

I.B. Кузьо, O.B. Житенко
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра теоретичної механіки

ВПЛИВ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАНТАЖУ НА ДИНАМІКУ ДВОЛАНКОВОГО АВТОВОЗУ

© Кузьо I.B., Житенко O.B., 2008

Розроблено математичну модель руху дволанкового автовозу як багатомасової системи з метою дослідження випадкових коливань у вертикальній площині при рівномірному русі, що характеризується заданою функцією мікропрофілю, при цьому основна увага була спрямована на визначення коливань при випадковому збуренні дороги.

The mathematical model of motion an autocart is developed as a multimass system with the purpose of research of casual vibrations in a vertical plane at even motion on a road, which is, characterized the set spectral function, here basic attention was directed on determination of vibrations at to casual indignation.

1. Постановка проблеми. Приріст об'ємів перевезень легкових автомобілів, пов'язаний із всебічним економічним розвитком нашої держави, обумовлює необхідність розроблення і виробництва власної спеціалізованої техніки – дволанкових автовозів, а також підвищення продуктивності їхньої праці.

Перспективним напрямком є використання напівпричепів (рис. 1) зі складним навісним устаткуванням, що являє собою складну систему трапів, які можуть здійснювати операції підймання–опускання та набувати положень під різними кутами відповідно до поставлених експлуатаційних задач; керування здійснюється за допомогою гідравліки, пневматики чи електрики.

Для розроблення та виготовлення таких напівпричепів необхідно проводити глибокі наукові дослідження, насамперед щодо вибору компоувальної схеми і конструктивних параметрів для забезпечення відповідних показників керованості, стійкості і плавності ходу.

Вертикальна динаміка впливає безпосередньо на швидкісні, вагові, компоувальні і міцнісні параметри автовозу, тому є доволі актуальним завданням.

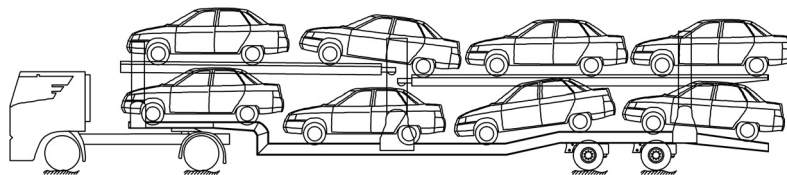


Рис. 1. Дволанковий автовоз

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні більшість інформації щодо дослідження цього виду техніки є закритого типу, є власністю фірм-виробників, у відкритому друці вони представлені в основному для вантажних автомобілів і автопоїздів загального призначення [1]. Ця робота є логічним продовженням досліджень, опублікованих у працях [2, 3] з дослідження вертикальної динаміки автовозу, проте тут вже враховуються пружні властивості вантажу; в роботі [4] була спроба дослідити подібного роду питання, імітуючи кузов автомобіля резонансно-маятниковим пристроєм.

3. Постановка задачі. Вертикальну динаміку дволанкового автовозу (рис. 1) досліджуватимемо за допомогою математичного опису його спрощеної схеми (рис.2), яка відображає із загальноприйнятими в динаміці АТЗ допущеннями [5] особливості конструкції і взаємозв'язок окремих його частин.

