

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ОПОР

Канд. техн. наук ЧЕРНОБАЙ В. А., студ. ЗЕНЬКО Н. В.

*Белорусский национальный технический университет*

Представляют интерес виброзащитные опоры с использованием упругих свойств магнитной жидкости со свободной поверхностью в магнитном поле [1]. В работе экспериментально исследованы статические и динамические характеристики магнитожидкостной опоры.

**Методика эксперимента.** Магнитожидкостная опора представляла собой постоянный феррит-бариевый магнит 1 диаметром 28 мм, высотой 16 мм, намагниченный в аксиальном направлении (рис. 1). На поверхности магнита напряженность магнитного поля составляла  $H = 55,7$  кА/м. Зависимость напряженности магнитного поля, измеренного датчиком Холла, от расстояния до поверхности магнита носила экспоненциальный характер.

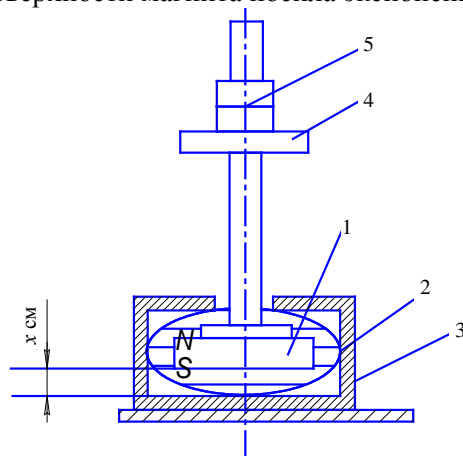


Рис. 1. Магнитожидкостная виброзащитная опора

Магнит покрывался магнитной жидкостью 2 на основе трансформаторного масла и магнетита, стабилизированного олеиновой кислотой, с намагниченностью насыщения  $M_s = 44$  кА/м и помещался в корпус 3. Физические свойства магнитной жидкости при температуре  $T = 20$  °С: плотность  $\rho = 1400$  кг/м<sup>3</sup>, динамическая вязкость  $\eta = 8,4 \cdot 10^{-2}$ .

Статические характеристики магнитожидкостной опоры (нагрузка – деформация) исследовались путем изменения веса груза 5, который определял начальное смещение магнита относительно дна корпуса  $\Delta x$ . Перемещение магнита и штока 4 с грузом  $\Delta x$  измерялось оптическим методом с помощью катетометра КМ-8.

Динамические характеристики магнитожидкостной опоры исследовались на консольной балке, вынужденные колебания на которой создавались с помощью двигателя постоянного тока, на валу которого был установлен эксцентрик, задающий амплитуду колебаний. Частота колебаний регулировалась частотой оборотов вала двигателя. Виброускорения балки

и объекта виброизоляции измерялись пьезокерамическими датчиками ускорения КД-32 и регистрировались виброметром «Роботрон-00042», дополнительный контроль частоты колебаний и виброускорений осуществлялся частотомером 43-63 и запоминающим осциллографом С8-17, обработка данных производилась через контроллер персональным компьютером (рис. 2).

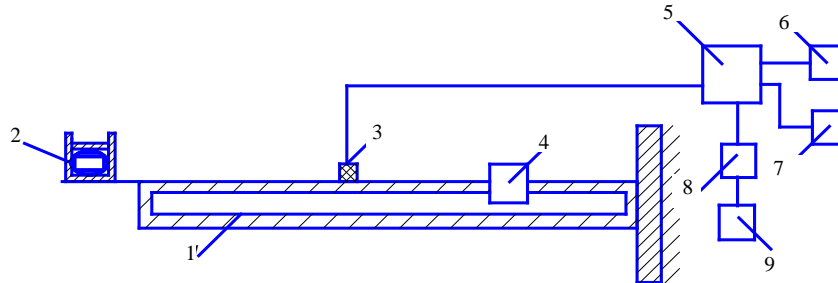


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – консольная балка; 2 – объект виброизоляции; 3 – датчики ускорения; 4 – двигатель; 5 – виброметр; 6 – частотомер; 7 – осциллограф; 8 – контроллер; 9 – персональный компьютер

