

Дифференциальный волоконно-оптический вибродатчик

Александр Куриленко (г. Москва), Антон Щевелёв, Татьяна Мурашкина, Олег Граевский, Юрий Макаров (г. Пенза)

Описан дифференциальный волоконно-оптический вибродатчик, отличающийся простотой изготовления и улучшенными метрологическими характеристиками.

Актуальной проблемой современной техники является измерение параметров вибраций, ударов и помех. Трудно найти объект или производственный процесс, который не испытывал бы воздействие вибрационных, ударных или акустических нагрузок. Наиболее перспективными являются волоконно-оптические датчики для измерения параметров вибрации, обеспечивающие надёжное функционирование информационно-измерительных систем в искро-, взрыво- и пожароопасных условиях.

Один из вариантов нового конструктивного решения дифференциального волоконно-оптического вибродатчика (ВОВД) реализован на базе волоконно-оптического преобразователя перемещения (ВОПП) в виде подводящих (ПОВ) и отводящих оптических волокон (ООВ), между которыми под действием вибрации перемещается модулирующий элемент – шарообразная линза (ШЛ). Конструкция ВОПП показана на рисунке 1. Расстояние от торца подводящего оптического волокна до поверхности шарообразной линзы определяется как

$l_1 = S_f - l_0$, где $l_0 = 0,5d_c / \text{tg}\theta_{NA}$, $S_f = |-f| - r_L$, $f = n_L r_L / 2(n_L - 1)$; d_c , θ_{NA} – диаметр сердцевины и апертурный угол оптического волокна; r_L , n_L – радиус и коэффициент преломления шарообразной линзы.

Расстояние от поверхности шарообразной линзы до торца отводящих оптических волокон равно:

$$l_2 = S_f - \frac{0,5d_c}{\Theta_{\text{ВЫХ}}}$$

С учётом теоремы синусов,

$$\frac{r_L}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}} = \frac{f}{\sin\omega}, \quad \omega = 180 - \gamma.$$

Геометрические построения, показанные на рисунке 1, приводят к следующим соотношениям:

$$\Theta_{\text{ВЫХ}1} = \arcsin \left(\frac{n_L \left(\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)} \pm X \right) \sin\Theta_{NA}}{\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)}} \right),$$

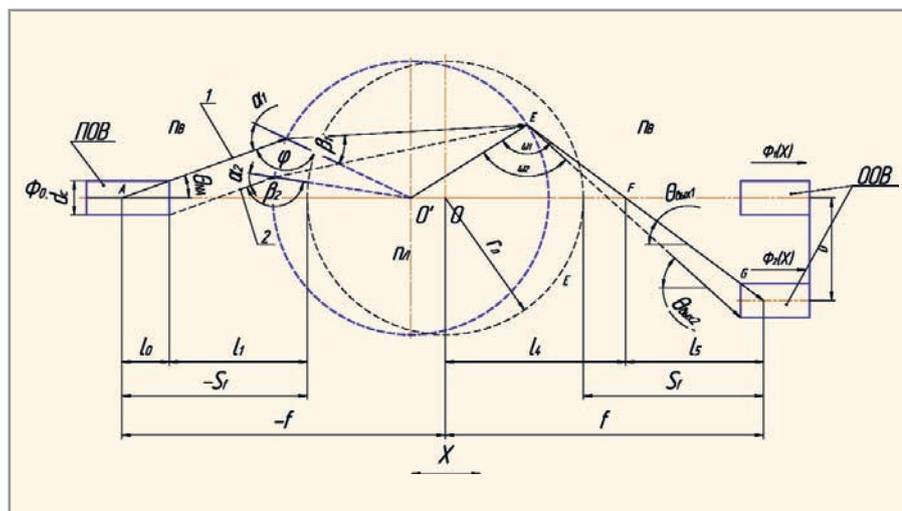


Рис. 1. Геометрическое построение к расчету волоконно-оптического преобразователя перемещения с шаровой линзой

$$\Theta_{\text{ВЫХ}2} = \arcsin \left(\frac{n_L \left(\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)} \pm X - \frac{d_c}{2 \text{tg}\Theta_{NA}} \right) \sin\Theta_{NA}}{\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)}} \right). \quad (1)$$

При перемещении линзы по оси Z относительно оптических волокон происходит эквивалентное смещение луча, перпендикулярное оптической оси линзы, на величину $Z_1 = X_1 \text{tg}\theta_{NA}$. Расстояние между оптической осью и осью ООВ определяется как $D = l_5 \text{tg}\theta_{\text{ВЫХ}}$, $l_5 = f(x) - l_4$, $f(x) = f \pm X_1$. Учитывая теорему синусов, имеем:

$$\frac{l_4}{\sin\omega(x)} = \frac{r_L}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}} \Rightarrow l_4 = \frac{r_L \sin\omega(x)}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}}.$$

Таким образом,

$$D = \left(\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)} - \frac{r_L \sin\omega}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}} \right) \text{tg}\Theta_{\text{ВЫХ}}. \quad (2)$$

Определение оптимального расстояния D для конкретного конструктивного исполнения осуществляется путём численного моделирования по формулам (1) и (2). Например, для ВОПП, в котором используются ООВ с параметрами $d_c = 200$ мкм, $\theta_{NA} = 14^\circ$, $r_L = 0,75$ мм, $n_L = 1,47$; $l_1 = 1$ мм, $l_2 = 1,4$ мм, значение $D = 1,2$ мм.