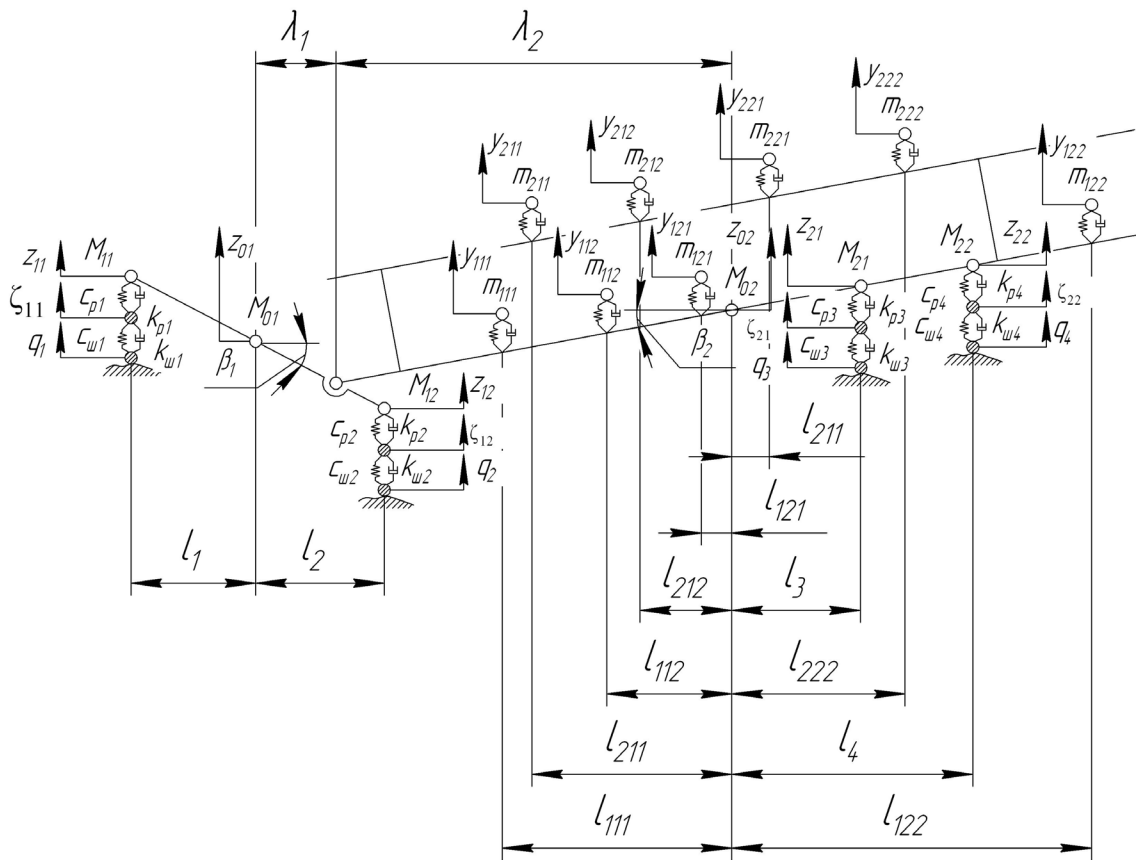


Рис. 2. Спрощена розрахункова схема дволанкового автовозу:

z, ζ, y – відповідно переміщення підресорених і невідресорених мас автовозу та кузовів автомобілів з відповідними індексами; q_{1-4} – збурення дороги (імпульс – перешкода типу "сходінка" [6]); m – невідресорені маси відповідних мостів автовозу; M_{11-22}, J_{1-2} – підресорені маси тягача і причепу та їх моменти інерції відносно осі, що проходить перпендикулярно до площини рисунка; $c_{p1-p4}, c_{ш1-ш4}, k_{p1-p4}, k_{ш1-ш4}$ – відповідно еквівалентні жорсткості підвісок і коефіцієнти в'язкого тертя автовозу; $c_{1p111} - c_{2p222}, k_{1p111} - k_{2p222}$ – відповідно еквівалентні жорсткості підвісок і коефіцієнти в'язкого тертя кузовів автомобілів, що транспортуються; $\lambda_{1-2}, l_{1-4}, l_{111-222}, \beta_{1-2}$ – відповідні геометричні і коливні параметри системи

4. Виклад основного матеріалу. В основу математичної моделі покладено рівняння Лагранжа 2-го роду :

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

де $L = T - U$ – функція Лагранжа; T, U, R – відповідно кінетична, потенціальна енергія та дисипативна функція; q_j – узагальнена координата.

