

MANIFESTATION OF THE EFFECT OF ASYMMETRY OF ELASTIC CHARACTERISTICS OF PULSE-LOADED OSCILLATING SYSTEMS

Olshanskiy Vasil,

Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor
Petro Vasilenko Kharkiv Technical University of Agriculture

Slipchenko Maksym,

Ph.D., Associate Professor
Petro Vasilenko Kharkiv Technical University of Agriculture

The study of nonlinear oscillations of mechanical systems are relevant problems. Despite the relatively long history and significant achievements in this field of mechanics [1], the study of nonlinear oscillations is still given considerable attention.

Without dwelling on numerous publications on this topic in the form of scientific articles, we note only the monographs of recent years of Ukrainian scientists [2-4], where there are relevant literature reviews and analysis of the current state of the problem. Mechanical systems with asymmetric elasticity characteristics are common in engineering. These are systems where, in addition to the main supporting elastic element, an additional elastic element, an amplifier or a motion limiter, is installed. For example, in vehicle suspensions, such additional elements may be a suspension or a buffer. The study of the laws of motion of nonlinear oscillators is also needed to develop effective methods of vibration protection of machine operators, methods of suspension of vehicles and more.

This dynamic effect consists in the fact that the extreme displacement of the forward stroke of the oscillating system in the direction of the force impulse may be less than the maximum displacement of the reverse stroke of the unloaded system. This displacement relationship is manifested in systems with an asymmetric elasticity characteristic only under certain conditions, which are specified in the work. Systems in which this effect can occur include oscillators with a piecewise linear force characteristic [5, 6], beams with binary supports [7-9], beams supported by discrete one-sided elastic supports [10, 11] or a one-sided elastic foundation. [12]. This applies to membranes and plates of limited size, lying on a one-sided elastic base [13, 14]. To study the motion, the method of fitting solutions [15] is used, as well as the method of integral equations with their numerical implementation by reducing them to algebraic ones. In addition to ideally elastic piecewise linear systems, in article also considers the motion of an essentially nonlinear dissipative system with one degree of freedom, namely a quadratic nonlinear oscillator with dry friction, where the exact solution of the dynamic problem is expressed in terms of Jacobi elliptic functions.

Provided that the force characteristic is formed by segments of two direct movements of the oscillator is described by the equation:

$$m\ddot{x} + [c_1 + c_2 \text{sign}(x)]x = P \cdot [H(t) - H(t - \tau)], \quad (1)$$

where $c_1 > c_2 > 0$ – elasticity characteristics; m – mass of system; $x(t)$ – moving of system in time t ; P – magnitude of the instantaneous applied force; $H(t), H(t - \tau)$ – single functions of Heaviside; τ – pulse duration; dot over x means derived from t .

The axis ox and force P are directed vertically downwards.

Equation (1) is supplemented by zero initial conditions:

$$x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0. \quad (2)$$

Analytical solution (1) was obtained in [1], and to visualize the effect we use the results of numerical integration on the computer of equation (1) under the conditions $m = 1$ kg; $c_1 = 150$ H/M; $c_2 = 75$ N/m; $P = 3$ N, for three values of τ , graphs $x(t)$ are shown in Fig. 1.

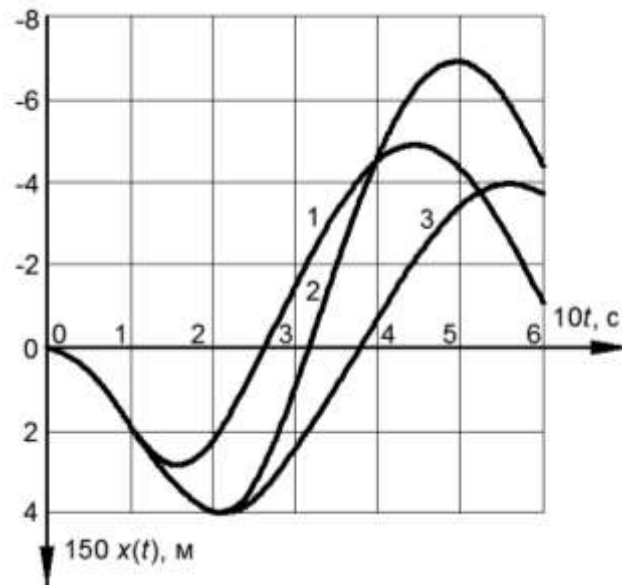


Figure 1. Graphs of oscillator movements:
 1 – $\tau = 0,10472$ s; 2 – $\tau = 0,20944$ s; 3 – $\tau = 0,33682$ s.

In the graphs denoted by the numbers 1 and 2, the amplitude displacements of the system up are greater than the amplitude displacements of the system down, where the force pulse was directed. On the graph marked with the number 3, the amplitude movements down and up are the same.

The study confirmed that with a short-term pulse load of the system with an asymmetric elastic characteristic, the maximum displacements of the system in the direction of the pulse may be less than the maximum displacements in the opposite direction. In the case of a piecewise linear force characteristic, this effect is related to the duration (width) of the pulse and is not related to the shape and height of the pulse.

