

УДК 621.825

*Сергей Панов*

### **АНАЛИЗ УПРУГОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУФТЫ С ПЛАСТИНАМИ**

*Рассмотрена характеристика упругой муфты с участком пониженной жесткости и проведен анализ влияния ее параметров на форму кривой, описывающей изменение упругого момента.*

Муфта [1] содержит две полумуфты 1 и 2 (рис. 1). Ведущая полумуфта 1 выполнена в виде ступицы с диском, на котором неподвижно закреплен стакан 3. В диске полумуфты 1 и стакане 3 имеются цилиндрические гнезда, в которых на опорах 4 установлены упругие элементы 5 (пакеты пружинных пластин или проволочек) и дополнительные упругие элементы 6 (одиночные пружинные пластины). Дополнительные упругие элементы установлены с предварительным осевым поджатием. В диске полумуфты 1 предусмотрены регулировочные винты 8, которые упираются в опоры 4 дополнительных упругих элементов 6, обеспечивая возможность регулирования величины их поджатия. Ведомая полумуфта 2 имеет форму звездочки со ступицей. Выступы на звездочке воздействуют на упругие элементы 5 и 6, причем выступы, взаимодействующие с упругими элементами 6, выполнены в виде вилок, в прорезях которых размещены упомянутые элементы 6. Такое исполнение обеспечивает постоянство кинематической связи между полумуфтами на всех режимах работы.

В связи с тем, что пластины дополнительных упругих элементов 6 при нагружении поперечным усилием могут потерять свою форму, они снабжены двумя поперечными гофрами, что придает их форме стабильность; для обеспечения более плавного протекания процесса перескока (резкое изменение знака прогиба пластины) концы этих пластин (элементы 6) заключены в эластичные, например резиновые, оболочки 7.

При работе муфты под нагрузкой происходит поворот полумуфты 1 относительно полумуфты 2. Одновременно с этим выступы звездочки ведомой полумуфты 2 нажимают на упругие элементы 5 и 6, создавая упругий момент реакции. При этом происходит алгебраическое сложение моментов упругих сил, создаваемых элементами 5 и 6.

Дополнительные упругие элементы 6 обладают той особенностью, что возникающий в результате их деформации упругий момент изменяется по синусоидальному закону в зависимости от угла закрутки полумуфт, в то время как элементы 5 дают линейный закон изменения упругого момента. Характеристика муфты формируется в результате алгебраического сложения характеристик основных и дополнительных упругих элементов.

© *Панов С.Л., 2007*

Соответствующим подбором жесткостей упругих элементов 5 и 6 можно получить суммарную характеристику муфты с участком квазиулевого жесткости (КЖ). Муфта проста по конструкции, обладает хорошей компенсирующей и демпфирующей способностью, допускает возможность регулировки величины поджатия упругих элементов КЖ и настройки на требуемую нагрузку. В соответствии с конструкцией муфты (рис. 1) зависимость величины упругого момента от угла закрутки полумуфт определяется выражением

$$M = nR^2(C_1 + C_2)\sin \varphi, \quad (1)$$

где  $n$  – количество пар упругих элементов,  $R$  – радиус размещения их продольных осей,  $C_1 = f(\varphi)$  – жесткость мембранного элемента;

$C_2 = const$  – жесткость линейного упругого элемента.

Для малых значений углов закрутки  $\sin \varphi \approx \varphi$  тогда выражение (1) принимает вид:

$$M = nR^2 \varphi (C_1 + C_2). \quad (2)$$

#### *Расчетные характеристики муфты*

Как было сказано выше, муфта содержит (рис. 1) упругие элементы двух типов: линейные и нелинейные. Характеристика муфты получается в результате сложения моментов упругой реакции от линейных и нелинейных элементов:

$$M = M_l + M_{нл} = nR(F_l + F_{нл}), \quad (3)$$

где  $F_l$  – сила упругой реакции линейного, а  $F_{нл}$  – нелинейного элемента;  $n$  – количество пар упругих элементов обоих типов,  $R$  – радиус размещения их осей.

Как известно из курса сопротивления материалов [2], для балки на двух шарнирных опорах с центральным нагружением поперечной силой  $F_l = c\delta$ , где  $\delta$  – величина прогиба балки,  $c = 48EJ_l/l^3$  – жесткость балки.