Функцію (1) запишемо, вибираючи за координати вертикальні переміщення підресорених і невідресорених мас системи, тоді кінетична енергія матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 T = & \frac{1}{2} M_{01} \dot{z}_{01}^2 + \frac{1}{2} J_1 \dot{\beta}_1^2 + \frac{1}{2} m_{11} \dot{\varsigma}_{11}^2 + \frac{1}{2} m_{12} \dot{\varsigma}_{12}^2 + \frac{1}{2} M_{02} \dot{z}_{02}^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\beta}_2^2 + \frac{1}{2} m_{21} \dot{\varsigma}_{21}^2 + \\
 & + \frac{1}{2} m_{22} \dot{\varsigma}_{22}^2 + \frac{1}{2} m_{111} \dot{y}_{111}^2 + \frac{1}{2} m_{112} \dot{y}_{112}^2 + \frac{1}{2} m_{121} \dot{y}_{121}^2 + \frac{1}{2} m_{122} \dot{y}_{122}^2 + \frac{1}{2} m_{211} \dot{y}_{211}^2 + \\
 & + \frac{1}{2} m_{212} \dot{y}_{212}^2 + \frac{1}{2} m_{221} \dot{y}_{221}^2 + \frac{1}{2} m_{222} \dot{y}_{222}^2.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Значення змінних згідно з позначеннями рис. 2 матимуть вигляд:

$$z_{01} = \frac{z_{11} l_2 + z_{12} l_1}{l_1 + l_2}; \quad z_{02} = z_{01} - \beta_1 l_1 + \beta_2 l_2; \quad \beta_1 = \frac{z_{11} - z_{12}}{l_1 + l_2}; \quad \beta_2 = \frac{z_{21} - z_{22}}{l_3 - l_4}; \tag{3}$$

Потенціальна енергія системи набуде вигляду:

$$\begin{aligned}
 U = & \frac{1}{2} c_{p1} (z_{11} - \varsigma_{11})^2 + \frac{1}{2} c_{p2} (z_{12} - \varsigma_{12})^2 + \frac{1}{2} c_{u1} (\xi_{11} - q_{11})^2 + \frac{1}{2} c_{u2} (\varsigma_{12} - q_{12})^2 + \\
 & + \frac{1}{2} c_{p3} (z_{21} - \varsigma_{21})^2 + \frac{1}{2} c_{p4} (z_{22} - \varsigma_{22})^2 + \frac{1}{2} c_{u3} (\varsigma_{21} - q_{21})^2 + \frac{1}{2} c_{u4} (\varsigma_{22} - q_{22})^2 + \\
 & + \frac{1}{2} c_{p111} (y_{111} - (z_{02} - \beta_2 l_{111}))^2 + \frac{1}{2} c_{p211} (y_{211} - (z_{02} - \beta_2 l_{211}))^2 + \\
 & + \frac{1}{2} c_{p112} (y_{112} - (z_{02} - \beta_2 l_{112}))^2 + \frac{1}{2} c_{p212} (y_{212} - (z_{02} - \beta_2 l_{212}))^2 + \\
 & + \frac{1}{2} c_{p121} (y_{121} - (z_{02} - \beta_2 l_{121}))^2 + \frac{1}{2} c_{p222} (y_{222} + (z_{02} - \beta_2 l_{222}))^2 + \\
 & + \frac{1}{2} c_{p122} (y_{122} + (z_{02} - \beta_2 l_{122}))^2 + \frac{1}{2} c_{p221} (y_{221} + (z_{02} - \beta_2 l_{221}))^2.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Дисипативна функція (функція Релея) набуде вигляду:

