

УДК 614.8 + 620.178

В.В. Чигрин, Б.І. Кривошей, В.Б. Коханенко

Національний університет цивільного захисту України, Харків

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ПІДВІСКИ ПОЖЕЖНОГО АВТОМОБІЛЯ

Наведено математичне наповнення алгоритму дослідження відносних коливань надресорного вантажу, що спричинені нерівностями шляху його переміщення, якщо подовжній профіль „горбів” шляху задано рівнянням.

Ключові слова: пожежний автомобіль, коливання, профіль дороги.

Вступ

Постановка проблеми. На відміну від звичайних транспортних засобів пожежні автомобілі експлуатуються в більш жорстких, а при гасінні пожеж і в екстремальних умовах. До місця виклику пожежний автомобіль рухається з максимально допустимою швидкістю в завантаженому стані (пожежно-технічне озброєння, вогнегасячі засоби, особовий склад). Останнім часом на дорогах населених пунктів України споруджено перешкоди, подовжній профіль яких має вигляд «одиночного горба» (в західній Європі їх ще називають „поліцейський, що лежить”). При русі через цю перешкоду на елементи підвіски діють великі навантаження, які впливають на довговічність всього пожежного автомобіля в цілому. Руїнуванню пожежного автомобіля перешкоджають системи підвіски (пружини, ресори, пневматичні циліндри) [1 – 4]. Звідси зрозуміло є задача математичного моделювання руху вантажу з урахуванням дії підвіски. Особливо це питання актуально для аналізу руху пожежних автомобілів, які вимушені проїздити шляхові перешкоди на великій швидкості. Адже від своєчасного прибуття на місце події цих транспортних засобів часто залежать людські життя і збереження майна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зниження рівня вібрації робочих місць і поліпшення їх ергономічних характеристик дозволить вирішити одну з найважливіших проблем поліпшення умов праці і збереження здоров'я пожежних. Рівень і частотний спектр вібрації на робочому місці водія залежить від профілю дороги, швидкості руху, рівня вібрації двигуна, підвіски шасі і кабіни і, нарешті, сидіння водія.

Багато в чому вплив вібрації на людину залежить від її спектрального складу. Відомі області частот, в яких рівні вібрації можуть позначатися на виконанні виробничих операцій. Так частота 4.5 Гц є резонансною областю для людини, що працює стоячи, 11 Гц - сидячи.

Тому, головною вимогою до сучасного пожежного автомобіля, є підвищення плавності ходу. Дія

коливань на організм людини залежить від частоти, амплітуди і тривалості [1 – 3]. Вплив знакозмінних прискорень на організм людини, у більшій мірі, залежить від частоти коливань. Тому актуальними будуть дослідження, спрямовані на вивчення можливостей зменшити ці коливання при переїзді пожежного автомобіля через перешкоду типу «бугор».

Основний розділ

Постановка завдання та його вирішення. Нехай надресорний вантаж масою m рухається по бугристому шляху з постійною швидкістю v . Необхідно дослідити відносні коливання вантажу, спричинені нерівностями цього шляху, якщо його подовжній профіль можна вважати заданим рівнянням $Y = F(X)$. При цьому також вважається, що коефіцієнт жорсткості гвинтової пружини дорівнює c , а її опір пропорційний відносній швидкості. Деформаціями шляху і колеса знехтувати.

Відносне положення надресорного вантажу визначимо узагальненою координатою y (рис. 1). Диференціальне рівняння відносних коливань системи аналогічне диференціальному рівнянню при її абсолютному русі, необхідно лише до сил, які діють на цю систему, приєднати переносну силу інерції (переносний рух – рух поступальний).

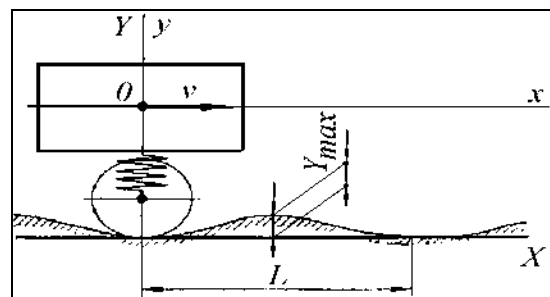


Рис. 1. Схема переміщення вантажу по шляху

Кінетична енергія надресорного вантажу в відносному русі дорівнює $T = \frac{1}{2} m v^2$. Отже, коефіцієнт інерції $a = m$. В результаті диференціальне рівняння відносних коливань вантажу приймає вигляд

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + k^2y = \frac{1}{m}\Phi, \quad (1)$$

де Φ – переносна сила інерції; n – коефіцієнт затухання; $k = \sqrt{c/m}$ – частота вільних коливань вантажу ($n < k$).

Для визначення переносної сили інерції Φ слід врахувати, що $X = vt$. Тоді

$$\Phi = -m \frac{dY^2}{dt^2} F(vt),$$

де $Y = F(X)$ – рівняння подовжнього профілю шляху.

