SOI: 1.1/TAS DOI: 10.15863/TAS
International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science
p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)
Year: 2021 Issue: 09 Volume: 101
Published: 13.09.2021 http://T-Science.org

QR – Issue QR – Article

**Anvar Ergashovich Qudratov**
Samarkand State Architecture and Civil Engineering Institute
Student PhD to Department of
Theoretical and Applied Mechanics

# ON THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE PARAMETERS OF A VIBRATION PROTECTION SYSTEM WITH A LIQUID LINK

***Abstract**: This article examines the dynamics of vibration protection systems with liquid connections. The main goal is to study the behavior of systems protected from vibration by hydraulic connections, under the influence of external harmonic excitation forces. In this case, it is considered that the elastic damping characteristic of the dynamic dampers has a hysteresis-type nonlinearity.*

***Key words**: Vibration, movements, vibration protector, damper, invariant points.*
***Language**: Russian*
***Citation**: Qudratov, A. E. (2021). On the problem of optimizing the parameters of a vibration protection system with a liquid link. *ISJ Theoretical & Applied Science, 09 (101)*, 307-310.
***Soi**: http://s-o-i.org/1.1/TAS-09-101-27 ***Doi**: crossref https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2021.09.101.27
***Scopus ASCC**: 2200.*

## О ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ С ЖИДКОСТНЫМ ЗВЕНОМ

***Аннотация**: В данной статье исследуется динамика виброзащитных систем с жидкостными соединениями. Основная цель - изучение поведения систем, защищенных от вибрации гидравлическими соединениями, под действием внешних сил гармонического возбуждения. В этом случае считается, что характеристика упругого демпфирования динамических демпферов имеет нелинейность гистерезисного типа.*

***Ключевые слова**: Колебания, движения, виброзащитник, гаситель, инвариантные точки.*

**Введение**

В своей жизни мы постоянно подвергаемся вибрациям различных деталей и механизмов в различных областях техники. Поэтому изучение их колебаний требует изучения математического моделирования рассматриваемых механических систем. По этим вопросам существует множество научных статей, монографий и учебников.

Математическое моделирование механических систем может выполняться разными способами. Моделирование нелинейных механических систем намного сложнее, чем моделирование линейных механических систем. Это в первую очередь связано с внутренними или внешними силами, действующими на механическую систему. Многие ученые изучали моделирование нелинейных механических систем. Мы остановимся на ограничениях математической модели узловых элементов гистерезиса.

Особенности упруго-характеристических механических систем с гистерезисом можно найти в работах Н. Н. Давиденкова, И. Л. Корчинского, Д. Ю. Панова, Ю. С. Сорокина.

Первое математическое выражение узла гистерезиса дано в работе Е.С. Сорокина. Основы метода малого параметра были заложены в классической работе А. Пуанкаре, а затем развиты А.М. Ляпуновым. Асимптотические методы нелинейных колебаний получили развитие в научных трудах Н.М. Крылова, Н.Н. Боголюбова, Ю.А. Митропольского, А.А. Андронова.

Анализ приведенной выше литературы по моделированию механических систем показывает, что нетрудно увидеть, что создание универсального языка моделирования для математического моделирования любой современной механической системы является современным требованием для математического моделирования сложных механических систем.

Снижение вибрации машин и механизмов - одна из важнейших задач по увеличению их прочности и срока службы. Виброзащита широко применяется для повышения безопасности движения и повышения сейсмостойкости инженерных сооружений. Монографии Сноудона, К.В.Фролова, М.З.Коловского, А.М.Алексеева, А.К.Сборовского, И.Ю.Иориша, С.В. Елисеева, Г.П. Нерубенко, В.С.Илинского, В.Б. Яковенко, М.А.Павловского, Л.М.Рийкова, О.М.Дусматова и др. по этому направлению можно перечислить. В данной работе исследуются стационарные и нестационарные случайные колебания динамических механических систем пожаротушения.

**Постановка задачи.**

В качестве тела, защищенного динамическим огнетушителем с жидкостным соединением, мы рассматриваем механическую систему, состоящую из двух твердых тел и одного жидкого тела.