$$\begin{aligned}
 R = & \frac{1}{2} k_{p1} \left(\dot{z}_{11} - \dot{\varsigma}_{11} \right)^2 + \frac{1}{2} k_{p2} \left(\dot{z}_{12} - \dot{\varsigma}_{12} \right)^2 + \frac{1}{2} k_{u1} \left(\dot{\varsigma}_{11} - \dot{q}_{11} \right)^2 + \frac{1}{2} k_{u2} \left(\dot{\varsigma}_{12} - \dot{q}_{12} \right)^2 + \\
 & + \frac{1}{2} k_{p3} \left(\dot{z}_{21} - \dot{\varsigma}_{21} \right)^2 + \frac{1}{2} k_{p4} \left(\dot{z}_{22} - \dot{\varsigma}_{22} \right)^2 + \frac{1}{2} k_{u3} \left(\dot{\varsigma}_{21} - \dot{q}_{21} \right)^2 + \frac{1}{2} k_{u4} \left(\dot{\varsigma}_{22} - \dot{q}_{22} \right)^2 + \\
 & + \frac{1}{2} k_{p111} \left(\dot{y}_{111} - \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{111} \right) \right)^2 + \frac{1}{2} k_{p211} \left(\dot{y}_{211} - \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{211} \right) \right)^2 + \\
 & + \frac{1}{2} k_{p112} \left(\dot{y}_{112} - \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{112} \right) \right)^2 + \frac{1}{2} k_{p212} \left(\dot{y}_{212} - \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{212} \right) \right)^2 + \\
 & + \frac{1}{2} k_{p121} \left(\dot{y}_{121} - \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{121} \right) \right)^2 + \frac{1}{2} k_{p222} \left(\dot{y}_{222} + \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{222} \right) \right)^2 + \\
 & + \frac{1}{2} k_{p122} \left(\dot{y}_{122} + \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{122} \right) \right)^2 + \frac{1}{2} k_{p221} \left(\dot{y}_{221} + \left(\dot{z}_{02} - \dot{\beta}_2 l_{221} \right) \right)^2.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Отже, для прийнятої розрахункової схеми автовозу з використанням рівняння Лагранжа 2-го роду отримаємо систему диференціальних рівнянь, що описують вертикальні коливання дволанкового автовозу:

$$\begin{aligned}
 \mu_{11} \ddot{z}_{11} + \mu_{12} \ddot{z}_{12} + \mu_{13} \ddot{z}_{21} + \mu_{14} \ddot{z}_{22} + c_{p1} (z_{11} - \varsigma_{11}) + k_{p1} \left(\ddot{z}_{11} - \ddot{\varsigma}_{11} \right) &= 0 \\
 \mu_{21} \ddot{z}_{11} + \mu_{22} \ddot{z}_{12} + \mu_{23} \ddot{z}_{21} + \mu_{24} \ddot{z}_{22} + c_{p2} (z_{12} - \varsigma_{12}) + k_{p2} \left(\ddot{z}_{12} - \ddot{\varsigma}_{12} \right) &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{31} \ddot{z}_{11} + \mu_{32} \ddot{z}_{12} + \mu_{33} \ddot{z}_{21} + \mu_{34} \ddot{z}_{22} + c_{p3}(z_{21} - \zeta_{21}) + k_{p3}(\ddot{z}_{21} - \ddot{\zeta}_{21}) &= 0 \\
\mu_{41} \ddot{z}_{11} + \mu_{42} \ddot{z}_{12} + \mu_{43} \ddot{z}_{21} + \mu_{44} \ddot{z}_{22} + c_{p4}(z_{22} - \zeta_{22}) + k_{p4}(\ddot{z}_{22} - \ddot{\zeta}_{22}) &= 0 \\
m_{11} \ddot{\zeta}_{11} + c_{p1}(\zeta_{11} - z_{11}) + c_{u1}(\zeta_{11} - q_{11}) + k_{p1}(\ddot{\zeta}_{11} - \ddot{z}_{11}) + k_{u1}(\ddot{\zeta}_{11} - \ddot{q}_{11}) &= 0 \\
m_{12} \ddot{\zeta}_{12} + c_{p2}(\zeta_{12} - z_{12}) + c_{u2}(\zeta_{12} - q_{12}) + k_{p2}(\ddot{\zeta}_{12} - \ddot{z}_{12}) + k_{u2}(\ddot{\zeta}_{12} - \ddot{q}_{12}) &= 0 \\
m_{21} \ddot{\zeta}_{21} + c_{p3}(\zeta_{21} - z_{21}) + c_{u3}(\zeta_{21} - q_{21}) + k_{p3}(\ddot{\zeta}_{21} - \ddot{z}_{21}) + k_{u3}(\ddot{\zeta}_{21} - \ddot{q}_{21}) &= 0 \\
m_{22} \ddot{\zeta}_{22} + c_{p4}(\zeta_{22} - z_{22}) + c_{u4}(\zeta_{22} - q_{22}) + k_{p4}(\ddot{\zeta}_{22} - \ddot{z}_{22}) + k_{u4}(\ddot{\zeta}_{22} - \ddot{q}_{22}) &= 0
\end{aligned} \tag{6}$$

