

УДК 62-752

**И. И. Сидоренко**, канд. техн. наук, доц., Одес.  
нац. политехн. ун-т

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЗНАКОПЕРЕМЕННОЙ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УПРУГИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

*И.И. Сидоренко. Реалізація знакозмінної функції керування пружними характеристиками віброізолюючого пристрою.* Розглянуто пружні характеристики пасивного віброізолюючого пристрою з механічним зворотним зв'язком що забезпечує функцію керування одного знака. На його основі синтезовано новий віброізолюючий пристрій, у якому реалізована знакозмінна функція керування. Отримано аналітичні залежності, що визначають значне розширення діапазону отриманого пружних характеристик отриманого віброізолюючого пристрою.

*I.I. Sydorenko. Realization of a sign-changing function of controlling elastic characteristics of an antivibrating device.* The elastic characteristics of a passive antivibrating device with a mechanical feedback ensuring the function of controlling one sign are considered. On the basis of the device a new antivibrating device is synthesized, in which the sign-changing control function is realized. The basic dependences determining a significant expansion of a spectrum of the elastic characteristics of the created antivibrating device are obtained.

Применение в промышленности и строительстве новых высокоэффективных технологий на основе вибрационных и виброударных процессов неизбежно приводит к увеличению интенсивности и расширению спектра вибрационных полей, в которых эксплуатируются машинные агрегаты. Вследствие вибраций увеличиваются динамические нагрузки на конструкции механизмов и машин, что приводит к снижению несущей способности их деталей, развитию трещин и возникновению усталостных повреждений.

Для предотвращения негативных последствий вибраций, уменьшения их уровня применяются виброизолирующие устройства и системы различных типов, которые подразделяют на пассивные виброизолирующие устройства (ПВУ) и активные виброизолирующие системы (АВС). Научные исследования, связанные с вопросами повышения эффективности виброизоляции, появление новых конструкций ПВУ и АВС свидетельствуют о том, что защита машинных агрегатов от воздействия вибрации является одним из обязательных элементов технического прогресса.

Теоретически и экспериментально подтверждено, что наиболее эффективными средствами виброизоляции машинных агрегатов являются виброизолирующие устройства с нелинейными упругими характеристиками [1, 2]. Большинство ПВУ не обладает такими характеристиками, а широкое применение альтернативных им конструкций АВС сдерживается из-за их значительных габаритных размеров и зависимости от внешнего источника энергии. Исходя из этого, актуальным является разработка и научное обоснование структурных схем принципиально новых виброизолирующих устройств, их последующая конструкторская реализация, анализ их упругих характеристик, а также синтез оптимальных для машинного агрегата упругих характеристик ПВУ.

Нелинейными упругими характеристиками обладает новый вид самонастраивающихся ПВУ с механической обратной связью (ПВУМОС). По насыщенности своей структуры элементами оценки вибрационных воздействий и управления ПВУМОС занимают промежуточное место в иерархии виброизолирующих устройств от ПВУ до АВС [3].

Одним из структурных элементов ПВУМОС является механическая обратная связь в виде механической передачи или управляющих звеньев, реализующая функцию управления упругими характеристиками устройства. Функция управления представляет собой контролируемое

перемещение, определяющее положение упругого элемента по отношению к линии действия нагружающей его силы. При разработке таких устройств получена конструкция (рис. 1), в которой при увеличении контролируемого параметра — движении подвижного штока вниз могут быть реализованы отрицательная либо положительная функции управления [4]. Обратная механическая связь 5 реализована в виде комбинации цилиндрической и реечной зубчатых передач (см. рисунок 1).

