

СВЕДЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ К ЗАДАЧЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА

Фомичева Е.В., кандидат технических наук, доцент

Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени

А.Д. Крячкова

Новосибирский государственный технический университет

Фомичев П.А., кандидат технических наук, доцент

Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени

А.Д. Крячкова

Новосибирский государственный технический университет

***Аннотация.** Критерий оптимальности виброзащитной системы должен по возможности точно и полно оценивать ее качества (соответственно и объекта виброзащиты) с различных точек зрения. Однако отразить все качества виброзащитной системы, найти их математическую зависимость от параметров виброзащитной системы и объединить в одном критерии обычно не удается. В статье поставлена задача параметрической оптимизации виброизолирующих опор нового типа, а также выбран критерий качества параметрической оптимизации.*

***Ключевые слова:** виброзащита, вынужденные колебания, виброзащитные системы.*

Известно, что виброзащитная система является оптимальной, если она обеспечивает экстремум принятого критерия качества [1]. Для виброзащитных систем критерий качества виброзащиты является функционалом от выходных координат оптимизируемых параметров виброзащитной системы.

Так как в рассматриваемой виброзащитной системе ПВО [2] изолируемый объект связан непосредственно со штоком гидравлического цилиндра, поэтому выходные координаты здесь являются одновременно фазовыми координатами изолируемого объекта.

Выбор критерия оптимальности в первую очередь определяется назначением виброзащитной системы – уменьшение уровня вибраций изолируемого объекта. Поэтому целесообразно ставить вопрос о выборе таких параметров рассматриваемых виброзащитных систем, которые при заданном давлении и расходе рабочей жидкости в гидравлической части, заданных габаритно-массовых характеристиках, определенной себестоимости обеспечивали бы наименьший уровень вибраций изолируемого объекта.

Известные критерии [1] ограничивают максимальные величины абсолютного ускорения и относительного перемещения изолируемого объекта только на начальной стадии переходного процесса, оставляя дальнейший его характер в значительной степени неопределенным. Вместе с тем желательно, чтобы виброзащитная система одновременно удовлетворяла требованию быстрого перехода в состояние равновесия при действии на изолируемый объект одиночных толчков и много-частотного вибрационного возбуждения. Поэтому необходимо дополнить критерии для устранения неоднозначности при больших t требованием оптимального быстрогодействия.

При одновременном учете требований к виброзащите и качеству переходного процесса критерием оптимальности будет функционал:

$$W = F_{cp}^2 + \xi_2 \cdot x_{cp}^2 \quad (1)$$

$$\text{где } F_{cp}^2 = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \left(F^2(t) + \gamma_1 \cdot [\dot{F}(t)]^2 \right) dt dw; \quad x_{cp}^2 = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \left([x(t)]^2 + \gamma_2 \cdot [\dot{x}(t)]^2 \right) dt dw$$

- интегралы, неявно характеризующие максимальное абсолютное ускорение и относительное смещение, а также время затухания переходного процесса.

Покажем, что для рассматриваемой виброзащитной системы в виде ПВО оптимизация ее параметров по критерию (1) является более предпочтительной.

Из энергетических соображений ясно, что на предельно достижимом уровне виброизоляции наиболее сильно сказывается неизбежная по конструктивным причинам ограниченность расхода жидкости в гидравлической части ПВО. В соответствии с формулой для полного расхода жидкости в гидравлической части ПВО [2]:

$$Q = \frac{2gCk^2\mu^2d^4D^2}{\gamma(D^2 - \delta^2) \cdot (D^2 - \delta^2 - kd^2)}, \quad (2)$$

где: $C = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}$ – коэффициент жесткости опоры (C_1, C_2 – коэффициенты жесткости пневматической и гидравлической составляющих опоры); k – количество дросселирующих отверстий в гидравлическом поршне; d – диаметр дросселирующих отверстий; D – диаметр гидравлического поршня; δ – диаметр штока гидравлического поршня; γ – объемный вес жидкости в гидравлической полости опоры; μ – коэффициент расхода.

Следовательно, мощность ПВО можно определить как

$$F_{\max} \cdot x_{\max} = Q \cdot p = \frac{2gpCk^2\mu^2d^4D^2}{\gamma(D^2 - \delta^2) \cdot (D^2 - \delta^2 - kd^2)}, \quad (3)$$

где p – давление рабочей жидкости в гидравлической части опоры.

Выражение (3) представляет собой фундаментальное ограничение, налагаемое на максимальное абсолютное ускорение и скорость относительного смещения изолируемого объекта. Оно состоит в том, что скорость при указанном уровне виброизоляции не может иметь величины меньшей, чем величина мощности ПВО, удовлетворяющая условию (3).

$$\text{Подставим (3) в (1): } W = F_{\max} + \xi_1 \frac{pV(p)}{F_{\max}}, \quad (4)$$

$$\text{где } V(p) = \int_0^{\infty} Q(p, t) dt$$

При исследовании функции (4) на экстремум получим:

$$F_{\max} = \sqrt{\xi_1 p V(p)}, x_{\max} = \sqrt{\frac{p V(p)}{\xi_1}}. \quad (5)$$

Зависимость эффективности виброзащиты от множителя в соответствии с формулами (5) приведена на рис. 1.

Известно, что при выборе малых значений ξ_1 в критериальной функции предпочтение при конструировании виброзащитной системы отдается малым силам (ускорениям), а при выборе больших значений ξ_1 , предпочтение отдается малым смещениям [3].