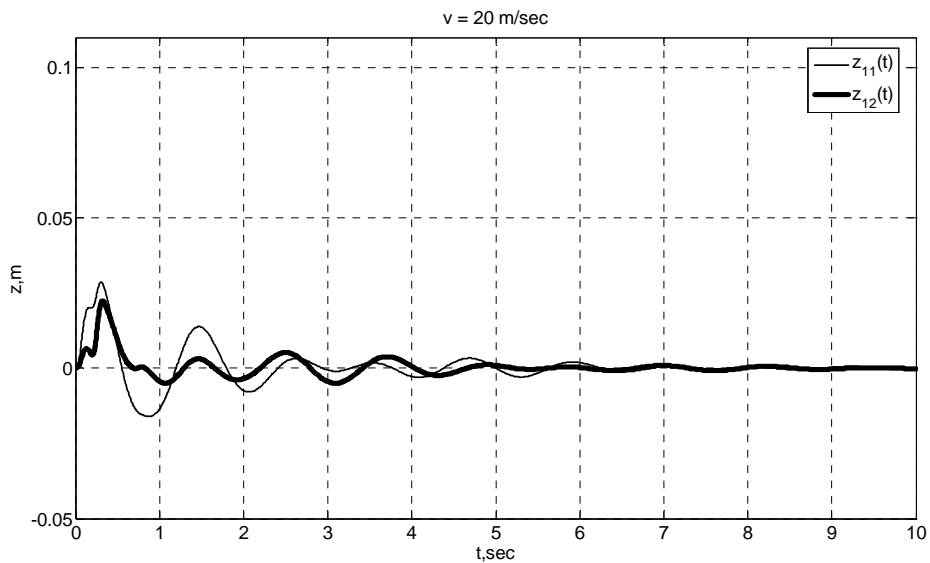
$$\begin{aligned}
m_{111} \ddot{y}_{111} + c_{p111}(y_{111} - (z_{02} - \beta_2 l_{111})) + k_{p111} \left(\ddot{y}_{111} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{111} \right) \right) &= 0 \\
m_{211} \ddot{y}_{211} + c_{p211}(y_{211} - (z_{02} - \beta_2 l_{211})) + k_{p211} \left(\ddot{y}_{211} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{211} \right) \right) &= 0 \\
m_{112} \ddot{y}_{112} + c_{p112}(y_{112} - (z_{02} - \beta_2 l_{112})) + k_{p112} \left(\ddot{y}_{112} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{112} \right) \right) &= 0 \\
m_{212} \ddot{y}_{212} + c_{p212}(y_{212} - (z_{02} - \beta_2 l_{212})) + k_{p212} \left(\ddot{y}_{212} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{212} \right) \right) &= 0 \\
m_{121} \ddot{y}_{121} + c_{p121}(y_{121} - (z_{02} - \beta_2 l_{121})) + k_{p121} \left(\ddot{y}_{121} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{121} \right) \right) &= 0 \\
m_{221} \ddot{y}_{221} + c_{p221}(y_{221} - (z_{02} - \beta_2 l_{221})) + k_{p221} \left(\ddot{y}_{221} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{221} \right) \right) &= 0 \\
m_{222} \ddot{y}_{222} + c_{p222}(y_{222} - (z_{02} - \beta_2 l_{222})) + k_{p222} \left(\ddot{y}_{222} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{222} \right) \right) &= 0 \\
m_{122} \ddot{y}_{122} + c_{p122}(y_{122} - (z_{02} - \beta_2 l_{122})) + k_{p122} \left(\ddot{y}_{122} - \left(\ddot{z}_{02} - \ddot{\beta}_2 l_{122} \right) \right) &= 0,
\end{aligned}$$