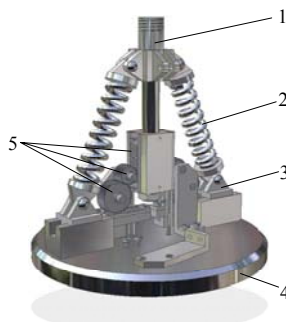


Рис. 1. Виброизолирующее устройство: 1 — подвижный шток; 2 — пружина; 3 — подвижный упор; 4 — основание; 5 — механическая обратная связь

Анализ упругих характеристик, которыми может обладать данная конструкция, позволил разделить их на два вида. Первый определяется восстанавливающей упругой силой, описанной функцией

$$F(x) = c_{\Sigma}(x - \mu \cdot x^3), \quad (1)$$

где  $c_{\Sigma}$  — коэффициент суммарной жесткости упругих элементов устройства, зависящий от количества упругих элементов и схемы их установки;

$\mu$  — коэффициент, определяющий угол наклона упругой характеристики.

Упругие характеристики второго вида определяются функцией вида

$$F(x) = c_{\Sigma}(x + \mu \cdot x^3). \quad (2)$$

Представленные зависимостями (1) и (2) упругие характеристики носят названия “мягкой” и “жесткой” кубической нелинейности, соответственно, и присущи системам Дюффинговского типа. Проведенные исследования колебательных процессов в ПВУ данного типа показали тесную взаимосвязь между кубической нелинейностью упругой характеристики и характером переходных процессов в таких системах [4]. Например, для таких систем преодоление резонанса происходит “скачком” и такая форма резонансных проявлений существенно отличается от резонансных проявлений в системах с линейной упругой характеристикой. Поскольку переходные процессы происходят на фоне общего снижения амплитуды колебаний в рабочем диапазоне частот, их целесообразно использовать для повышения эффективности виброизоляции.

Взаимосвязь между степенью нелинейности упругой характеристики и видом переходного процесса является основанием для предположения о том, что нелинейность упругой характеристики более высокого порядка может привести к еще большему снижению амплитуды колебаний при резонансе. Кроме того, такие упругие характеристики позволят решить задачу прямого и обратного прохода резонансной частоты “скачком”, чего нельзя достичь в системах Дюффинговского типа.

Обеспечить нелинейную упругую характеристику при помощи представленного ПВУМОС с отрицательной либо положительной функцией управления (см. рисунок 1) невозможно. Сформулированная задача может быть решена лишь в том случае, когда в структуре ПВУМОС применена механическая обратная связь, обеспечивающая знакопеременную функцию управления (рис. 2). В качестве механической обратной связи в новом виброизолирующем устройстве применен кулачковый механизм 9, 10. Выбор такого механизма обусловлен тем, что он явля-

ется наиболее надежным для точной реализации поставленной задачи управления: с его помощью очень просто преобразовать контролируемое поступательное движения в одной плоскости в управляющее поступательное движение в другой плоскости.

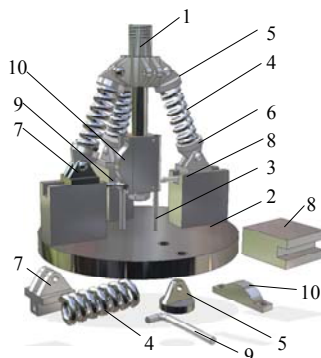


Рис. 2. Виброизолирующее устройство с цилиндрическими витыми пружинами

Устройство (см. рисунок 2) состоит из подвижного штока 1 и неподвижного основания 2. Направляющие 3 обеспечивают линейное перемещение штока 1 по отношению к неподвижному основанию 2. Цилиндрические пружины сжатия 4, установленные между верхними 5 и нижними 6 упорами, обладают одинаковой жесткостью. Верхние упоры 5 шарнирно закреплены на подвижном штоке 1. Нижние упоры 6 шарнирно закреплены на подвижных плитах 7, которые перемещаются в направляющих 8, закрепленных на неподвижном основании 2. Толкатели 9, жестко связанные с плитами 7, контактируют с кулачком 10, неподвижно закрепленным на подвижном штоке 1. Устройство имеет корпус с уплотнениями для защиты трущихся поверхностей своих элементов от загрязнения.

