

Волоконно-оптический датчик ускорений с цилиндрической линзой

Татьяна Мурашкина, Кирилл Серебряков, Ольга Юрова, Александр Удалов, Антон Щевелёв (г. Пенза)

В статье описан новый датчик ускорения, основным элементом которого является волоконно-оптический преобразователь микроперемещений с цилиндрической линзой, выполняющей одновременно функции модулирующего, инерционного и управляющего элемента.

Внедрение волоконно-оптических информационно-измерительных систем (ВОИИС) необходимо для уменьшения массы измерительных средств и кабельных сетей на борту летательных аппаратов, повышения их искро-, взрыво-, пожаробезопасности и помехозащищённости. Поскольку одним из основных факторов, воздействующих на летательные аппараты в полёте, является ускорение, то создание волоконно-оптических датчиков ускорений (ВОДУ) является актуальной научно-технической задачей.

При проектировании ВОДУ необходимо учитывать влияние на результат измерения изгибов оптических волокон, изменения параметров источников и приёмников излучения под воздействием механических и

климатических факторов, поэтому наиболее перспективным является применение дифференциальной схемы преобразования оптического сигнала [1].

В описываемом датчике ускорений основным элементом является волоконно-оптический преобразователь микроперемещений (ВОПМП) с цилиндрической линзой, который сочетает функции модулирующего, инерционного и управляющего элемента (см. рис. 1). Световой поток от источника излучения (ИК-светодиода) по подводющему оптическому волокну (ПОВ) поступает в зону измерения, где установлен оптический модулирующий элемент (цилиндрическая линза), воспринимающий измеряемую физическую величину (ускорение). При перемещении линзы изме-

няется положение светового пятна относительно рабочих торцов отводящих оптических волокон (ООВ) первого и второго измерительных каналов, которые расположены друг над другом вдоль направления перемещения линзы. В плоскости ООВ световое пятно имеет вид пересечения кольца, образованного двумя эллипсами (см. рис. 2).

В программной среде MatLab было проведено математическое моделирование с целью определения конструктивных параметров ВОПМП [2]: расстояния l_1 от торца ПОВ до поверхности цилиндрической линзы, расстояния l_2 от поверхности цилиндрической линзы до приёмного торца ООВ и радиуса линзы $r_{ц}$. Получены формы светового пятна в плоскости ООВ и функции изменения интенсивности на выходе модулирующего элемента при различных значениях длин l_1 и l_2 , радиуса линзы $r_{ц}$ и расстояния D между оптическими осями ООВ, которые изменялись с некоторым шагом.

Установлено, что при использовании оптических волокон с диаметром сердцевин $d_c = 0,2$ мм и апертурным углом ОВ $\theta_{NA} = 12$ град. передача максимально возможной мощности излучения светового потока в зону преобразования оптического сигнала достигается при $r_{ц} = 1,5$ мм, $l_1 = 0,5$ мм и $l_2 = 1,5$ мм (см. рис. 2). При других значениях наблюдаются критические потери светового потока либо неравномерность распределения световой мощности.

Датчик ускорений содержит ВОПМП, состоящий из цилиндрической линзы 8, закреплённой на упругом элементе 7, подводящего оптического волокна 2 и двух отводящих оптических волокон 3 (см. рис. 3). Корпус датчика состоит из основания 4 и крышки 9, соединённых с помощью сварки. Волокна 6 уложены в специальную выемку. Чтобы ОВ не сломались, в месте максимального изгиба они помещены во фторопластовые трубки. Полость для укладки волокон 6 заливается гер-

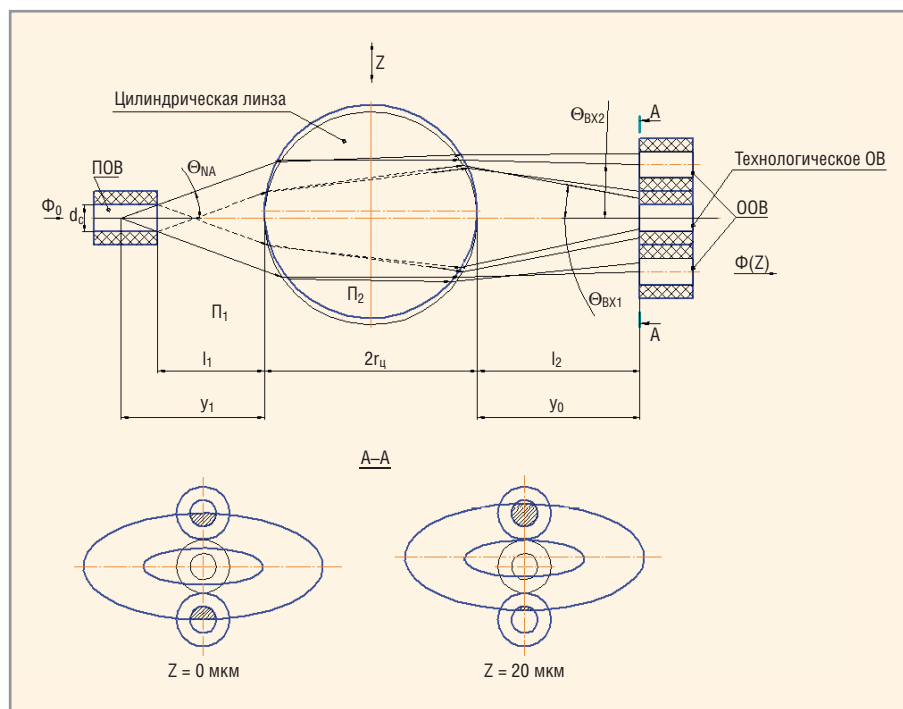


Рис. 1. Расчётно-конструктивная схема измерительного преобразователя при модуляции светового потока с помощью цилиндрической линзы

