

ЕНЕРГИЙНИ ЗАГУБИ ВСЛЕДСТВИЕ УДАРНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ ВЪРХУ ТАЛИГИТЕ НА ВАГОНИ С ДВУСТЕПЕННО РЕСОРНО ОКАЧВАНЕ

Бойчо МАРИНОВ

boicho_marinoff@yahoo.co.uk, boicho_marinoff@abv.bg

*Ст. н. с. II ст. д-р инж. Бойчо Иванов Маринов, Институт по Механика, БАН, 1113 София,
БЪЛГАРИЯ*

Резюме: В предлаганата работа се изследва въздействието на вертикалните ударни импулси от страна на колоосите върху талигите на вагона. Установени са изрази за кинематичните компоненти на движението и са изведени изрази за кинетичната енергия на механичната система преди и след ударното въздействие. Получени са изрази, отчитащи загубата на енергия и са предложени оптимизационни решения за намаляване на тези загуби, така че влиянието на импулсните въздействия да бъде минимизирано.

Ключови думи: Вагон, импулс, ударни натоварвания, кинетична енергия, ресорно окачване.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Вертикалните ударни импулси, които се предават от страна на колоосите към талигите на вагони с двустепенно ресорно окачване, са отделен клас периодични натоварвания. Тези натоварвания възникват в експлоатационен режим при преминаване на колоосите през стиковките на релсите. В резултат на това се променят кинематичните компоненти на движението - линейни и ъглови скорости, което от своя страна води до промяна на кинетичната енергия на механичната система. Тази загуба зависи от скоростта на движение и е най-голяма, когато превозното средство се движи с т.н. "резонансна скорост". Това е такава скорост на движение, при която възниква явлението "ударен резонанс", разгледан в [3]. Този неблагоприятен режим води до нарастване на динамичните натоварвания, а това от своя страна води до поява на допълнителни динамични напрежения. Крайният резултат от възникването на вертикални ударни импулси в резонансен режим е нарушаване нормалната работа на транспортното средство като цяло, а също

така възможност да бъдат разрушени отделни негови възли и агрегати.

Целта на предлаганата работа е да се изследва влиянието на импулсните натоварвания върху релсови возила с двустепенно ресорно окачване. На базата на тези изследвания могат да се получат изрази за определяне на кинематичните компоненти на движението на талигите и да се определи кинетичната енергия на механичната система преди и след ударното въздействие. В резултат на това може да се изчисли загубата на кинетична енергия на талигите и да се установи при какви условия енергийните загуби ще бъдат минимални. От решаването на оптимизационната задача могат да се предложат най-благоприятните условия за експлоатация на транспортното средство. Чрез провеждане на компютърен експеримент може да се установи верността на получените резултати, така че те да са основа за по-нататъшни изследвания.

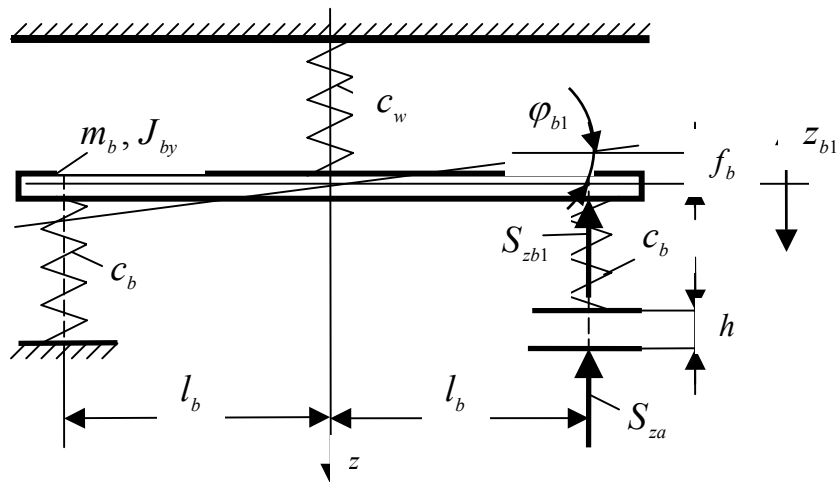
2. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1. ДИНАМИЧЕН МОДЕЛ

