

**С.А.СОКОЛОВСКИЙ**, проректор, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков;

**Е.Н.ГРИНЧЕНКО**, канд. техн. наук, зам. нач. каф., Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков;

**Н.И.МИСЮРА**, канд. техн. наук, зам. нач. каф., Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков;

**Д.Л.СОКОЛОВ**, канд. техн. наук, доцент, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков

## **СРАВНЕНИЕ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРОЩЕЛКИВАНИЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ**

Проведений порівняльний аналіз віброзахисних якостей і властивостей механічних систем з прокладуванням з лінійною або нелінійною характеристикою несучого зв'язку при використанні їх як додатковий віброізолятор, встановлюваний на транспортний засіб для захисту небезпечного вантажу. Показано, що системам з лінійною характеристикою несучого зв'язку слід надавати перевагу у використанні з погляду забезпечення якіснішої віброізоляції небезпечного вантажу.

A comparative analysis vibroprotection qualities and properties of mechanical systems with flipping with linear or nonlinear characteristics of the carrier connection when using them as an extra shock absorbers installed on the vehicle for the protection of dangerous goods. It is shown that a system with linear characteristic carrier connection is preferable to use in terms of ensuring better vibration control of dangerous cargo.

Одной из основных причин выхода из строя различных механизмов и приборов, которые расположены в движущихся объектах, является вредное воздействие вибрации, которая вызывается работой двигателя транспортного средства, влиянием микропрофиля дорожного покрытия, различных дополнительных механизмов и т.д. В связи с этим актуальной проблемой является создание виброзащитной системы и оценка ее эффективности. Настоящая работа является продолжением исследований, опубликованных в работах [1, 2, 3].

В отличие от предыдущих работ здесь исследовалось поведение механической системы с прощелкиванием приведенной на рис. 1, в качестве виброзащитной системы с квазиулевого жесткостью (ВСКЖ), при установке ее на пружину, имеющую нелинейную характеристику или серийный виброизолятор с нелинейной характеристикой. В работе также проводилось сравнение с характеристиками ВСКЖ при использовании в качестве несущей связи пружины с линейной характеристикой.

При расчетах рассматривалась кубическая нелинейная характеристика, как наиболее часто встречающаяся при использовании серийных виброизоляторов. Для оценки виброзащитных свойств системы будем использовать то

ее свойство, что она является эффективной при работе в резонансной области амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

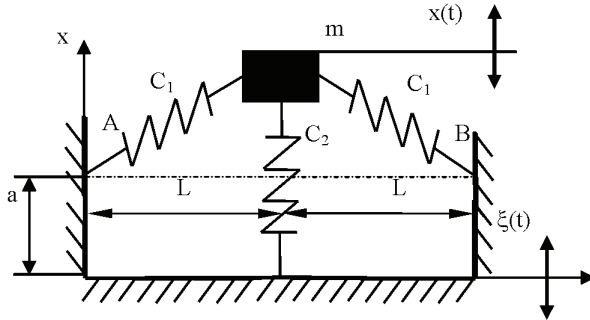


Рисунок 1 – Расчетная схема механической системы с прощелкиванием

При построении АЧХ исходим из уравнения движения механической системы с прощелкиванием в безразмерных координатах. Для ВСКЖ с линейной несущей связью имеем уравнение:

$$q'' + \tilde{\beta}q' + 2q \left( 1 - \frac{(1+\alpha)}{\sqrt{1+\tilde{\varepsilon}q^2}} \right) + \tilde{C}q = \sin \tilde{\omega}\tau, \quad (1)$$

где  $\tilde{\beta} = \frac{\beta}{\sqrt{C_1 m}}$ ;  $\alpha = \frac{\Delta}{L}$ ;  $\tilde{\varepsilon} = \frac{P_0^2}{L^2 \omega_0^4}$ ;  $\tilde{C} = \frac{C_2}{C_1}$ ;  $\tilde{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}$ . Здесь через ' обозначена производная по  $\tau$ .

Для ВСКЖ с нелинейной несущей связью имеем уравнение:

$$q'' + \tilde{\beta}q' + 2q \left( 1 - \frac{(1+\alpha)}{\sqrt{1+\tilde{\varepsilon}q^2}} \right) + \tilde{C}q(1 + k\tilde{\varepsilon}_1 q^2) = \sin(\tilde{\omega}\tau + \theta), \quad (2)$$

где  $\tilde{\varepsilon}_1 = \frac{P_0}{\omega_0^4}$ ,  $q = \frac{\omega_0^2}{P_0} x$ , остальные обозначения такие же как и в уравнении (1).

Разложив корень в степенной ряд получим:

для уравнения (1):

$$q'' + \tilde{\beta}q' + (\tilde{C} - 2\alpha)q + (1+\alpha)\tilde{\varepsilon}q^3 = \sin(\tilde{\omega}\tau + \theta), \quad (3)$$

где  $\theta$  – некоторый неизвестный фазовый угол.

