{\beta} \cdot l_{11}))^2 + \frac{1}{2} k_{12} (\dot{z}_{12} - (\dot{Z} - \dot{\beta} \cdot l_{121}))^2. \quad (5)$$

Для прийнятої розрахункової схеми (рис. 2) з використанням рівняння Лагранжа другого роду отримано систему диференціальних рівнянь (2), що описують вертикальні коливання дволанкового автовозу з врахуванням пружних властивостей вантажу:

$$\begin{aligned}
 \mu_{11} \cdot \ddot{z}_1 + \mu_{12} \cdot \ddot{z}_2 + k_{1pm}(\dot{z}_1 - \dot{x}_1) + c_{1pm}(z_1 - x_1) &= 0 \\
 \mu_{21} \cdot \ddot{z}_1 + \mu_{22} \cdot \ddot{z}_2 + k_{2pm}(\dot{z}_2 - \dot{x}_2) + c_{2pm}(z_2 - x_2) &= 0 \\
 m_1 \cdot \ddot{x}_1 + k_{1npm}(\dot{x}_1 - \dot{q}_1) + c_{1npm}(x_1 - q_1) &= 0 \\
 m_2 \cdot \ddot{x}_2 + k_{2npm}(\dot{x}_2 - \dot{q}_2) + c_{2npm}(x_2 - q_2) &= 0 \\
 \mu_{111} \cdot \ddot{z}_{11} + \mu_{112} \cdot \ddot{z}_{12} + k_{11}(\dot{z}_{11} - (\dot{Z} - \dot{\beta} \cdot l_{111})) + c_{11}(z_{11} - (Z - \beta \cdot l_{111})) &= 0 \\
 \mu_{211} \cdot \ddot{z}_{11} + \mu_{212} \cdot \ddot{z}_{12} + k_{12}(\dot{z}_{12} - (\dot{Z} - \dot{\beta} \cdot l_{121})) + c_{12}(z_{12} - (Z - \beta \cdot l_{121})) &= 0,
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

де зведені маси μ , які приведені відповідно до підвісок автовоза-евакуатора й автомобіля мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 \mu_{11} &= \frac{M \cdot l_2^2 + I}{(l_1 + l_2)^2} \quad \mu_{12} = \mu_{21} = \frac{M \cdot l_1 \cdot l_2 - I}{(l_1 + l_2)^2} \quad \mu_{22} = \frac{M \cdot l_1^2 + I}{(l_1 + l_2)^2} \\
 \mu_{111} &= \frac{M_1 \cdot l_{12}^2 + I_{01}}{(l_{11} + l_{12})^2} \quad \mu_{112} = \mu_{211} = \frac{M_1 \cdot l_{11} \cdot l_{12} - I_{01}}{(l_{11} + l_{12})^2} \quad \mu_{212} = \frac{M_1 \cdot l_{11}^2 + I_{01}}{(l_{11} + l_{12})^2}.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

За допомогою комп'ютерного моделювання у середовищі системи MATLAB R2007 b, за експлуатаційної швидкості автовоза-евакуатора ($V = 40 \text{ км/год}$), отримано графіки коливань цієї системи (рис. 3).

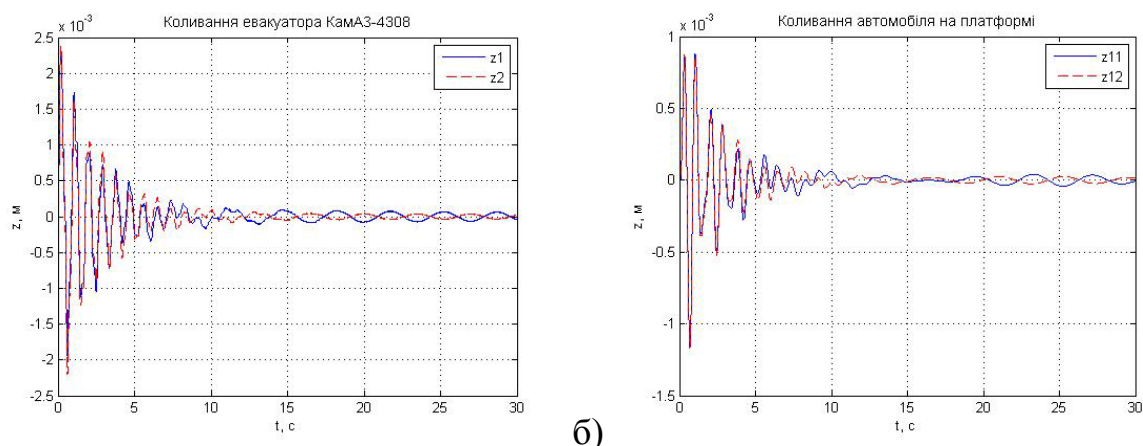


Рис. 3. Коливання автовоза-евакуатора з автомобілем на платформі а) та автомобіля на платформі евакуатора б)