За да се решат поставените задачи, се използва динамичният модел, показан на фиг.1 [1], [2], [8]. Въведени са следните

означения: m_b - маса на рамата на талигата, J_{by} - масов инерционен момент на рамата на талигата спрямо хоризонтална ос, минаваща през масовия център, c_w, c_b са съответно коефициентите на еластичност на ресорното окачване в централната и буксовата степени,

$2l_b$ - база на талигата, h - максимална разлика между височините на две съседни релсови звена, f_b - вертикално преместване на ресора в буксовата степен, z_{b1}, φ_{b1} са съответно преместването на масовия център във вертикална равнина и завъртането на рамата на талигата около хоризонтална ос през масовия център.



Фиг.1 Динамичен модел

2.2. КИНЕМАТИЧНИ КОМПОНЕНТИ НА ДВИЖЕНИЕТО

Разгледано е импулсното въздействие от страна на колооста върху първата талига. Преди удара талигата извършва транслационно движение. Кинематичните компоненти на движението във вертикална равнина са скоростта на масовия център V_{b1} и ъгловата скорост ω_{b1} и са равни на нула. Кинематичните компоненти на движението след удара са \dot{z}_{b1} и $\dot{\varphi}_{b1}$. За тяхното определяне се използват основните уравнения на удар при равнинно движение, които в случая имат следния вид:

$$\begin{aligned} m_b (\dot{z}_{b1} - V_{b1}) &= S_{zb1}, \\ J_{by} (\dot{\varphi}_{b1} - \omega_{b1}) &= S_{zb1} l_b. \end{aligned} \quad (1)$$

В горните уравнения S_{zb1} е ударния импулс, който се предава от ресора към талигата. За неговото определяне импулсното натоварване се редуцира към еквивалентно

"статично" натоварване като се получава следния израз:

$$S_{zb1} = (h - f_b) m_{wj} \omega_\varepsilon, \quad (2)$$

където $(h - f_b)$ е деформацията в ресора, m_{wj} е частта от масата на коша на вагона, натоварваща талигата, ω_ε е собствената честота на системата и се изчислява от

$$\omega_\varepsilon = \sqrt{\frac{c_\Sigma}{m_w} + \left(\frac{\beta_\Sigma}{2m_w} \right)^2} \quad [3], [6].$$

В този случай със c_Σ и β_Σ са означени съответно сумарната еластична константа на ресорното окачване и сумарния коефициент на демпфиране. Масата на коша на вагона е m_w . Максималната деформация $(h - f_b)$ в работата [6] се изчислява от следната зависимост:

$$h - f_b = \sqrt{\frac{c_w (2gh^2 m_{wi}^2 \omega_\varepsilon^2 - G_a^2 h)}{c_b (c_w + 2c_b) G_a}}. \quad (3)$$

В горната зависимост m_{wi} е частта от масата на коша на вагона, която натоварва удряната колоос, G_a е нейното тегло, а g е земното ускорение.

След направените пояснения уравненията (1) се записват в следния вид:

$$m_b \dot{z}_{b1} = (h - f_b) m_{wj} \omega_\varepsilon, \quad (4)$$

$$J_{by} \dot{\phi}_{b1} = (h - f_b) m_{wj} \omega_\varepsilon l_b.$$

За търсените кинематични компоненти на движението във вертикална равнина се получават следните изрази:

$$\dot{z}_{b1} = \frac{(h - f_b) m_{wj} \omega_\varepsilon}{m_b}, \quad (5)$$

$$\dot{\phi}_{b1} = \frac{(h - f_b) m_{wj} \omega_\varepsilon l_b}{J_{by}}.$$

Скоростта на талигата след удара по направление на ос x е същата, както и на колооста, която в работата [4] се изчислява от зависимостта

$$\dot{x}_{b1} = \frac{2hm_{wi}\omega_\varepsilon b}{m_a a} + kV_{res}, \quad (6)$$