Остаточно диференціальне рівняння відносних коливань вантажу набуде вигляду

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + k^2y + \frac{d^2}{dt^2}F(vt) = 0. \quad (2)$$

Розглянемо розв’язання диференціального рівняння (2) в залежності від форми профілю нерівностей на шляху переміщення пожежного автомобіля.

Нехай подовжній профіль шляху має вигляд „пральної дошки” (тобто вигляд хвиль з періодом L), рівняння якої (рис. 1);

$$Y = Y_{\max} \sin^2 \frac{\pi X}{L}.$$

В цьому випадку рівняння (2) набуде вигляду

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + k^2y + h \cos pt = 0, \quad (3)$$

де $h = \frac{Y_{\max} p^2}{2}$; $p = \frac{2\pi v}{L}$ – частота вимушених коливань.

Чисельно проінтегрувавши рівняння (3) з крайовими умовами $y(0) = 0$ і $\dot{y}(0) = 0$ отримані результати, що наведені на рис. 2.

При цьому використовувались наступні параметри:

$$L = 6 \text{ м}; \quad Y_{\max} = 0,5 \text{ м}; \quad m = 2000 \text{ кг}; \\ v = 10 \text{ м/с}; \quad c = 4000 \text{ н/м};$$

Тут і далі на рисунках зображено графік переміщення вантажу за час $t_B = L/v$ (с) переїзду безпосередньо „першого” горба.

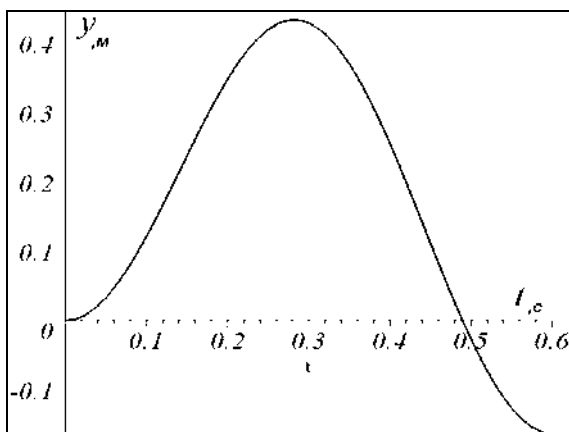


Рис. 2. Вертикальні переміщення вантажу при швидкості 10 м/с

На рис. 3 наведено результати чисельного розв’язання рівняння (3) з тими ж параметрами, але для $v = 1,35$ м/с.

Легко помітити, що їзда пожежного автомобіля по такому шляху з такою швидкістю може призвести до порушення в роботі підвіски.

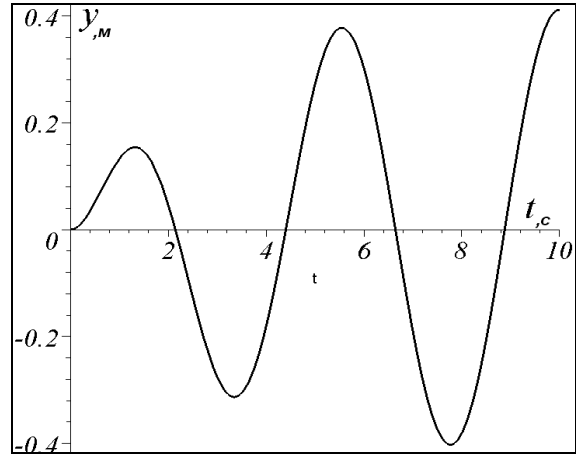


Рис. 3. Вертикальні переміщення вантажу при швидкості 1,35 м/с

Нехай подовжній профіль шляху має вигляд одиничного горба, рівняння якого задамо у вигляді

$$Y = Y_{\max} e^{-Y_{\max}^2 (X-L)^2 / L^w}, \quad (4)$$

де Y_{\max} – „висота” горба; L – половина ширини основи горба (орієнтовно); w – параметр форми горба.

На рис. 4 наведено приклад профілю горба для $Y_{\max} = 0,15$ м; $L = 0,3$ м і $w = 6,5$.

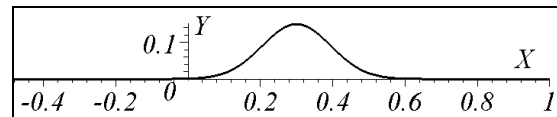


Рис. 4. Профіль шляху у вигляді одиничного горба

З урахуванням опису перепони у вигляді (4), згідно (2) маємо диференціальне рівняння коливань вантажу при переїзді через цей горб, при розв’язанні якого слід врахувати крайові умови $y(0) = 0$ і $\dot{y}(0) = 0$.