де узагальнюючі маси μ , з відповідними індексами, які приведені до підвісок тягача і причепу, а також пов'язані через зчпний пристрій, мають такий вигляд:

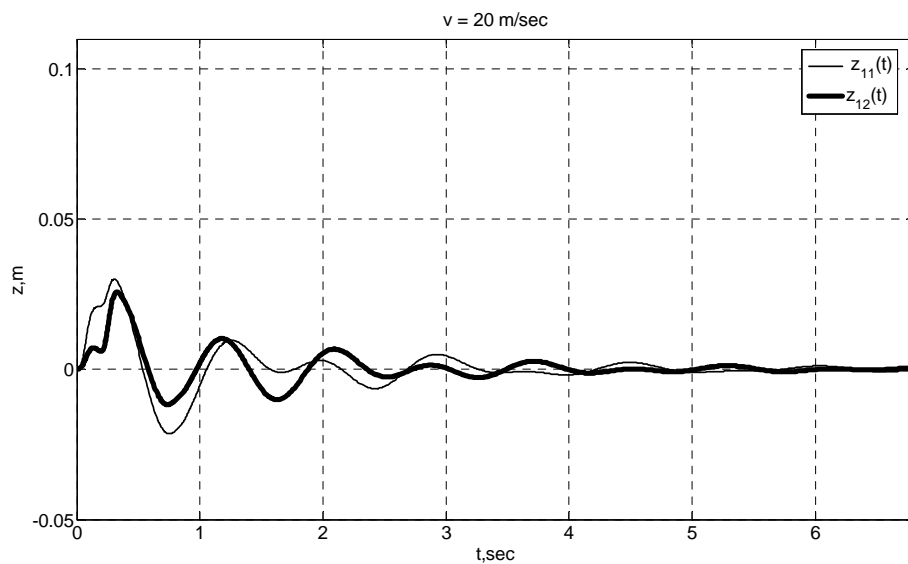
$$\begin{aligned}
\mu_{11} &= \frac{M_{01} l_2^2 + J_1 + M_{02} (l_2 - \lambda_1)^2}{(l_1 + l_2)^2}; \quad \mu_{12} = \mu_{21} = \frac{M_{01} l_1 l_2 - J_1 + M_{02} (l_2 - \lambda_1)(l_1 - \lambda_1)}{(l_1 + l_2)^2}; \\
\mu_{13} = -\mu_{14} = \mu_{31} = \mu_{41} &= \frac{M_{02} \lambda_2 (l_2 - \lambda_1)}{(l_1 + l_2)(l_3 - l_4)}; \quad \mu_{22} = \frac{M_{01} l_1^2 + J_1 + M_{02} (l_1 - \lambda_1)^2}{(l_1 + l_2)^2}; \\
\mu_{32} = \mu_{23} = -\mu_{24} = \mu_{42} &= \frac{M_{02} \lambda_2 (l_1 - \lambda_1)}{(l_1 + l_2)(l_3 - l_4)}; \quad \mu_{33} = -\mu_{43} = -\mu_{34} = \mu_{44} = \frac{M_{02} \lambda_2^2 + J_2}{(l_3 - l_4)^2};
\end{aligned} \tag{7}$$

Рівняння, які входять до системи (6), не є незалежними, що обумовлено наявністю мас зв'язку, які в загальному випадку відрізняються від нуля. За допомогою комп'ютерного моделювання, при середній експлуатаційній швидкості ($V = 20$ м/с), отримаємо графіки коливань

цієї системи. При врахуванні пружних властивостей вантажу амплітуда коливань підресорених мас тягача автовозу зменшується за одночасного зменшення їхньої частоти. Ця властивість проявляється сильніше для підресорених мас напівпричепу, коливання непідресорених мас змінюються менше, але для цієї ланки автовозу такий ефект присутній.

