УДК 629.3.027

**Кукурудзяк Ю.Ю., Зелінський В.Й., Хударов С.О., Дрозд М.С.**

# ВІБРАЦІЇ ТА ЇХ ПОГАШЕННЯ ПРИ РУСІ АВТОМОБІЛЯ

*Представлено розрахунок випадкових коливальних процесів, що мають місце при русі автомобіля. Розглянуто схему віброгасника змушених коливань з додатковою масою та застосування віброгасника на легкових та вантажних автомобілях.*
***Ключові слова:*** *змушені коливання, вібрації, гасіння коливань, віброгасник.*

При русі автомобіля виникають змушені коливання, інтенсивність яких залежить від якості дорожнього полотна і динамічних характеристик підвіски. У загальному випадку коливальний процес при русі автомобіля є випадковим процесом, який можна ілюструвати графічними залежностями на рис. 1 [1].

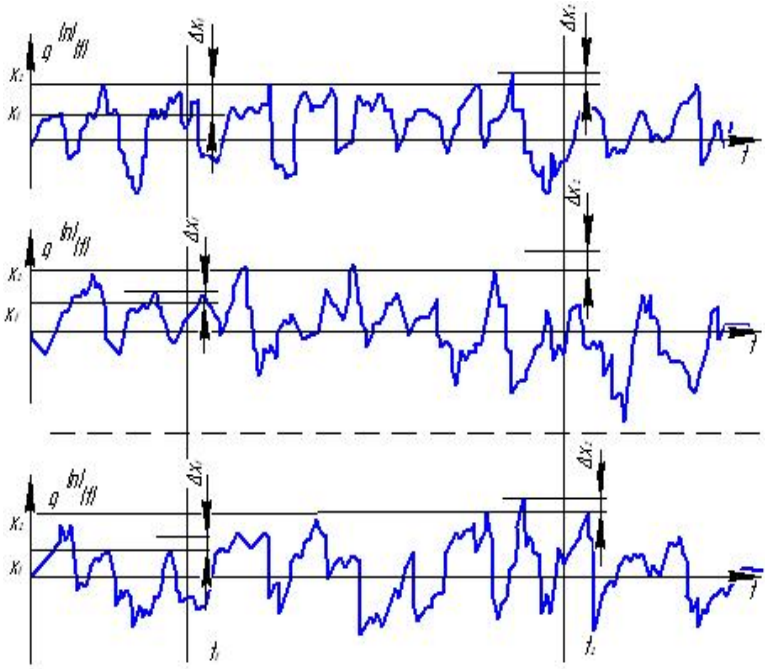

Рис. 1. Приклади випадкових коливальних процесів при русі автомобіля

Якщо є велика кількість $N$ реалізацій коливального і вібраційного процесу, то з них можна виділити такі $n_1$ реалізації, для яких в момент часу $t=t_1$ амплітуда менше деякої величини $x_1$. При повторенні великої кількості реалізацій можна прийняти відношення $n_1/N=P_1$ ($P_1$ – ймовірність граничної умови: функція $q_1(t)<x_1$). При цьому функція $P_1=F_1$ $(x_1,t_1)$ є неспадною і називається одномірною інтегральною функцією розподілу ймовірностей випадкового процесу (рис. 2). При $t_1$ випадкова функція на рис. 1 визначається перетином.

Частина похідна $\partial F(x_1,t_1)/\partial x_1 \geq 0$ називається одномірною диференціальною функцією розподілу ймовірностей або щільністю ймовірності (рис. 2). З графічних залежностей на рис. 2 випливає, що з імовірністю $P_1=1$ амплітудне значення функції $q<\infty$ і з імовірністю $P_1=0$ отримаємо: $q<-\infty$.

Необхідність гасіння коливань і вібрацій при русі автомобіля підтверджується графічними залежностями на рис. 3, за якими можна оцінювати величину віброприскорення у широкому діапазоні частоти збурюючої сили.