където m_a е масата на колооста, a и b са геометрични размери, зависещи от радиуса R на колелото ($a \approx \sqrt{2Rh}$, $b = R - h$), k е коефициент на възстановяване и се променя в интервала $0 \leq k \leq 1$. В конкретния случай може да се приеме $k = \frac{5}{9}$. V_{res} е скоростта на

вагона преди удара по направление на ос x . При тази скорост, вследствие на вертикалните импулси, кошът на вагона ще извършва вертикални трептения с максимална амплитуда. В работите [3], [4] V_{res} се изчислява от зависимостта

$$V_{res} = \frac{l_0 \omega_\varepsilon}{2\pi n_1}, \quad (7)$$

където l_0 е дължината на релсовото звено, n_1 е цяло число. Препоръчителна стойност е $n_1 = 2$.

Ако вагонът е четириосов, $m_{wi} = m_w / 4$ и $m_{wj} = m_w / 2$ и изразите (6) и (5) се записва в следния вид:

$$\dot{x}_{b1} = \frac{hm_w \omega_\varepsilon b}{2m_a a} + kV_{res},$$

$$\dot{z}_{b1} = \frac{(h - f_b) m_w \omega_\varepsilon}{2m_b}, \quad (8)$$

$$\dot{\phi}_{b1} = \frac{(h - f_b) m_w \omega_\varepsilon l_b}{2J_{by}}.$$

2.3. КИНЕТИЧНА ЕНЕРГИЯ НА СИСТЕМАТА ПРЕДИ И СЛЕД УДАРНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Талигата на вагона се движи транслационно преди ударното въздействие с резонансна скорост V_{res} . Кинетичната енергия се изчислява от познат израз [10]

$$T_1 = \frac{1}{2} m_b V_{res}^2. \quad (9)$$

След импулсното въздействие талигата извършва равнинно движение. Кинетичната енергия след удара може да се изчисли от зависимостта

$$T_2 = \frac{1}{2} m_b (\dot{x}_{b1}^2 + \dot{z}_{b1}^2) + \frac{1}{2} J_{by} \dot{\phi}_{b1}^2. \quad (10)$$

Преобразуваме горния израз чрез зависимостите (8), в резултат на което се достига до зависимостта (11), определяща търсената кинетична енергия на механичната система след удара в пълен вид.

$$T_2 = \frac{1}{2} m_b \left(\frac{hm_w b}{m_a a} + \frac{kl_0}{\pi n_1} \right)^2 \frac{\omega_\varepsilon^2}{4} +$$

$$+ \frac{1}{2} (h - f_b)^2 \left(\frac{1}{m_b} + \frac{l_b^2}{J_{by}} \right) m_w^2 \frac{\omega_\varepsilon^2}{4}. \quad (11)$$

2.4. ЗАГУБА НА КИНЕТИЧНА ЕНЕРГИЯ

Загубата на кинетична енергия на механичната система вследствие ударното въздействие се определя от познат израз [5], [7]

$$\Delta T = T_2 - T_1. \quad (12)$$

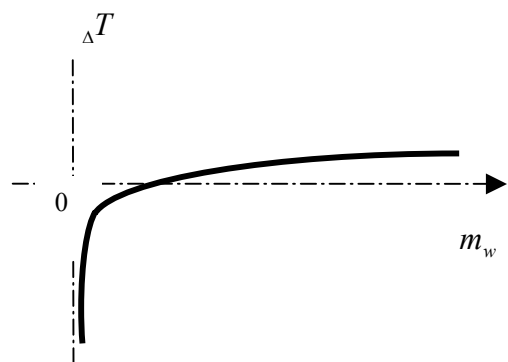
При заместване на T_1 и T_2 с техните равни от (9) и (11), се получава търсената зависимост