Постоянный магнит, помещенный в магнитную жидкость, посредством собственного магнитного поля создает силы в жидкости, поддерживающие его в плавающем состоянии. Наличие стенок сосуда, которые представляют собой границу раздела сред, имеющих разные магнитные характеристики, приводит к возникновению результирующей силы, обеспечивающей устойчивое плавание магнита. Эта сила при определенных условиях может компенсировать влияние силы тяжести и других сил, в частности вызываемых вибрацией. Этот эффект позволяет использовать магнит, покрытый магнитной жидкостью, в качестве упругого элемента магнитожидкостных опор, обладающего виброзащитными свойствами.

**Результаты эксперимента. Статика.** Начальное смещение  $\Delta x$  соответствует равенству выталкивающей магнитной силы, суммарному весу магнитожидкостной опоры (магнит, шток, переменный груз).

Линейная зависимость результирующей силы от деформации наблюдается на начальном участке, а с увеличением нагрузки система становится нелинейной, что связано с нелинейным распределением магнитного поля у поверхности постоянного магнита. С увеличением деформации значение производной  $\partial F/\partial \Delta x$  возрастает, т. е. такая колебательная система становится жесткой. Для всех исследуемых объемов заправки магнитной жидкостью существует максимальная нагрузка, при превышении которой система «магнит – шток – груз» не перемещается. Однако и в этом случае между дном корпуса и поверхностью магнита остается тонкий слой магнитной жидкости. В нашем случае его толщина составляла 0,05 мм.

С увеличением объема магнитной жидкости растет несущая способность опоры, асимптотически достигая максимума, после которого вес, удерживаемый опорой, не изменяется. В нашем случае  $v_{\max} = 30 \text{ см}^3$ . При этом удельная нагрузка составляла  $2,5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ .

**Динамика.** Колебания системы «балка – магнитожидкостная опора – виброизолируемый груз» задавались по закону

$$x(t) = x_{ст} + x_0 \text{sincot},$$

где  $x_{ст}$  – величина зазора в статике;  $x_0$  – амплитуда колебаний груза относительно дна корпуса.

Виброзащитная эффективность оценивалась при помощи коэффициента виброизоляции  $k_R$ , представляющего собой отношение экспериментально измеряемых эффективных значений виброускорения объекта защиты  $w_{об}$  и источника колебаний  $w_{ист}$  ( $k_R = w_{об}/w_{ист}$ ). Условие эффективности виброзащиты оценивалось с помощью неравенства  $k_R \leq 1$ . Исследования выявили существенную зависимость коэффициента виброизоляции от амплитуды вынужденных колебаний  $x_0$ .

С увеличением амплитуды эффективность виброзащиты снижается ( $k_R \rightarrow 1$ ), наиболее комфортной областью работы виброзащитной опоры является интервал амплитуд от 0 до 1 мм при объеме магнитной жидкости  $V = 20 \text{ см}^3$ . Для объема магнитной жидкости  $30 \text{ см}^3$  опора эффективно работает при амплитудах 0–1,8 мм, дальнейшее увеличение объема магнитной жидкости не изменяет этот результат, что связано с увеличением несущей способности магнитожидкостной опоры и достижением ее максимального значения.

Зависимость коэффициента виброизоляции от частоты колебаний балки  $\nu$  носит резонансный характер (рис. 3). Вблизи резонанса амплитуда колебания объекта резко возрастает и происходит удар магнита о дно корпуса, что приводит к резкому возрастанию величины  $k_R$ . Этому случаю соответствует пороговое значение амплитуды вынужденных колебаний  $x_0$ , при превышении которого происходит жесткий контакт между магнитом и корпусом ( $x_0 = x_{ст}$ ). Для меньших амплитуд колебания передаются через слой магнитной жидкости, в которой возникают течения, т. е. диссипация энергии колебаний. При удалении от резонанса амплитуда  $x_0$  определялась в основном амплитудой колебаний балки и зависимость носила плавный характер.