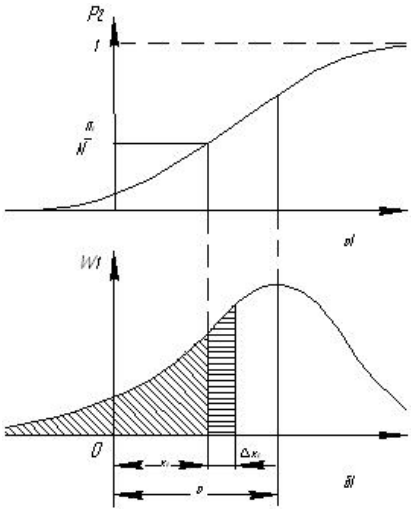

Рис. 2. Функція розподілу ймовірностей випадкового процесу для часу $t_1$:
1 – інтегральна; 2 – диференціальна

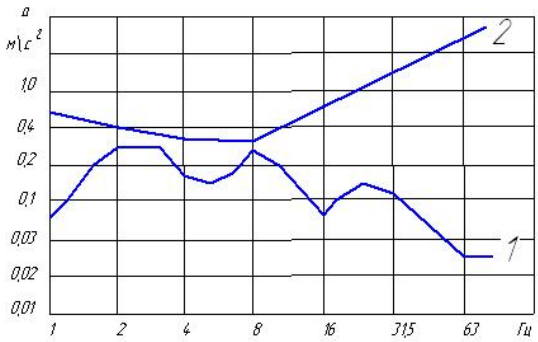


Рис. 3. Спектр віброприскорень, що діють на водія вантажного автомобіля (швидкість 50 км / год):
1 – виміряні значення; 2 – гранично допустимі значення

Розглянемо схему віброгасника змушених коливань (рис. 4), яку можна застосовувати в конструкціях вантажних і легкових автомобілів. При дії гармонійної сили $H \cdot \sin(pt)$ можна скласти рівняння частот коливань:

$$m_1 m_2 k^4 - [m_1 c_2 + m_2 (c_1 + c_2)] k^2 + c_1 c_2 = 0.$$

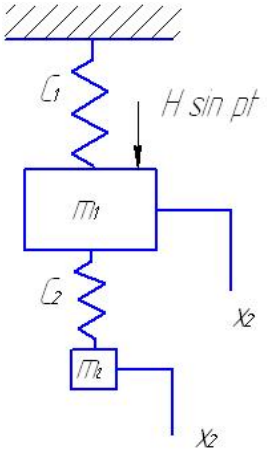


Рис. 4. Схема віброгасника змушених коливань з додатковою масою

Після перетворень отримаємо

$$\kappa_4 - (\omega^2 + \omega_2{}^2)\kappa^2 + \omega_1{}^2\,\omega_2{}^2 = 0,$$

де $\omega^2 = (c_1 + c_2)/m_1$;
$\omega_1{}^2 = c_1/m_1$;
$\omega_2{}^2 = c_2/m_2$;
$K$ – частота змушених коливань;
$m_1$ і $m_2$ – маси основного вантажу і віброгасника;
$c_1$ і $c_2$ – жорсткість пружин.

При розв'язанні диференціального рівняння можна приймати амплітуду $H$ збурюючої сили такою, що дорівнює $m_1h$. Тоді диференціальне рівняння руху запишеться у вигляді:

$$x_1 + \omega^2 \cdot x_1 - (\omega^2 - \omega_1{}^2) \cdot x_2 = h \cdot \sin pt;$$

$$x_2'' + \omega_2{}^2 \cdot (x_2 - x_1) = 0.$$

Ця система має окремий розв'язок

$$x_1 = b_1 \cdot \sin pt; \quad x_2 = b_2 \cdot \sin pt.$$

Амплітуди $b_1$ і $b_2$ визначаються за формулами

$$b_1 = \frac{h \cdot \left(\omega_2^2 - p^2\right)}{p^4 - \left(\omega^2 + \omega_2^2\right) \cdot p^2 + \omega_1^2 \cdot \omega_2^2};$$

$$b_2 = \frac{h \cdot \omega_2^2}{p^4 - \left(\omega^2 + \omega_2^2\right) \cdot p^2 + \omega_1^2 \cdot \omega_2^2}.$$

У загальному випадку може виникнути резонанс, коли амплітуди $b_1$ і $b_2$ необмежено зростають.

При рівності власної частоти $\omega_2$ другого вантажу частоті $p$ збурюючої сили можна погасити змушені коливання вантажу $m_1$.