$$\Delta T = \frac{1}{2} A \omega_\varepsilon^2, \quad (13)$$

където е направено следното полагане

$$A = \frac{1}{4} m_b \left(\frac{h m_w b}{m_a a} + \frac{k l_0}{\pi n_1} \right)^2 + \frac{1}{4} (h - f_b)^2 \left(\frac{1}{m_b} + \frac{l_b^2}{J_{by}} \right) m_w^2 - \frac{m_b l_0^2}{4 \pi^2 n_1^2}. \quad (14)$$

На фиг.2 е дадена примерна крива, която показва промяната на кинетичната енергия на механичната система.



Фиг.2. Графична зависимост $\Delta T = f(m_w)$

От анализа на тази крива могат да се установят стойностите на масата m_w , при които загубата на кинетична енергия е или нулева, или има минимална стойност. Представен е само десният клон на кривата поради факта, че масата е строго положителна величина. Вижда се също така, че графиката се прекъсва при $m_w = 0$. В тази точка теоретично загубата на кинетична енергия ΔT клони към безкрайност.

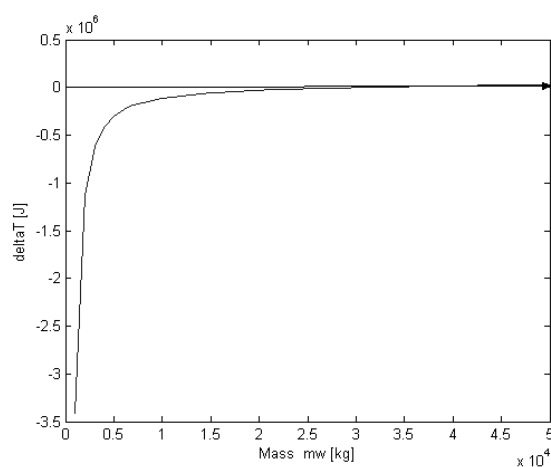
3. ЧИСЛЕН ПРИМЕР

Получените теоретични изрази са използвани за конкретен числен пример. С помощта на компютърен код MATLAB е построена графиката на функцията

$\Delta T = f(m_w)$ при начални данни, дадени в [9]. Тази диаграма е показана на фиг. 3.

Начални данни:

$$\begin{aligned} h &= 0,01[m]; R = 0,46[m]; a = 0,096[m]; \\ b &= 0,45[m]; n_1 = 2; l_0 = 12,5[m]; \\ l_b &= 1,25[m]; k = 0,55; m_a = 1450[kg]; \\ m_b &= 2600[kg]; c_\Sigma = 1,37 \cdot 10^6 [N/m]; \\ \beta_\Sigma &= 10^5 [Ns/m]; J_{by} = 4000 [kgm^2]; \\ c_w &= 0,86 \cdot 10^6 [N/m]; c_b = 1,7 \cdot 10^6 [N/m]; \\ 0 &\leq m_w \leq 50000[kg]. \end{aligned}$$



Фиг.3. Компютърна графика на зависимостта $\Delta T = f(m_w)$

От показаната диаграма може да се установи промяната на кинетичната енергия при промяна на масата m_w . Начертан е само десният клон, тъй като масата на вагона е положителна величина. От тази крива може да се установи при каква маса загубата на енергия е нулева или има минимална стойност.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлаганата работа се изследва влиянието на импулсните натоварвания върху релсови возила с двустепенно ресорно окачване. Чрез тези изследвания са получени изрази за определяне на кинематичните компоненти на движението \dot{x}_{b1} , \dot{z}_{b1} и $\dot{\phi}_{b1}$. На базата на тези изрази, както и на предишни изследвания, са изведени изрази за изчисляване на кинетичната енергия на механичната система преди и след ударното

въздействие. От тези изрази се определя загубата на кинетична енергия вследствие на ударното въздействие от страна на колооста върху талигата. Анализът на получения израз за ΔT показва при какви условия загубата на енергия теоретично може да е равна на нула или да има минимални стойности. Очевидно, това може да стане по два начина:

- Чрез понижаване собствената честота на системата.
- При определена маса на коша на вагона.