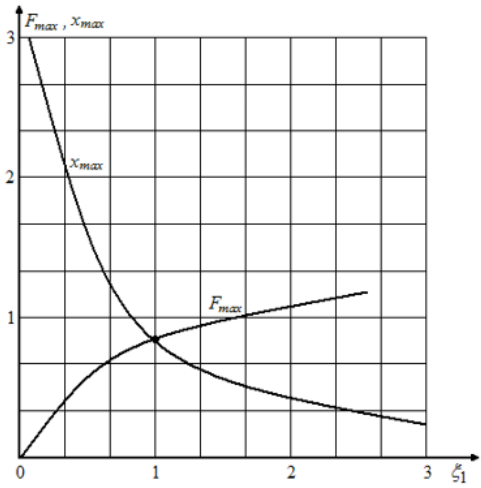


Рис. 1. Зависимость F_{\max} и x_{\max} от весового множителя ξ_1 .

Запишем уравнение ограничений, аналогичное (3), относительно осредненных величин: $F_{cp}^2 \cdot (\ddot{x}_{cp})^2 = p^2 Q^2 = \frac{4g^2 p^2 C^2 k^4 \mu^4 d^8 D^4}{\gamma^2 (D^2 - \delta^2)^2 \cdot (D^2 - \delta^2 - kd^2)^2}$. (6)

Равенство (6) указывает на то, что осредненная резкость относительных перемещений изолируемого объекта при заданном осредненном уровне виброизоляции не может иметь величину меньшую, чем величина квадрата мощности, удовлетворяющая условию (6).

Находим для осредненных величин

$$W = F_{cp}^2 + \xi_2 \frac{p^2 V_{cp}^2(p)}{F_{cp}^2}, \quad (7)$$

где $V_{cp}^2(p) = \int_0^{\infty} V^2(p) dt$, $V^2(p) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} Q^2(p, t) dt dt$.

Дифференцируя (7) по F_{cp}^2 и приравнявая к нулю полученное выражение,

запишем: $\frac{dW}{dF_{cp}^2} = 1 - \xi_2 \frac{p V_{cp}^2}{(F_{cp}^2)^2} = 0$, откуда

$$F_{cp}^2 = p \sqrt{\xi_2 V_{cp}^2}, \quad x_{cp}^2 = p \sqrt{\frac{V_{cp}^2}{\xi_2}}. \quad (8)$$

На рис. 2 приведена зависимость эффективности виброзащиты в виде осредненных величин F_{cp}^2 и x_{cp}^2 от постоянной ξ^2 в соответствии с (8).

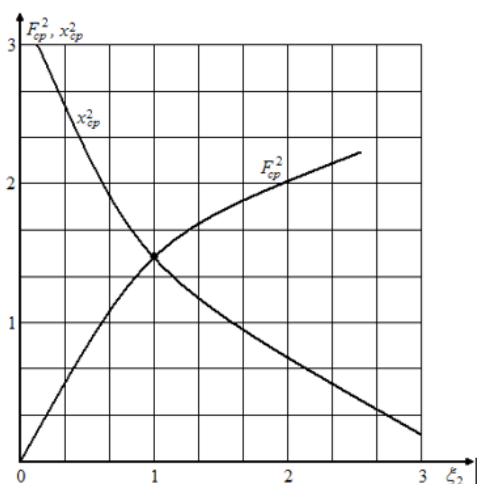


Рис. 2. Зависимость величин F_{cp}^2 и x_{cp}^2 от весового множителя ξ_2 .

Из представленных исследований и графиков видно, что с уменьшением давления в гидравлической части опоры преимущества известных критериев [1] уменьшаются в \sqrt{p} раз. Поэтому, учитывая наличие требований к виброзащите и качеству переходного процесса в критерии (1) с одной стороны, а с другой стороны тот факт, что давление в гидравлической полости опоры $p \approx 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, следует отметить, что оптимизация параметров ПВО по критерию (1) оказывается более предпочтительной.

Библиографический список

1. Фомичев П.А., Фомичева Е.В. Критерий качества параметрической оптимизации виброизолирующих опор // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 2. С. 167-169.
2. Фомичев П.А. Гидравлические виброизолирующие опоры нового поколения. / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева – Новосибирск, Новосибирская академия водного транспорта, 2005 г. – 190 с.
3. Фомичев П.А. Фомичева Е.В.. Автоматизация виброзащиты судовых двигателей Новосибирск: Сибирская издательская фирма «Наука» РАН, 2004. – 126 с.

REDUCTION OF THE OPTIMAL CONTROL PROBLEM TO THE PROBLEM OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF VIBRATION INSULATING SUPPORTS OF A NEW TYPE

Fomicheva E.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
 Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A.D. Kryachkova
 Novosibirsk State Technical University
 Fomichev P.A., candidate of technical sciences, associate professor
 Novosibirsk State Technical University

Annotation. *The criterion of optimality of the vibration protection system should, as accurately and fully as possible, evaluate its qualities (and, accordingly, the object of vibration protection) from various points of view. However, it is usually not possible to reflect all the qualities of the vibration protection system, find their mathematical dependence on the parameters of the vibration protection system and combine them in one criterion. The article sets the task of parametric optimization of vibration-insulating supports of a new type, and also selects a quality criterion for parametric optimization.*

Keywords: *vibration protection, forced vibrations, vibration protection systems.*