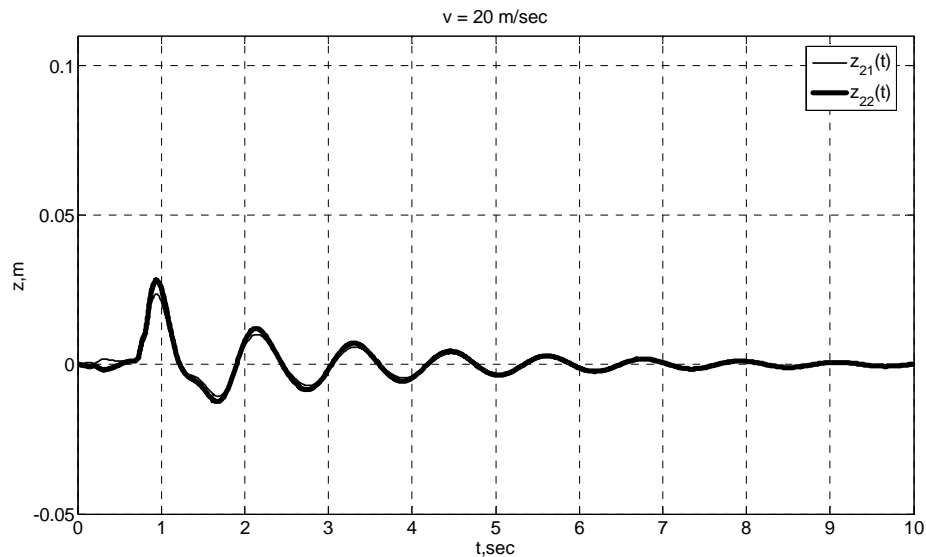


а

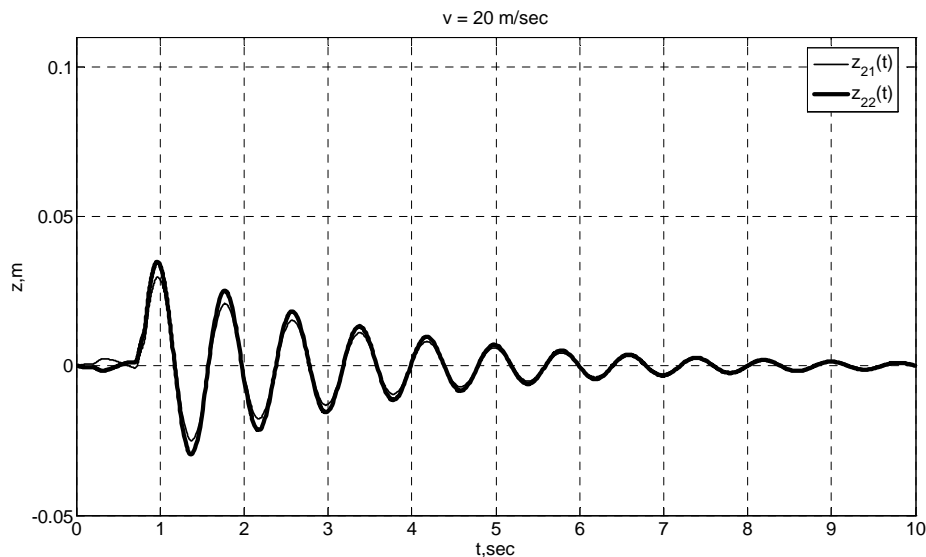


б

Рис. 1. Коливання підресорених мас тягача автовозу з врахуванням (а) та без врахування (б) пружних властивостей вантажу



а



б

Рис. 2. Коливання підресорених мас напівпричіпу автовозу з врахуванням (а) та без врахування (б) пружних властивостей вантажу

Висновки. Результати комп'ютерного моделювання вказують, що для системи “тягач–напівпричеп” врахування пружних властивостей вантажу також призводить до істотного зменшення частоти та амплітуди вертикальних коливань всіх вузлів і ланок системи. Треба зауважити, що цей ефект проявляється більшою мірою, ніж для системи “тягач – причіп”. Це пояснюється тим, що ця система складається із ланок, які не можна розглядати автономно (у матриці узагальнених мас істотними є недиагональні компоненти, що призводять до динамічного перерозподілу енергії коливань).