Практичне значення розглянутої схеми віброгасника полягає в тому, що основний тягар $m_1$ може здійснювати значні коливання за умови резонансу ($p = \omega_1$). Цей вібраційний ефект можна погасити, якщо додати віброгасники у вигляді вантажу $m_2$, який підбирають за умовою: $p = \omega_2$. При цьому збурююча сила буде розгойдувати віброгасники (вантаж $m_2$) замість основної системи (вантаж $m_1$). Це можна перевірити розрахунком. Так, при $\omega_2 = p$ отримаємо: $b_1 = 0$;

$$b_2 = h/(\omega_1{}^2 - \omega^2),$$

або

$$b_2 = -\frac{m_1 h}{C_2} = -\frac{H}{\mathrm{m}_2 p^2}.$$

З цього випливає, що застосування малої маси $m_2$ (і малої жорсткості $C_2$) призведе до неприпустимих великим значенням амплітуди $b_2$ змушених коливань віброгасника. У практичних умовах можна враховувати застосовувані схеми гасіння коливань і вібрацій за допомогою двох важелів підвісів автомобіля з вбудованими поперечними ресорами і пружинними демпфуючими елементами (рис. 5) [2].

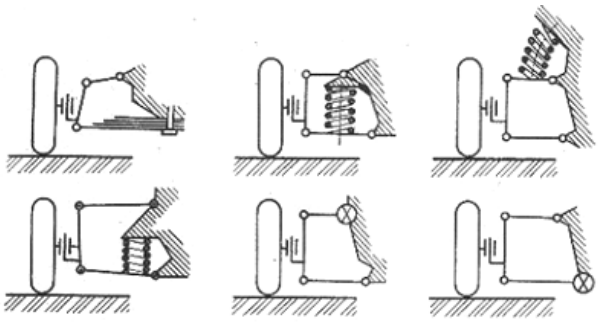

Рис. 5. Схеми двоважільних підвісок автомобіля

**Висновок.** Загальний висновок полягає в тому, що активне віброгасіння є актуальним завданням при русі будь-якого транспортного засобу. Тому необхідні широкі дослідження в галузі коливань і вібрацій зі створенням і застосуванням простих, ефективних і високонадійних динамічних систем, які сприяють зменшенню амплітуди змушених коливань в широкому частотному спектрі.

**Література**


1. Хачатуров А.А. Динамика системы "дорога – шина – автомобиль – водитель" // Машиностроение, 1976. – 535 с.
2. Яценко Н.Н. Плавность хода грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко, О.К. Прутчиков. М.: Машиностроение, 1969. – 219 с.
3. Яценко Н.Н. Колебания, прочность и форсированные испытания грузовых автомобилей. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
4. Яценко Н.Н. Колебания подвески с учетом поглощающей способности шин / Н.Н. Яценко, Г.Н. Канадзе, С.П. Рыков // Автомобильная пром-сть. – 1977. – № 6. – С. 15-18.
5. Фаробин Я.Е. Теория движения специализированного подвижного состава: учеб. пособие / Я.Е. Фаробин, В.А. Овчаров, В.А. Кравцева. – Воронеж: Из. ВГУ, 1981. – 160 с.


**Кукурудзяк Ю.Ю., Зелинский В.Й., Хударов С.О., Дрозд М.С. Вибрации и их погашения при движении автомобиля**


*Представлен расчет случайных колебательных процессов, которые имеют место при движении автомобиля. Рассмотрены схема виброгасителя вынужденных колебаний с дополнительной массой и применение виброгасителя на легковых и грузовых автомобилях.*



***Ключевые слова:*** *вынужденные колебания, вибрации, гашения колебаний, виброгаситель.*


**Kukurudzyak Y.Y., Zelinskiy V.J., Khudarov S.A., Drozd M.S. Vibrations and their redemptions are at motion of car**


*The calculation of casual swaying processes which take place at motion of car is presented. Will consider the chart of vibration absorber of the forced vibrations with additional mass and application of vibration absorber on passenger and freight cars.*



***Key words:*** *forced vibrations, vibrations, extinguishments of vibrations, vibration absorber.*



| | |
|---|---|
| Кукурудзяк Ю.Ю., | к.т.н., доцент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», ВНТУ, м. Вінниця, Україна, e-mail: atm-vntu@ukr.net. |
| Зелінський В.Й., | асистент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», ВНТУ, м. Вінниця, Україна. |
| Хударов С.О., | студент ВНТУ, м. Вінниця, Україна. |
| Дрозд М.С., | студент ВНТУ, м. Вінниця, Україна. |



Рецензент: д.т.н., проф. Поляков А.П.