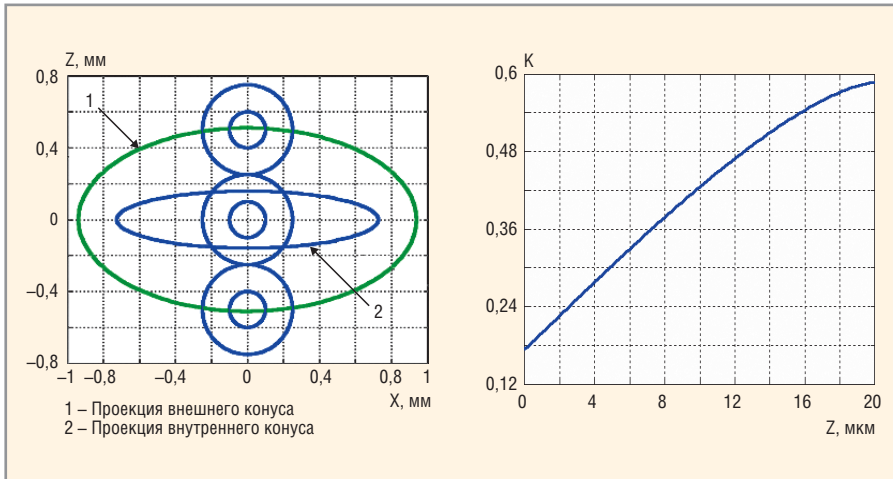


Рис. 2. Результаты математического моделирования оптической системы в среде MatLab

$r_{\text{ц}} = 1,5 \text{ мм}; l_1 = 0,5 \text{ мм}; l_2 = 1,1 \text{ мм}$

метиком, обеспечивающим их неподвижность.

Для юстировки линзы по оси Z относительно оптических волокон используются кольцевые прокладки толщиной 0,01...0,1 мм (на рисунке не показаны). В частности, для диапазона рабочих частот 5...128 Гц выбран упругий элемент в виде пластины из стали марки 36НХТЮ шириной 3 мм, толщиной 0,2 мм и рабочей длиной 16,5 мм. Возможно изменение частотного диапазона по требованию заказчика.

Датчик ускорений работает следующим образом. Световой поток Φ_0 от источника излучения подводится по оптическому волокну в зону измерения. Под действием ускорения происходит перемещение цилиндрической линзы, закреплённой на упругом элементе, в корпусе датчика в направлении оси Z. Перемещение линзы вызывает изменение интенсивности светового потока. Световые потоки $\Phi_1(z)$ и $\Phi_2(z)$, прошедшие через линзу, по отводящим волокнам первого и второго измерительных каналов поступают на приёмники излучения ПИ1 и ПИ2 соответственно. Приёмники излучения ПИ1 и ПИ2, в свою очередь, преобразуют оптические сигналы $\Phi'_1(z)$ и $\Phi'_2(z)$ в электрические $I_1(z)$ и $I_2(z)$.

При обработке сигнала с дифференциального оптического датчика целесообразно сформировать отношение разности сигналов на выходе каналов к их сумме $\frac{I_1(a) - I_2(a)}{I_1(a) + I_2(a)}$. В этом случае снижается влияние на точность измерения неинформативных изгибов волоконно-оптического кабеля, изменения мощности излучения источника и чувствительности приёмника, которые

вызывают пропорциональные изменения сигналов в каналах, не приводящие к изменению отношения сигналов.

В соответствии с предложенной методикой линейризации максимальная чувствительность и линейность преобразования достигаются при перемещении линзы в диапазоне $(0,015...0,09)d_c$, который устанавливается юстировкой элементов оптической системы в процессе сборки ВОМПД.

Исследования и анализ технических возможностей экспериментального образца дифференциального ВОДУ показали, что чувствительность преобразования повысилась почти в два раза по сравнению с аналогами ($\frac{dU}{dz} =$

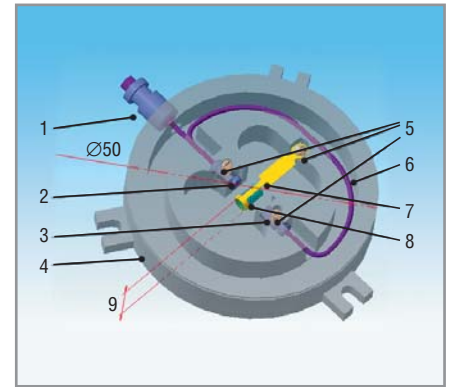


Рис. 3. ВОДУ с модулирующим элементом в виде цилиндрической линзы

1 – втулка; 2 – ПОВ; 3 – ООВ; 4 – основание; 5 – установочные винты; 6 – оптические волокна; 7 – упругий элемент; 8 – цилиндрическая линза

$= 1,1 \text{ мВ/мкм}$, у аналогов 0,6...0,7), аддитивная составляющая погрешности снизилась до 0,08% (у аналогов 0,1%), а погрешность линейности – до 0,07% (у аналогов 0,09%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевелёв А.С., Юрова О.В., Бростилов С.А., Мурашкина Т.И., Архитов А.В. Технологические основы проектирования волоконно-оптического датчика ускорения. Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 6. С. 39–43.
2. Мурашкина Т.И., Шевелёв А.С., Логинов А.Ю. Моделирование физических процессов в волоконно-оптическом преобразователе перемещений с цилиндрической линзой. В сб. Надёжность и качество. ПГУ. Т. 1. 2010. С. 116–117.