Нелинейные упругие элементы (рис. 2), выполненные в виде балки, сжатой вдоль продольной оси, весьма подробно исследованы в [3], а также работах, проводившихся под руководством П.М. Алабужева [4,5,6]. В [6] показано, что характеристика такого элемента может быть с достаточной для практических расчетов точностью аппроксимирована выражением

$$F_{нл} = F_0 \sin \pi\delta/\Delta, \quad (4)$$

где  $F_0$  – максимальная реакция;  $\Delta$  – значение прогиба, при котором реакция  $F_{нл}$  равна нулю (рис. 2);  $\delta \approx R\varphi$  – величина прогиба,  $\varphi$  – угол относительного поворота полумуфт.

В работах [4,5], посвященных теоретическому исследованию и разработке методик расчета поджатых балок, показано, что для балок с шарнирными опорами

$$F_0 = 6,084 \cdot 16EJ\sqrt{J/S/l^3}, \quad (5)$$

$$\Delta = 2,028\sqrt{J/S}, \quad (6)$$

где  $E$  – модуль упругости материала балки,  $J$  – момент инерции сечения,  $S$  – площадь сечения,  $l$  – длина распрямленной балки.

Для получения характеристики с участком КЖ необходимо, чтобы балка была поджата продольной силой, равной критической  $P_{кр}=\pi^2 EJ/l^2$  [5], что соответствует величине поджатия

$$\Delta l = \pi^2 J / Sl. \quad (7)$$

Методика расчета на прочность таких упругих элементов приведена в [4].

Таким образом, характеристика муфты может быть описана выражением

$$M = nR(cR\varphi + F_0 \sin \pi R\varphi / \Delta). \quad (8)$$

Разделив правую и левую части на  $n c R^2$  и обозначив  $B = F_0 / Rc$ ,  $л = \pi R / \Delta$ , получим характеристику муфты в безразмерном виде:

$$M = \varphi + B \sin л\varphi. \quad (9)$$

Выровняв масштаб аргумента путем введения новой переменной  $\alpha = л\varphi$ , получим:

$$M = 1 / л\alpha + B \sin \alpha. \quad (10)$$

где  $л$  и  $B$  – определяющие параметры муфты.

В реальных условиях параметр  $л \gg 1$ . Поэтому в зависимости от того, каким будет значение параметра  $B$ , характеристика муфты либо будет, либо не будет иметь участок КЖ.

В самом деле, продифференцировав (10) по  $\alpha$ , получим выражение

$$dM/d\alpha = M' = 1 / л + B \cos \alpha, \quad (11)$$

которое может обращаться в нуль лишь в случае, когда  $B \geq 1 / л$ . Таким образом, муфта обладает квазиулевой жесткостью только когда начальная жесткость нелинейных элементов больше, чем линейных. Подбором жесткости линейных упругих элементов и начальной жесткости элементов КЖ можно в довольно широких пределах менять форму характеристики муфты. Таким методом удастся получить характеристику, почти симметричную относительно точки нулевой жесткости, а также в некотором диапазоне изменять величину площадки пониженной жесткости. Конструктивно это осуществляется с помощью регулировочных болтов, меняющих величину поджатия упругих элементов КЖ.

В заключение следует отметить, что приведенные в [3-7] результаты теоретических и экспериментальных исследований упругих систем КЖ, включающих элементы в виде балки, сжатой вдоль продольной оси, свидетельствуют о высокой эффективности применения таких систем в качестве виброзащитного средства. Кроме того, конструкция мембранной муфты обеспечивает высокую компенсирующую способность, причем наличие несоосности между соединяемыми валами не несет, по-видимому, существенных искажений в упругую характеристику.