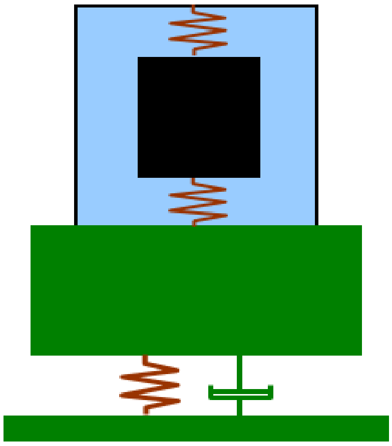

**Рисунок 1.**

Твердые тела движутся вперед по вертикальной оси. Состояния этих нагрузок определяются двумя обобщенными координатами. В этом случае x1 - координата первой нагрузки относительно основания; x2 - координата второй нагрузки относительно первой нагрузки.

Уравнения Эйлера-Лагранжа можно использовать для вывода дифференциальных уравнений движения механической системы, состоящей из этих двух нагрузок, относительно координат x1 и x2.

Колебательные движения рассматриваемой системы описывается матричным уравнением

$$A\ddot{X} + B\dot{X} + CX = F\,, \qquad (1)$$

где

$$\ddot{X} = \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{pmatrix},\ \dot{X} = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix},\ X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

$$F = \begin{pmatrix} -W_0(m_1 + m_2 + m_3) \\ -W_0(m_2 - m_в) \end{pmatrix},$$

векторы-столбцы обобщенных ускорений, скоростей, координат и сил инерции переносного движения соответственно,

$$A = \begin{pmatrix} m_1 + m_2 + m_3 & m_2 - m_в \\ m_2 - m_в & m_2 - m_n \end{pmatrix};$$

$$B = \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \end{pmatrix};\ C = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2(1 + i\nu) \end{pmatrix},$$

где $m_1$, $m_2$, $m_3$ – массы основания, подвеса и корпуса гасителя соответственно; $m_в$, $m_n$ – масса жидкости, вытесненной телом 2 и масса жидкости, присоединенной к твёрдому телу в ДГК; $k_1$, $k_2$ – коэффициенты вязкости демпфера и жидкости, ν – коэффициент, выражающий рассеяние энергии в упругом элементе ДГК.

**Решение задачи.**

Решения системы найдены с помощью передаточных функций. Так из системы уравнений (1), введя, оператор дифференцирования $p = \frac{d}{dt}$, перейдем от системы дифференциальных уравнений (1) к следующей системе линейных уравнений

$$\begin{aligned} & x_1\left[p^2(m_1 + m_2 + m_3) + pk_1 + c_1\right] + \\ & + x_2 p^2(m_2 - m_в) = -W_0(m_1 + m_2 + m_3); \\ & x_1 p^2(m_2 - m_в) + x_2\left[p^2(m_2 + m_n) + pk_2 + \right. \\ & \left. + c_2(1 + i\nu)\right] = -W_0(m_2 - m_в). \end{aligned} \qquad (2)$$

Решив линейную относительно переменных $x_1$ и $x_2$ систему уравнений (2), определим передаточные функции соответственно динамического гасителя колебаний и виброзащищаемого объекта с динамическим гасителем колебаний,

$$x_1(p)=\frac{W_0C_1(x_2,p)}{M(x_2,p)};\ x_2(p)=\frac{W_0C_2(p)}{M(x_2,p)} \quad (3)$$

$$M(x_2,p)=a_4p^4+a_3p^3+a_2p^2+a_1p+$$
$$+1+(b_2p^2+\alpha_1p+1)i\nu\ ;$$
$$C_1(x_2,p)=n_1^{-2}n_2^{-2}p^2(1+\mu_0+\mu_1-\mu_2)+$$
$$+n_1^{-2}(\alpha_2p+1+i\nu)(1+\mu_0+\mu_1)\ ;$$
$$C_2(p)=n_2^{-2}\mu_3(\alpha_1p+1);$$
$$n_1^2=\frac{c_1}{m_1};\ n_2^2=\frac{c_1}{m_1};\ \mu_0=\frac{m_2}{m_1};\ \mu_1=\frac{m_3}{m_1};$$
$$\mu_1=\frac{(m_2-m_в)^2}{m_1(m_2+m_n)};\ \mu_3=\frac{m_2-m_в}{m_2+m_n};$$
$$\alpha_1=\frac{k_1}{c_1};\ \alpha_2=\frac{k_2}{c_2};\ a_1=\alpha_1+\alpha_2;\ b_1=\alpha_1;$$
$$a_2=n_1^{-2}(1+\mu_0+\mu_1)+n_2^{-2}+\alpha_1\alpha_2;$$
$$b_2=n_1^{-2}(1+\mu_0+\mu_1)\ ;$$
$$a_3=\alpha_1n_2^{-2}+\alpha_1n_1^{-2}(1+\mu_0+\mu_1)\ ;$$
$$a_4=n_1^{-2}n_2^{-2}(1+\mu_0+\mu_1-\mu_2)\ .$$