Для уравнения (2):

$$q'' + \tilde{\beta}q' + (\tilde{C} - 2\alpha)q + ((1+\alpha)\tilde{\varepsilon} + k\tilde{C}\tilde{\varepsilon}_1)q^3 = \sin(\tilde{\omega}\tau + \theta), \quad (4)$$

которое отличается от уравнения (3) только коэффициентом при  $q^3$ .

При построении АЧХ системы воспользуемся методом прямой линейари-

зации [4] и будем искать решение уравнения в виде  $q_1 = q \sin \tilde{\omega} t$ .

В результате получим алгебраическое уравнение, связывающее частоту колебаний с амплитудой на этой частоте

для уравнения (3):

$$\tilde{\omega}^4 + (\tilde{\beta}^2 - 2C_0 - 1,5\varepsilon_0 q_1^2) \tilde{\omega}^2 + (C_0 + 0,75\varepsilon_0 q_1^2)^2 - \frac{1}{q_1^2} = 0, \quad (5)$$

где  $C_0 = \tilde{C} - 2\alpha$ ,  $\varepsilon_0 = (1 + \alpha)\tilde{\varepsilon}$ .

Для уравнения (4):

$$\tilde{\omega}^4 + (\tilde{\beta}^2 - 2C_0 - 1,5\varepsilon_0 q_1^2) \tilde{\omega}^2 + (C_0 + 0,75\varepsilon_0 q_1^2)^2 - \frac{1}{q_1^2} = 0, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_0 = ((1 + \alpha)\tilde{\varepsilon} + k\tilde{C}\tilde{\varepsilon}_1)$ ,  $C_0 = \tilde{C} - 2\alpha$ .

Используя выражение (6) построим АЧХ системы при гармоническом возбуждении основания и различных значениях коэффициента  $\alpha$ , описывающего геометрические параметры пружин–корректоров исследуемой виброзащитной системы. Эти графики приведены на рис. 2. Там же приведены и скелетные кривые рассматриваемой системы. При этом принимались такие параметры:  $\alpha = 0, 1; 0,25$  и  $0,5$  (кривая 3, 2 и 1 соответственно).

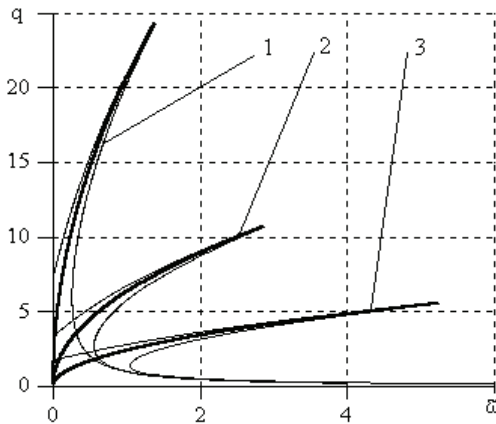


Рисунок 2 – АЧХ ВСКЖ при различных значениях коэффициента  $\alpha$

При анализе графиков АЧХ виброзащитной системы с нелинейной упругой характеристикой несущей связи можно отметить, что при увеличении параметра  $\alpha$  происходит ухудшение виброизолирующих свойств виброзащитной системы. Это объясняется тем, что эффективная виброизоляция обеспечивается только в том частотном диапазоне, где реализуется единственный периодический режим с малыми амплитудами колебаний (зарезонансная область АЧХ).

Можно отметить, что с увеличением параметра  $\alpha$  происходит ухудшение виброзащитных свойств системы. Однако, при малых значениях  $\alpha$  происходит сужение области существования квазиулевого жесткости в системе с прощелкиванием [1], и правильное задание этого коэффициента очень важно для обеспечения эффективной работы предлагаемой системы.

В продолжение исследований рассмотрим влияние демпфирования на виброзащитные свойства ВЗС. Для этого были построены АЧХ системы при различном значении демпфирования  $\tilde{\beta} = 0,055$  (кривая 1),  $\tilde{\beta} = 0,078$  – (кривая 2) и  $\tilde{\beta} = 0,124$  (кривая 3), приведенные на рис. 3.

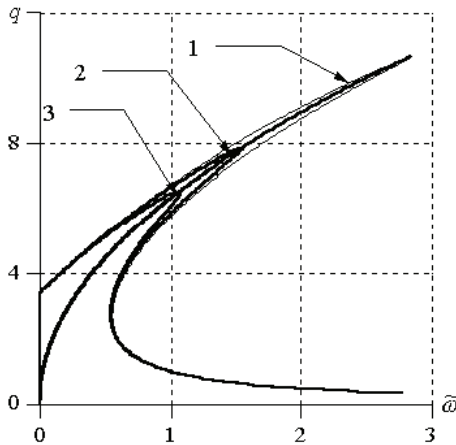


Рисунок 3 – Анализ влияния демпфирования на виброзащитные свойства исследуемой системы

Можно отметить, что правильное задание значения коэффициента демпфирования очень важно. С увеличением коэффициента демпфирования система становится более жесткой, что приводит к увеличению частотного диапазона возмущающих сил, на котором возможно возникновение колебаний с большой амплитудой.