Първото условие е свързано със състоянието на ресорното окачване и демпферите и може да се използва при оценка влиянието на ударните натоварвания за различни пътнически вагони.

Графичната зависимост за $\Delta T = f(m_w)$ е свързана с второто условие, което позволява да се реши оптимизационната задача, от която да се установи при какви условия енергийните загубите ще бъдат минимални.

Проведеният числен пример с помощта на компютърен код MATLAB показва едно практическо приложение на получените теоретични изрази. Изследвано е влиянието на импулсните въздействия върху релсовите возила при различна степен на натовареност на вагона, което дава възможност за по-нататъшни изследвания в тази област.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Kazakov A B., Mechanical and Mathematical Models for Simulation of Dynamic Excitement of Transport Railway Carriage on the Human Operator, Warsaw-Poland, The Archives of Transport, 6, 1994, pp.39-53.

[2] Караджов Т., Ж. Димитров, Вагони, София, Техника, 1988.

[3] Маринов Б. И., Влияние на периодичните ударни натоварвания върху релсови возила с едностепенно ресорно окачване, София, сп. Железопътен транспорт, 3, 2003, стр.27-29.

[4] Маринов Б. И., Определяне на ударните импулси, натоварващи колоосите на релсови возила с едностепенно ресорно окачване, София, сп. Железопътен транспорт, 9, 2003, стр. 31 - 34.

[5] Маринов Б., А. Казаков, Оптимизиране на процеса на импулсно въздействие върху вагони с едностепенно ресорно окачване, 10-та международна научно-техническа конференция по ДВГ, транспортни средства и транспорт МОТАУТО'03, Сборник доклади МОТАУТО'03, 2003, София, стр. 6-11.

[6] Marinov B., Impulse Impacts Optimization on Two-Stage Spring Suspension Railway Vehicles, Warsaw-Poland, The Archives of Transport, 2, 2005, pp.51-63.

[7] Маринов Б., Оптимизиране на ударните процеси, възникващи в експлоатационен режим при релсови возила с едностепенно ресорно окачване, XVI международна научна конференция "Транспорт 2006", Сборник доклади, 2006, София, стр. IX-5 ÷ IX-10.

[8] Ружеков Т., Ж. Димитров, Д. Стоянов, Г. Стайков, А. Стефанов, Конструкция, теория и проектиране на локомотива, София, 1987.

[9] Пенчев Ц., Д. Атнаджова, Въпроси от експлоатация, ремонта и рециклирането на пътнически вагони от парка на БДЖ, ВТУ "Т. Каблешков", София, 2003.

[10] Челомей В., И. Артоболевский и др, Вибрации в технике. Колебания машин, конструкций и их элементов - том 3, Москва, Машиностроение, 1980.

ENERGY LOSSES CONSEQUENCE OF PERCUSSION ACTIONS ON THE BOGIES OF TWO-STAGE SPRING SUSPENSION CARRIAGES

Boycho Marinov

Boycho Marinov, Institute of Mechanics –BAS, Sofia
BULGARIA

Abstract: *In this paper the action of the vertical shock impulses on the bogies of the carriage is investigated. Expressions for the kinematic components of the motion are determined. Expressions for the kinetic energy of the mechanical system before and after percussion action are derived. Dependences for the loss of energy are obtained. Optimization resolves for decrease of these losses are proposed so that the influence of the impulse impacts to be minimal.*

Key words: *carriage, impulse, shock loading, kinetic energy, spring suspension.*