Переходя в (3) из переменной $p$ к комплексной переменной $i\omega$, после преобразований находим абсолютные величины переменных $x_1$ и $x_2$ –амплитудно-частотные характеристики виброзащищаемого объекта и динамического гасителя колебаний

$$x_1=\frac{W_0}{|M|}\sqrt{(a_4\omega^2-b_2)^2+b_2^2(\alpha_2\omega+\nu)^2}$$
$$x_2=\frac{W_0\mu_3}{|M|}\sqrt{1+\alpha_1^2\omega^2} \quad (4)$$

Как видно из структуры (4) передаточные функции можно представить в виде

$$W(\omega)=\left[\frac{A^2+B^2}{C^2+D^2}\right]^{1/2}; \quad (5)$$

Оптимизация параметров рассматриваемой системы приводится к условию минимума максимальных значений передаточной функции защищаемого объекта.

В данной работе рассматривается оптимизация параметров системы при $k_1=0$. На основе выражения (5) можно оценить влияние параметров системы на эффективность виброгашения колебаний. Эффективность виброгашения на фиксированной частоте амплитудно-частотной характеристики (5) необходимо оценить влияние параметров системы на эффективность виброгашения. Эффективность виброгашения на фиксированной частоте определяется значением динамического коэффициента передачи. Коэффициент $k_2$ линейным образом входит только в выражения $B$ и $D$, то при

$$\frac{A}{C}=\frac{B}{D} \quad (6)$$

динамический коэффициент передачи не будет зависит от этого параметра.

Поскольку выполняется условие (6), поскольку коэффициент динамической передачи не зависит от параметра b, получаем следующее биквадратное уравнение:

$$\omega^4-2\frac{(1+\mu_0+\mu_1)R^2+1}{2(1+\mu_0+\mu_1)-\mu_2}+\frac{R^2}{2(1+\mu_0+\mu_1)-\mu_2}=0. \quad (7)$$

Обозначим положительные корни последнего уравнения через $\omega_1$ и $\omega_2$.

Так, на графике амплитудно-частотной характеристики находится инвариантные точки $P_1(\omega_1;W(\omega_1))$ и $P_2(\omega_2;W(\omega_2))$, которые при изменении параметра $k_2$ остаются неподвижными. Наличие аналогических инвариантных точек на графиках амплитудно-частотных характеристик виброзащитных систем с традиционными динамическими гасителями с упругодемпфирующими элементами было показано в [1,2].

Эта амплитудно-частотная характеристика показана на рисунке 2 как 0 из k; 0,02; 0,03; полученные в графическом виде значений. Как видно из графиков, эти три графика пересекаются в двух инвариантных точках для разных значений k.

Для амплитудно-частотной характеристики увеличение значения k до бесконечности (88)

$$W(\omega)=\frac{1}{\left|1-(1+\mu_0+\mu_1+\mu_2)\omega^2\right|} \quad (8)$$

от (7) и (8) до

$$\omega_1^2+\omega_2^2=\frac{2}{21+\mu_0+\mu_1} \quad (9)$$

С другой стороны (8)

$$\omega_1^2+\omega_2^2=\frac{2(1+\mu_0+\mu_1)+2}{2(1+\mu_0+\mu_1)-\mu_2} \quad (10)$$

В результате уравнения последних двух выражений получаем следующее:

$$R=\frac{\sqrt{1+\mu_0+\mu_1-\mu_2}}{1+\mu_0+\mu_1} \quad (11)$$

Полученное окончательное выражение представляет собой условие оптимальной настройки системы, защищенной от вибраций.