В заключение рассмотрим влияние параметра  $\tilde{\epsilon}$  на вид АЧХ исследуемой системы. Были проведены расчеты, результаты которых приведены на рис. 4. Здесь при неизменности остальных параметров менялось значение коэффициента  $\tilde{\epsilon}$ . Так, на этом рисунке кривая 1 соответствует значению  $\tilde{\epsilon} = 5,055$ ; кривая 2 – 36,87 и кривая 3 – 188,25.

Отметим, что при увеличении параметра  $\tilde{\epsilon}$  происходит ужесточение системы, и как следствие, уменьшение максимальных резонансных амплитуд колебаний и увеличение области частот, в которых возможны бифуркации решения.

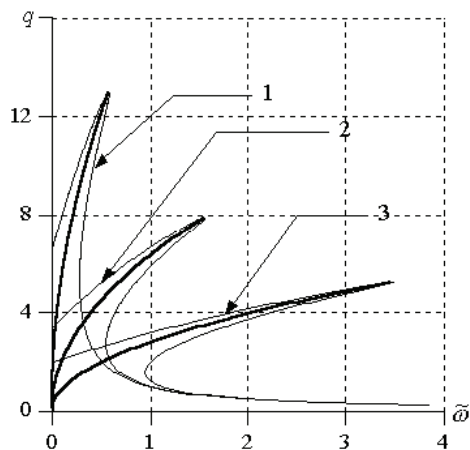


Рисунок 4 – АЧХ системы при различных значениях  $\varepsilon \tilde{\omega}$

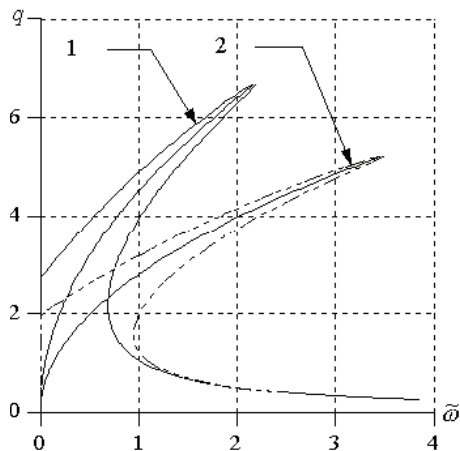


Рисунок 5 – Сравнение АЧХ системы при линейной и нелинейной упругой характеристике несущей связи.

Поэтому, можно сделать вывод о ухудшении виброзащитных свойств системы при увеличении амплитуды возмущающей силы. В связи с этим знание рабочих режимов проектируемой ВЗС представляется очень важным, т.к. в этом случае можно повлиять на характер АЧХ с помощью изменения геометрических или же статических характеристик проектируемой системы.

Представляет интерес также сравнение АЧХ исследуемой системы при линейной и нелинейной упругих характеристиках несущей связи. АЧХ системы с линейной характеристикой приведена на кривой 1, а АЧХ с нелинейной — на кривой 2 рис. 5.

Сравнивая графики, приведенные на рис. 5 можно отметить, что при прочих одинаковых условиях АЧХ ВЗС с нелинейной упругой связью являются более жесткими, что приводит к увеличению минимальной частоты внешнего воздействия, для которой данная ВЗС будет эффективно работать, поскольку в области возможных бифуркаций решения случайный толчок или изменение начальных условий может вывести систему на устойчивый режим работы с большой амплитудой колебаний.

В результате проведенного анализа можно отметить, что при замене линейной упругой несущей связи на нелинейную происходит снижение эффективности виброизоляции из-за ужесточения системы, поэтому при возможности выбора для установки устройства с линейной или нелинейной характеристиками следует предпочитать устройство с линейной упругой характеристикой несущей связи. При невозможности использования указанного устройства следует по возможности использовать более мягкую систему, т.е. выбрать параметр  $\alpha$  по возможности минимальным. Однако в этом случае происходит сближение положений устойчивого равновесия к началу отсчета, что может повлечь за собой переход системы к колебаниям с большими амплитудами около одного из устойчивых положений равновесия вследствие случайных воздействий на систему.

**Список литературы:** 1. Гапонов В.С. Выбор параметров виброзащитной системы с квазиулученной жесткостью на основе исследования ее динамических свойств / Гапонов В.С., Гринченко Е.Н. // Вестник Харк. гос. политехн. университета. – 1999. – Вып. 53. Динамика и прочность машин. – С. 78-85. 2. Драгун С.В. К вопросу оценки эффективности виброзащитной системы с квазиулученной жесткостью / Драгун С.В., Гринченко Е.Н., Чернобай Г.А. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Вып. 5. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С. 87-90. 3. Ольшанский В.П. О возможности применения системы с прощелкиванием для виброизоляции объектов прожарной техники / Ольшанский В.П., Гринченко Е.Н. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Вып. 4. – Харьков: ХИПБ, 1998. – С. 136-141. 4. Каудерер Г. Нелинейная механика // Каудерер Г. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. – 771 с.

*Поступила в редколлегию 18.11.2010.*