На основе предложенного ВОПП в Научно-техническом центре «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» разрабатывается дифференциальный ВОВД для современной авиационной и ракетно-космической техники. Чертёж общего вида датчика и его фотография приведены на рисунках 2 и 3 соответственно.

Дифференциальный ВОВД (см. рис. 2) состоит из шарообразной линзы 1, закреплённой на упругих подвесах 2, которые установлены в корпусе 4 при помощи крышки 3 и крепежей 5; волоконно-оптического кабеля 8, содержащего ПОВ (пучок 1) и ООВ (пучок 2), которые жёстко закреплены в наконечниках 7 на расстоянии l_1 и l_2 относительно шарообразной линзы, и втулки 6. В качестве упругих подвесов используются

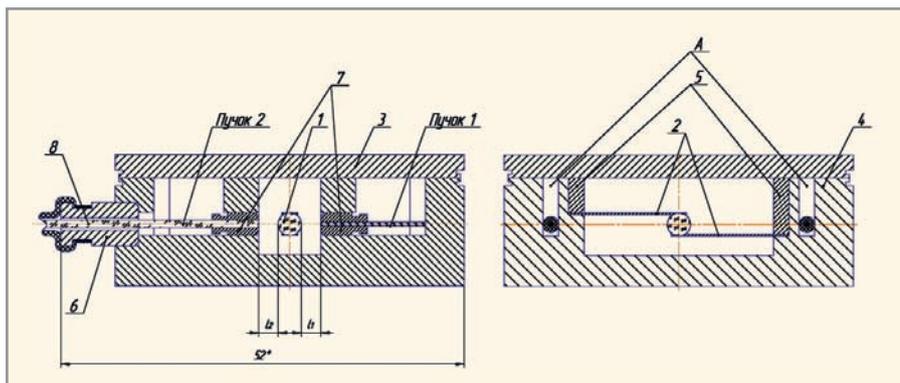


Рис. 2. Чертёж общего вида ВОВД



Рис. 3. Внешний вид дифференциального ВОВД

плоские пружины с круглым отверстием, обладающие более высокой чувствительностью к нагрузкам по сравнению с упругими подвесами других типов.

Поскольку дифференциальный ВОВД работает при переменных напряжениях и в широком температурном диапазоне с циклическим изменением температуры окружающей среды, то упругий подвес выполнен из стали марки 36НХТЮ; ПОВ и ШЛ расположены на одной оптической оси, причём первый – в корпусе в виде полукольца определённого радиуса. Полость А между корпусом 4 и крышкой 3 заполняется герметиком, обеспечивающим неподвижность волокон. На концах упругих элементов сделаны отверстия, в которые заходят верхняя и нижняя нерабочие части линзы; таким образом происходит защемление линзы между двумя упругими подвесами, что обеспечивает надёжное крепление. Для обеспечения дополнительной надёжности крепления предусмотрена фиксация пружин при помощи стягивания металлической леской. Путём расчёта на прочность и жёсткость определяются геометрические параметры пружины.

Принцип действия дифференциального ВОВД заключается в следующем. Электрический сигнал $U_{\text{п}}$, поступающий на вход оптоэлектронного блока вибродатчика, преобразуется с помощью электрооптического преобразователя источника излучения ИИ в оптический сигнал Φ_0 и по ПОВ подаётся в зону измерения, т.е. на оптический чувствительный элемент. Под действием вибрации происходит перемещение шарообразной линзы и изменение интенсивности сигнала Φ_0 . Световые потоки $\Phi_1(X)$ и $\Phi_2(X)$, прошедшие через шарообразную линзу, по ООВ первого и второго измерительных каналов поступают на приёмники излучения ПИ1 и ПИ2 первого и второго измерительных каналов соответственно, где преобразу-

ются в эквивалентный фототок $I_1(X)$ и $I_2(X)$, который затем преобразуется в напряжение $U_1(X)$ и $U_2(X)$ с помощью преобразователей фототок – напряжение первого и второго измерительных каналов. Здесь же напряжения $U_1(a)$ и $U_2(a)$ усиливаются до необходимой величины, и на выходе ВОВД получается результирующее напряжение, по амплитуде которого можно судить о наличии вибрации в зоне измерения.

Описанный датчик имеет простую, надёжную конструкцию, не требует сложных технологических, юстировочных и измерительных операций при изготовлении оптической системы. Он реализован с использованием относительно недорогой элементной базы: многомодовых оптических волокон, а также свето- и фотодиодов.

Поскольку в конструкции датчика используется дифференциальная

схема управления световым потоком, то:

- увеличена чувствительность преобразования оптических сигналов;
- получена линейная функция преобразования ВОВД в целом;
- снижены погрешности, обусловленные изменением мощности источника излучения, чувствительности приёмников излучения при изменении температуры окружающей среды, зависимостью механических свойств упругого подвеса от температуры окружающей среды, изгибами оптических волокон под воздействием внешних факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадеева Е.А., Горши А.В., Котов А.Н., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г. Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом. МГУЛ, 2004. ©