Отже, у цій роботі вдосконалено математичну модель коливань автовоза-евакуатора, яка, на відміну від існуючих, дала змогу врахувати вплив пружного закріплення автомобіля, а саме коливання його передньої та задньої підвісок для подальшого дослідження його плавності руху.

Література

1. **Закин Я.Х.** Прикладная теория движения автопоезда / Я.Х. Закин. – М. : Вид-во "Транспорт", 1967. – 225 с.
2. **Литвинов А.С.** Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1989. – 240 с.
3. **Mitschke M.** Dynamik der kraftfahrzeuge / M. Mitschke. – Berlin – Heidelberg. – New-York. Springer, Verlag, 1972. – 529 с.
4. **Певзнер Я.М.** Колебания автомобиля / Я.М. Певзнер, Г.Г. Гридасов, А.Д. Конев и др. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1979. – 208 с.

5. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1972. – 392 с.

6. Силаев А.А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин / А.А. Силаев. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1972. – 192 с.

7. Хачатуров А.А. Динамика системы "дорога – шина – автомобиль – водитель" / А.А. Хачатуров. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1976. – 535 с.

8. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М. : Изд-во "Машгиз", 1950. – 214 с.

9. Яценко Н.Н. Плавность хода грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко, О.К. Прутчиков. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1969. – 219 с.

10. Житенко О.В. Сучасний стан дослідження коливань та плавності ходу колісних транспортних засобів / О.В. Житенко // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.10. – С. 103-107.

11. Житенко О.В. Обґрунтування компонувальних параметрів дволанкових автовозів з врахуванням динаміки і плавності руху : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. – Львів, 2010. – 20 с.

Крайник Л.В., Житенко О.В. Математическое моделирование динамики автовоза-эвакуатора

Усовершенствована математическая модель колебаний автовоза-эвакуатора, которая, в отличие от существующих, учитывает влияние упругого закрепления автомобиля, а именно колебания его передней и задней подвесок для дальнейшего исследования плавности и курсовой устойчивости автовоза-эвакуатора.

Ключевые слова: математическая модель, колебания, автовоз-эвакуатор.

Krainyk L.V., Zhytenko O.V. Mathematical modeling of vehicle dynamics for the transport of cars

Improved mathematical model of vibrations of the vehicle for the transport of cars, in contrast to existing models consider the effect of the elastic fixing the car, namely fluctuations in the front and rear suspensions for further study of oscillations and stability of the wheeled vehicle.

Keywords: mathematical model, the fluctuations, the vehicle for transportation vehicles.

УДК 674-412:674.09:519.87

Доц. А.Я. Вус¹, канд. фіз.-мат. наук;
доц. В.О. Маєвський², канд. техн. наук

МОДИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМИ ПОВЕРХНІ РЕАЛЬНОЇ КОЛОДИ З ЯВНИМИ ЛОКАЛЬНИМИ ВАДАМИ І ДЕФЕКТАМИ ФОРМИ КОЛОДИ

Розглянуто особливості модифікації математичної моделі форми поверхні реальної колоди, що передбачає реалізацію процедури згладжування явних локальних вад і дефектів форми колоди у вигляді виступів та впадин на поверхні колоди. Запропонована процедура запобігає випадкам, коли попадання точок сканування на наявні на поверхні колоди локальні вади чи дефекти форми колоди призводить до певного необґрунтованого зміщення геометричної (регресійної) осі колоди.

Ключові слова: колода, локальна вада, дефект форми колоди, виступ, впадина, згладжування, поперечний перетин, форма поверхні, геометрична (регресійна) вісь колоди.

Постановка проблеми та актуальність досліджень. Проблема раціонального розпилювання лісоматеріалів (колод) на пилопродукцію є склад-

¹ Львівський НУ ім. Івана Франка;

² НЛТУ України, м. Львів