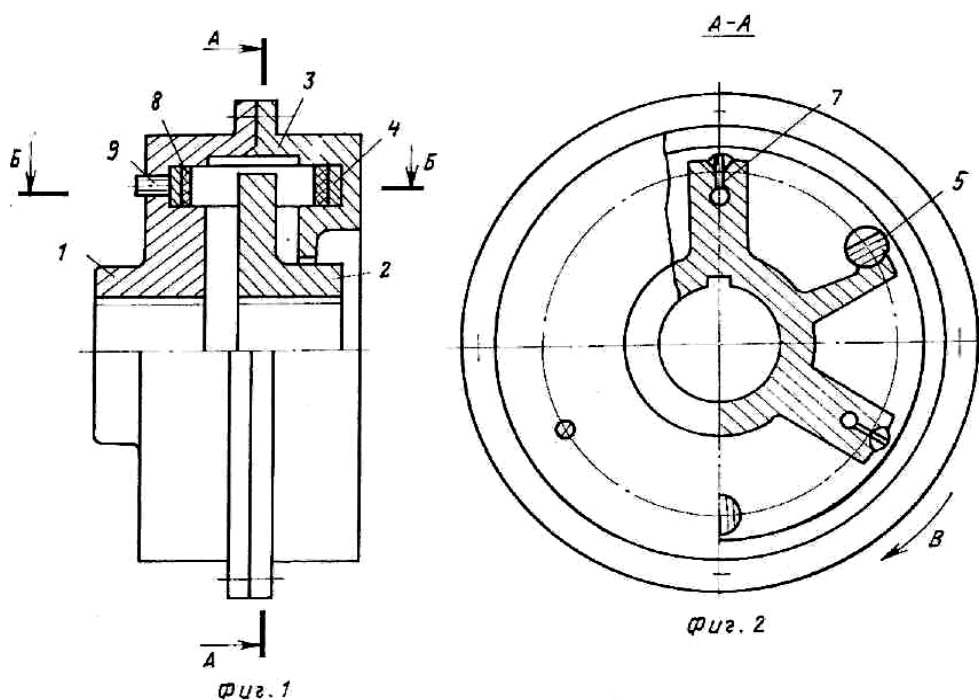


Рис. 1. Муфта

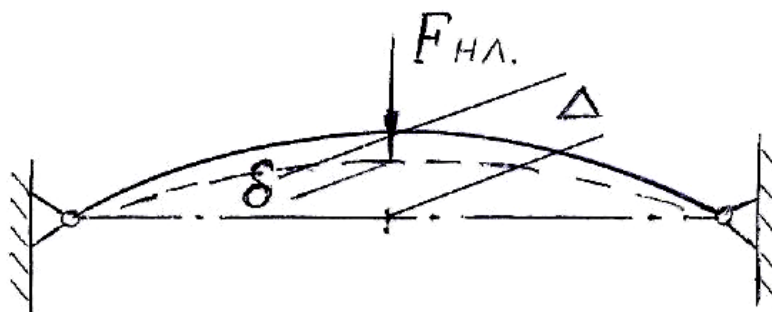


Рис. 2. Расчетная схема поджатого (нелинейного) упругого элемента

### ЛИТЕРАТУРА

1. Панов С.Л., Евменкин В.Н. и др. Упругая муфта. – Авт. свид. №737660 от 30.05.1980.
2. Феодосьев В.Н. Сопротивление материалов. – Изд. 7-е. – М.: Наука, 1974. – 559 с.
3. Биценко К.Б., Грамнель И.Р. Техническая динамика. Т.1. – Л.: М.: Гостехиздат, 1950. – 900 с.
4. Резанов Г.К., Зуев А.К. и др. Методика расчета упругого элемента почти нулевой жёсткости, выполненного в виде балки // Машины и механизмы виброударного действия. Труды НЭТН, вып. 1. – Новосибирск, 1969. – С. 102-107.
5. Алабужев П.М. и др. Упругий элемент почти нулевой жёсткости, выполненный в виде балки, сжатой вдоль оси // Машины и механизмы виброударного действия; Труды НЭТН, вып. 1. – Новосибирск, 1969. – С. 91-101.

6. *Алабужев П.М. и др.* К исследованию систем с квазиулево́й жёсткостью // Вопросы динамики механических систем виброударного действия. – Новосибирск, 1973. – С. 32-37.

7. *Гернер И.И.* Исследование нелинейных виброзащитных подвесок с V-образным корректором: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Новосибирск, 1975. – 24 с.

**Поступила 21 сентября 2007 г.**