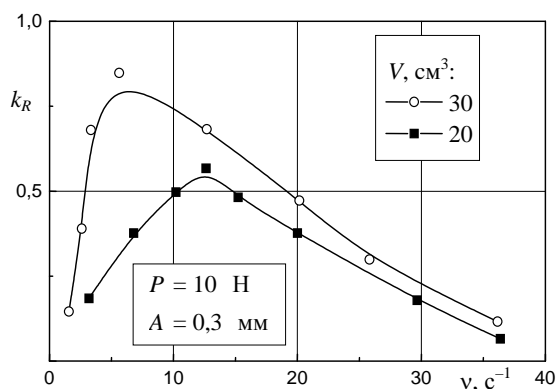


Рис. 3. Зависимость коэффициента виброизоляции от частоты колебания балки

Увеличение объема заправки приводило к повышению эффективности виброзащиты, что связано с более интенсивным перетеканием магнитной жидкости в зазоре между магнитом и корпусом. В нашем случае переход от объема 20 к объему  $30 \text{ см}^3$  снижал значение  $k_R$  для случая резонанса на 20 %. Для случая предельной статической нагрузки (толщина слоя магнит-

ной жидкости между магнитом и корпусом составляла 0,05 мм) магнито-жидкостная опора обеспечивала виброзащиту ( $k_R < 1$ ) при амплитудах вынуждающих колебаний до 0,15 мм (рис. 2).

На рис. 4 приведены спектрограммы сигналов виброускорений источника вибрации – балки 1 и амортизируемого объекта 2 в интервале частот 0–300 Гц, полученные с помощью Фурье-анализатора спектра. Величина спектрального разрешения составила 2 Гц.

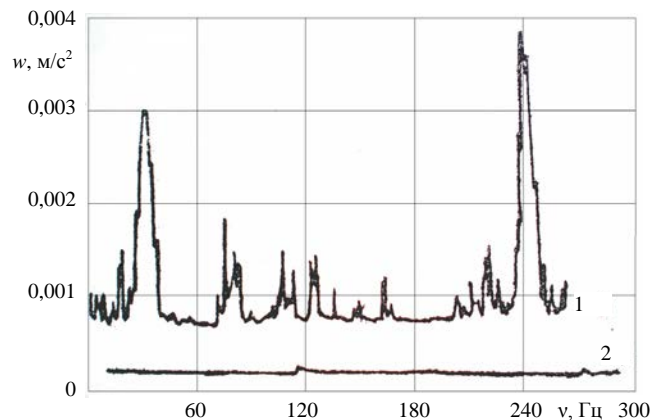


Рис. 4. Спектрограммы сигналов виброускорений балки и амортизируемого объекта в интервале частот 0–300 Гц

#### ВЫВОД

Исследования позволяют сделать вывод о возможности использования виброзащитных магнитожидкостных опор в области частот от 0 до 300 Гц, амплитуд до 2 мм и удельных нагрузок до  $2,5 \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup>.

Также экспериментально установлено, что исследуемая магнитожидкостная опора обладает улучшенными шумопоглощающими характеристиками и поэтому возможно ее использование для виброизоляции оборудования, устанавливаемого на колеблющихся объектах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Р а д и о н о в, В. А. Теоретические исследования магнитожидкостных амортизаторов левитирующего типа / В. А. Радионов, П. С. Кирей // 5-я Всесоюзная конференция по магнитным жидкостям.– М., 1988. – Т. 2.

Представлена кафедрой энергосбережения  
и возобновляемых источников энергии

Поступила 10.10.2007