The motion of a quadratically nonlinear oscillator with dry friction is described by the differential equation:

$$m\ddot{x} + c_1x + c_2x^2 + F_{fr} \text{sign}(\dot{x}) = 0, \quad (3)$$

where F_{fr} – dry friction force.

Assume that the oscillator is given an instantaneous pulse $S = m\nu_0$ in the direction of positive x . In the case of the opposite direction of the pulse, the effect of asymmetry will not be manifested.

Therefore, the initial conditions to (3) are:

$$x(0) = 0; \dot{x}(0) = \nu_0, \quad (4)$$

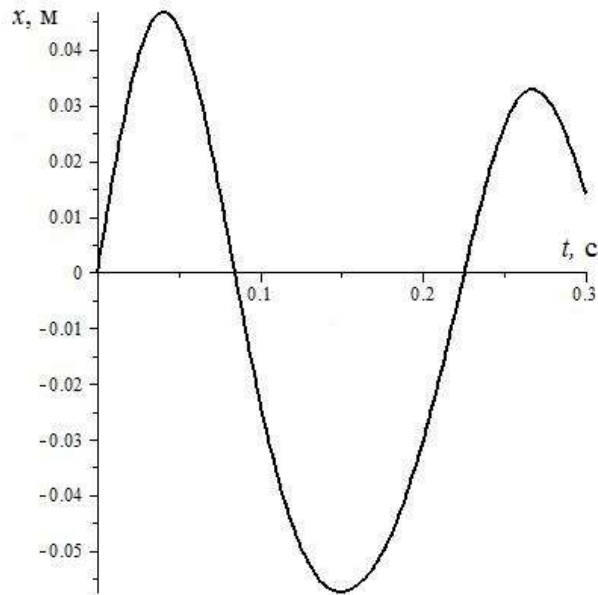


Figure 2. Graph of movements at $\nu_0 = 1,8$ m/s

The graph of displacements (Fig. 2) is obtained by numerical integration of equation (3) on a computer under initial conditions (4) and initial data: $m = 1$ kg; $c_1 = 10^3$ N/m; $c_2 = 10^4$ N/m²; $F_{fr} = 4$ N. As we can see, the deviation of the oscillator in the direction of negative displacements is greater than the displacement in the direction of the pulse, which confirms the effect of asymmetry.

Thus, it is shown that the effect of asymmetry of the elastic characteristic can be manifested under the action of resistance forces, which are always present in real oscillatory systems.

References:

1. Ларин А. А. Очерки истории развития теории механических колебаний. Севастополь : Вебер, 2013. 403 с.
2. Аврамов К. В., Михлин Ю. В. Нелинейная динамика упругих систем Том 1: Модели, методы, явления. Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2010. 704 с.
3. Митропольський Ю. А. Избранные труды в 2-х томах. Киев: Наукова думка, 2012. 504 с.
4. Пукач П. Я. Якісні методи дослідження нелінійних коливальних систем. Львів : Львівська політехніка, 2014. 288 с.

5. Ольшанський В. П., Ольшанський С. В. Про динамічний ефект несиметрії силової характеристики коливальної системи при імпульсному навантаженні. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2018. № 33 (1309). С. 33–36.
6. Ольшанський В. П., Ольшанський С. В. Про ефект несиметрії силової характеристики коливальної системи при механічному ударі. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. № 2 (89). С. 36-40.
7. Ольшанський В. П., Ольшанський С. В. Коливання балки з бінарним закріпленням країв при імпульсному навантаженні. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. 2018. № 27 (1303). С. 67–73.
8. Ольшанський В. П., Ольшанський С. В. Динамічне згинання балки з бінарним закріпленням країв. *Інженерія природокористування*. 2019. № 1 (11). С. 68–73.
9. Ольшанський В. П., Бурлака В. В., Сліпченко М. В. Імпульсне згинання балки з бінарними крайовими умовами. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. № 4 (95). С. 16-24. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2019-4-2>
10. Ольшанський В. П., Ольшанський С. В. Деформування імпульсом балки, однобічно підкріпленої пружною опорою. *Механіка та машинобудування*. 2018. № 1. С. 37–46.
11. Ol'shanskii V. P., Burlaka V. V., Slipchenko M. V. Dynamics of Impulse-Loaded Beam with One-Sided Support Ties. *Int Appl Mech*. 2019. 55. P. 575–583. <https://doi.org/10.1007/s10778-019-00979-7>
12. Ольшанський В. П., Бурлака В. В., Сліпченко М. В. Імпульсне навантаження балки, що підкріплена однобічною пружною основою. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарств: Проблеми надійності машин*. 2019. Вип. 205. С. 82-93.
13. Ольшанський В. П., Ольшанський С. В., Сліпченко М. В. Нестационарні коливання мембрани на однобічній пружній основі, спричинені силовим імпульсом. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. 2018. № 18 (1333). С. 249–255.
14. Ольшанський В. П., Спольнік О. І., Бурлака В. В., Сліпченко М. В. Коливання прямокутної пластини на однобічній пружній основі при імпульсному навантаженні. *Інженерія природокористування*. 2019. № 2(12). С. 96-101.
15. Ольшанський В. П., Сліпченко М. В., Спольнік О. І., Бурлака В. В. Нелінійні коливання дисипативних осциляторів. Харків : Міськдрук, 2020. 268с.