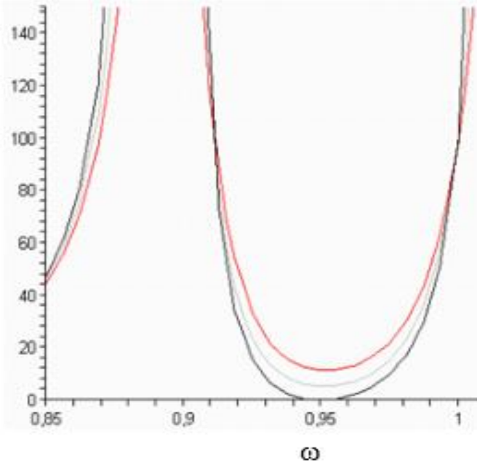


**Рисунок 2.**

Передаточные функции систем динамической закалки с жидкими соединениями более аргументированы, чем передаточные функции систем динамической закалки, состоящих из твердых тел.

Системы динамической закалки с жидкими соединениями при определенных условиях эквивалентны системам динамической закалки, состоящим из твердых тел.

Системы виброзащиты с жидкостными соединениями не имеют возможности полностью погасить защищаемый объект при подвешивании нагрузки на динамический огнетушитель.

**References:**


1. (1981). *Vibracii v tehnike*/ Sprav. T. 6, / pod red. K.V. Frolova. (p.456). Moscow: Mashinostroenie.
2. Den-Gartog, Dzh.P. (1960). *Mehanicheskie kolebanija*. - Moscow: Fizmatgiz, . -580.
3. Radysh, Jy.V., & Dusmatov, O.M. (1987). *Optimizacija parametrov dinamicheskogo gasitelja kolebanij s zhidkostnym zvenom*. -15s. - Rus. Dep. v UkrNIINTI. 16.12.87, №3162 Uk87.
4. Sorokin, E.S. (1960). *K teorii vnutrennego trenija pri kolebanijah uprugih sistem*. (p.132). Moscow: Gostehizdat.
5. Baujer, G.F. (1966). Ustanovivshiesja garmonicheskie i kombinacionnye kolebanija nelinejnogo dinamicheskogo poglotitelja kolebanij. TR. Amer. O-va inzh.-mehanikov. *Prikladnaja mehanika*, t.33, №1.
6. Briskin, E.S. (1980). Dempfirovanie kolebanij mehanicheskih sistem dinamicheskimi gasiteljami s polostjami, chastichno zapolnennymi sypuchimi sredami. *Izvestija vuzov. Stroitel`stvo i arhitektura*, №2, pp. 26-30.
7. Buzhinskij, V.A. (1979). O kolebanijah tonkostennoj konstrukcii s zhidkost`u pri nalichii gidrodinamicheskogo gasitelja. *PMM*, t. 43, vypusk 6, pp. 1095-1101.
8. Buranov, H.M. (2004). Issledovanie ustojchivosti vibrozashhitnyh sistem s uprugo-dissipativnymi harakteristikami gisterezisnogo tipa. *Problemy mehaniki*, № 5-6, pp. 3-7.
9. Dusmatov, O.M., & Buranov, H.M. (2006). Issledovanie ustojchivosti vibrozashhitnyh sistem po grafiku amplitudy kolebanij. *Uzbekskij matematicheskij zhurnal*, №3, pp. 36-39.
10. Dusmatov, O.M., & Buranov, H.M. (2004). *Modelirovanie dinamiki i analiz ustojchivosti kombinirovannyh sistem vibrozashhity*. Doklady i tezisy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Infokommunikacionnye i vychislitel`nye tehnologii v nauke, tehnike i obrazovanii». (pp.194-197). Tashkent.
11. Dusmatov, O.M., & Buranov, H.M. (2004). Ob ustojchivosti vibrozashhitnyh sistem s uprugimi i zhidkostnymi zven`jami. *Problemy arhitektury i stroitel`stva*, №2, pp. 21-24.
12. Dusmatov, O.M., & Buranov, H.M. (2004). *Ustojchivost` nelinejnyh sistem vibrozashhity s uchetom dissipacii jenergii*. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Differencial`nye uravnenija s chastnymi proizvodnymi i rodstvennye problemy analiza i informatiki». (pp.37-38). Tashkent, t 1.