Отже, наявність вантажу можна розглядати як засіб динамічного пасивного гасіння коливань (у разі правильного вибору конструктивних і конформувальних параметрів). При цьому існуватиме певна резонансна швидкість руху системи, на якій цей ефект буде проявлятися максимально.

1. Савушкин Е.С., Курьлев В.Ф. Собственные колебания в продольной плоскости тягач – полуприцеп // Автомобильная промышленность. – 1963. – № 9. – С. 14 – 15. 2. Житенко О.В.,

Крайник Л.В. Дослідження вертикальних коливань дволанкового автовозу // Наук. вісник НЛТУ України: Зб. наук.-техн. праць – Львів: НЛТУУ, 2007. – Вип. 17.5. – С.116 – 121. 3. Житенко О.В., Крайник Л.В. Динаміка коливань і компонування автовоза // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – №588. – С. 31–35. 4. Кобрин М.М. Использование нагружающего резонансно-маятникового устройства при дорожных испытаниях рамы автомобиля // Автомобильная промышленность. – 1969. – №5. – С. 25–28. 5. Хачатуров А.А. Динамика системы “дорога – шина – автомобиль – водитель”. – М.: Машиностроение, 1976. – 535с. 6. Яценко Н.Н., Прутчиков О.К. Плавность хода грузовых автомобилей.– М.: Машиностроение, 1969. – 219с.

УДК 621.9.048.6

Я.М. Кусий, В.Г. Топільницький *

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування,
* кафедра електронного машинобудування

МОДЕРНІЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

© Кусий Я.М., Топільницький В.Г., 2008

Проаналізовано прилади для контролю параметрів мікрогеометрії поверхні. Описано методику “фільтрування” інформативного сигналу, що отримують при контролі параметрів мікрорельєфу поверхні. Запропоновано модернізовану принципову схему комплексу контролю шорсткості поверхонь деталей машин.

A devices analysis for microgeometrics surface parameters control is down. Rising of control exactness of microgeometrics surface parameters control by means of filtering information signal method is described. Modernized principled details surfaces roughness control complex scheme is suggested.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Шорсткість поверхні можна контролювати двома методами: порівнянням реальної поверхні виробу з робочими зразками шорсткості, котрі мають стандартизовані значення параметра R_a (ГОСТ 9378-75), вимірюванням параметрів шорсткості за допомогою щупових та оптичних приладів. Точнішим є контактний-щуповий метод контролю з використанням “голчастого” давача-перетворювача, контактний рух якого по шорсткій поверхні дає інформативний сигнал про її форму та величину шорсткості. Цей інформативний сигнал з метою визначення кількісних часткових характеристик шорсткості поверхні опрацьовують різноманітними методами з різною точністю та трудомісткістю.

Останні вітчизняні розробки приладів, що реалізують щуповий метод, виконані понад 20 років тому; очевидно, що прилади цього типу і морально, і технічно застаріли.

Сьогодні існують два підходи до опису профілю поверхні – параметричний і непараметричний [1]. Параметричний підхід передбачає опис профілю поверхні сукупністю часткових параметрів. Діючий в країнах СНД ГОСТ 2789-73 регламентує параметри R_a , R_z , R_q , R_m , S , S_m , побудовані по профілограмі поверхні (рис. 1). Вказані параметри практично нічого не свідчать про форму мікрорельєфу. Цей недолік частково компенсує стандарт DIN 4776, який регламентує параметризацію опорної лінії профілю, за якою можна отримати параметри R_{pk} , R_k , R_{vk} (рис. 1), що характеризують у першому наближенні форму мікрогеометрії поверхні.