Под действием нагрузки  $F$ , приложенной к подвижному штоку 1, упругие элементы 4 между упорами 5 и 6 сжимаются, а шток 1 перемещается вдоль направляющих 3 на некоторую величину  $x$  (рис. 3). Перемещение штока 1 и соответствующее линейное перемещение неподвижно закрепленного на нем кулачка 10 приводят к перемещению жестко связанной с ним плиты 7 вдоль направляющей 8 на некоторую величину  $y(x)$ .

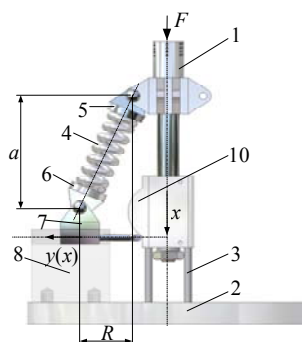


Рис. 3. Расчетная схема виброизолирующего устройства

Перемещение  $y(x)$  является функцией управления упругими характеристиками устройства и зависит от профиля кулачка. С учетом этого данную функцию удобнее всего представить в виде полинома

$$y(x) = A_1x + A_2x^2 + A_3x^3 \dots + A_Nx^N, \quad i = 1 \dots N, \quad (3)$$

где  $A_i$  — постоянный коэффициент;

$N$  — принятое число членов полинома.

С учетом (3), выражение, для потенциальной энергии упругой деформации одной пружины примет вид

$$\Pi = \frac{c}{2} \left[ \sqrt{(R + y(x))^2 + (a - x)^2} - l_0 \right]^2, \quad (4)$$

где  $c$  — коэффициент жесткости пружины;

$R$  — расстояние между точками закрепление пружины в проекции на опору устройства при отсутствии нагрузки  $F(x=0)$ ;

$a$  — высота устройства;

$l_0$  — начальная длина упругих элементов без нагрузки.

Эквивалентная потенциальная энергия упругой деформации для  $n$  пружин виброизолирующего устройства

$$\Pi_{\text{эkv}} = \frac{c_{\Sigma} x^2}{2} = n \frac{c}{2} \left[ \sqrt{(R + y(x))^2 + (a - x)^2} - l_0 \right]^2. \quad (5)$$

С учетом уравнения (5) получим следующую функцию для восстанавливающей упругой силы ПВУМОС:

$$F(x) = c_{\Sigma} x = \frac{nc \left[ \sqrt{(R + y(x))^2 + (a - x)^2} - l_0 \right]^2}{x}. \quad (6)$$

Таким образом, представленная конструкция ПВУМОС позволяет реализовать упругие характеристики полиномиального вида, чего нельзя добиться при помощи известных конструкций ПВУ. Реализация знакопеременной функции управления, связанной с очень гибким конструктивным параметром, которым является профиль кулачка, определяет широкие возможности синтеза нелинейных упругих характеристик. Однако следует учитывать тот факт, что профилирование кулачка сопряжено с определенными ограничениями, в частности, по углам давления. Тем не менее, диапазон возможных полиномиальных упругих характеристик данного устройства очень широк. Данное обстоятельство, несомненно, определит широкое применение ПВУМОС при решении задач виброизоляции машинных агрегатов.

## Литература

1. Галынин Н.А. О влиянии нелинейности упругой связи на виброзащитные свойства системы / Галынин Н.А., Мясников Н.М. // *Вопр. динамики мех. систем виброудар. действия.* — Новосибирск: НЭТИ, 1985. — С. 78 — 83.
2. Черноусько Ф.Л. Управление колебаниями. / Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. — М.: Наука, 1980. — 384 с.
3. Сидоренко І. Структура і класифікаційні ознаки пасивних віброізолюючих пристроїв з механічним зворотнім зв'язком // *Машинознавство.* — 2007. — № 4. С. — 40 — 45.
4. Сидоренко І.І. Віброізолюючі пристрої з механічним зворотнім зв'язком / Сидоренко І.І., Козаченко Ю.М. // *Тр. Одес. политехн. ун-та.* — Одесса, 2006. — Вып. 1(25). — С. 20 — 24.
5. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У.: Пер. с англ. Л.Г.Корнейчука; Под ред. Э.И. Григолюка. — М.: Машиностроение, 1985. — 427 с.