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + k^2y + 2v^2 Y_{\max}^4 \times \\ \times \exp\left(-\frac{Y_{\max}^2 (vt-L)^2}{L^w}\right) \times \\ \times \left(\frac{2Y_{\max}^2 (vt-L)^2}{L^{2w}} - \frac{1}{L^w}\right) = 0. \quad (5)$$

Результати чисельного розв’язання рівняння (5) з параметрами

$$L = 0,3 \text{ м}; \quad Y_{\max} = 0,15 \text{ м}; \quad w = 6,5; \quad m = 2000 \text{ кг}; \\ v = 20 \text{ м/с}; \quad c = 4000 \text{ н/м};$$

наведені на рис. 5.

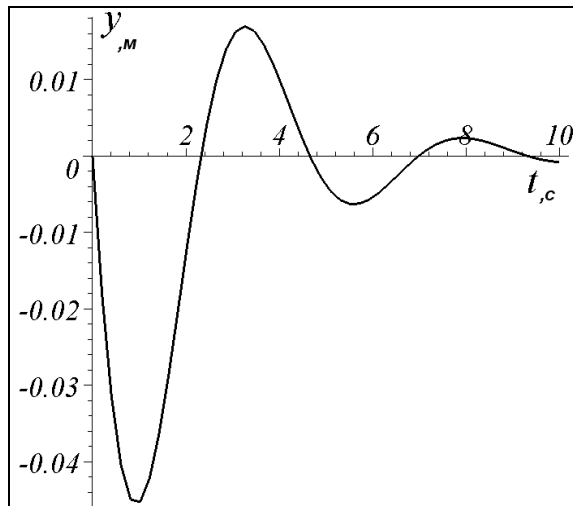


Рис. 5. Вертикальні переміщення вантажу при швидкості 20 м/сек

На рис. 6 наведено результати чисельного розв'язання рівняння (5) з тими ж параметрами, але для $v = 2$ м/с.

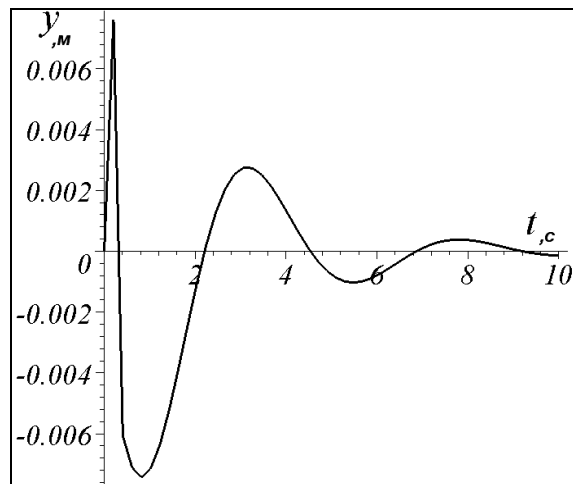


Рис. 6. Вертикальні переміщення вантажу при швидкості 2 м/с

Висновки

Одержані результати дозволяють дослідити відносні коливання вантажу, коли надресорний вантаж масою m рухається по бугристому шляху з постійною швидкістю v , і якщо подовжній профіль шляху можна задати рівнянням $Y = F(X)$.

З урахуванням одержаних результатів можна провести розрахунки реакції підвіски на імпульсний вплив нерівності дороги в залежності від висоти і довжини нерівності.

З деяким наближенням ці характеристики відбивають і випадки синусоїдального впливу, особливо при нерівностях дороги довжиною меншою, чим база балансиру вантажівки.

Список літератури

1. Яценко Н.Н. Колебания, прочность и форсированные испытания грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко. – М.: Машиностроение, 1972. – 372 с.
2. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля и его колебания / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1960. – 221 с.
3. Ларін О.М. Випадкові коливання транспортного засобу при русі по нерівній дорозі / О.М. Ларін, Б.І. Кривошей // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Х.: ХДУХТ, 2004. – Вип. 7. – С. 40-47.
4. Ларін А.Н. Пневматическая шина. / А.Н. Ларин, В.Е. Росоха, А.В. Сергеев и др. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 140 с.

Надійшла до редколегії 21.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Ларін, Національний університет цивільного захисту України, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ ПОДВЕСКИ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

В.В. Чигрин, Б.И. Кривошей, В.Б. Коханенко

Приведено математическое наполнение алгоритма исследования относительных колебаний сверхресорного груза, которые вызваны неравенствами пути его перемещения, если продольный профиль "горбов" пути задан уравнением.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, колебание, профиль дороги.

MATHEMATICAL DESIGN OF VIBRATIONS OF LOAD IS TAKING INTO ACCOUNT ACTION OF PENDANT OF FIRE CAR

V.V. Chygryn, B.I. Krivoshey, V.B. Kohanenko

The mathematical filling over of algorithm of research of relative vibrations of a superspring load, which are caused by inequalities of way of his moving, is brought, if the longitudinal type of "humps" of way is set by equalization.

Keywords: fire car, oscillation, type of road.