

УДК 681.2.082

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАДИЕНТНЫХ МИКРОЛИНЗ ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Степанов М.В.

Самарский университет, г. Самара, Россия, st_maxim@mail.ru

Ключевые слова: Волоконно-оптический датчик, градиентная микролинза, чувствительный элемент.

Измерение значений физических параметров при функционировании мехатронных систем различного назначения играет большую роль. Одним из распространенных параметров, который необходимо контролировать в таких системах, является давление [1, 2, 3, 4]. Перспективным направлением измерения различных физических параметров при построении мехатронных систем является использование волоконно-оптических датчиков (ВОД), так как они обладают следующими преимуществами [1, 4, 5]: устойчивость к температурному воздействию, стойкость к электромагнитным помехам, относительная дешевизна.

На основе градиентных микролинз (ГМ) могут быть построены чувствительные элементы (ЧЭ) ВОД давления [2, 3].

ГМ представляет собой оптический элемент из прозрачного материала (стекла, оптического кварца, пластмассы, кристалла) с профилем показателя преломления $n(r)$, который выражается следующим образом [5, 6]:

$$n(r) = n_0 \sqrt{1 - (gr)^2}, \quad (1)$$

где n_0 – показатель преломления на оптической оси ГМ; g – постоянная ГМ, определяемая материалом, из которого он изготовлен; r – расстояние от оптической оси до данной точки.

Рассмотрим одноканальный ВОД давления (рис. 1), который состоит из первичного преобразователя 1 и вторичного преобразователя 2. Световой поток от источника оптического излучения ИИ через подводящее оптическое волокно (ОВ) 3 поступает в ЧЭ, представляющий собой ГМ. Измеряемое давление воздействует на ЧЭ, в результате чего изменяется траектория световых лучей и, как следствие, мощность оптического излучения, попадающая на торец отводящего ОВ 4. Выходной сигнал ЧЭ через отводящее ОВ 4 поступает в приемник оптического излучения ПИ, расположенный во вторичном преобразователе 2 (электронном преобразователе). Усилительное устройство УУ усиливает электрический сигнал ПИ и формирует, таким образом, выходной сигнал датчика $Y(p)$.

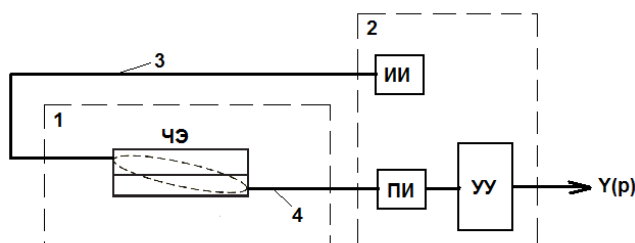


Рис. 1. Структурная схема одноканального ВОД давления на основе ГМ

Возможны следующие случаи воздействия давления на ЧЭ датчика (ГМ):

- давление действует только на боковую поверхность ГМ (поперечное сжатие);
- давление действует только на торцы ГМ (продольное сжатие);
- всестороннее воздействие давления на все поверхности ГМ.

По результатам проведенного анализа получили [5], что ВОД, построенный на основе продольного сжатия ГМ, имеет наибольшее значение величины смещения луча на выходном торце ГМ от приложенного давления (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение вариантов построения ЧЭ по зависимости величины смещения луча от приложенного давления

Вариант построения чувствительного элемента	Значение чувствительности, мкм/Па
Поперечное сжатие ГМ	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Продольное сжатие ГМ	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Всестороннее воздействие давления на все поверхности ГМ	$1,05 \cdot 10^{-7}$

Исходя из проведенных теоретических исследований [2, 3] получили, что оптимальная длина ГМ определяется из условия максимума чувствительности ВОД $S_{\max}(z)$, которая достигается на фронте/спаде импульса максимума нормированной мощности оптического излучения $P_H(z)$ и определяется исходя из условия:

$$S_{\max}(z) = \max \left| \frac{d(P_H(z))}{dz} \right| \quad (2)$$

С целью подтверждения возможности построения ВОД на основе ГМ были проведены математическое моделирование и экспериментальное исследование на испытательном стенде, по результатам чего получили, что погрешность экспериментального образца ВОД давления на основе ГМ не превышает 1,2 %. Дальнейшее увеличение точности ВОД возможно за счет использования дифференциальной схемы построения ВОД и проведения индивидуальной калибровки во вторичном преобразователе [7].

На основе полученных результатов разработали конструкции ВОД давления на основе ГМ, которые могут найти применение для построения мехатронных систем контроля и управления различного назначения.

Список литературы

1. Буймистряк, Г.Я. Волоконно-оптические датчики для экстремальных условий / Г.Я. Буймистряк // Controlengineering Россия, 2013. – № 3 (45). – С. 34-40.
2. Матюнин, С.А. Волоконно-оптические датчики с закрытым оптическим каналом / С.А. Матюнин, М.В. Степанов, О.Г. Бабаев. – Самара: Инсома-Пресс, 2020. – 250 с.
3. Степанов, М.В. Волоконно-оптический датчик давления на основе градиентных микролинз / М.В. Степанов // Датчики и системы. – 2021. – № 4 (257). – С. 35-40.

4. Шилова, И.В. Исследование свойств микроструктурных волоконных световодов с целью построения на их основе датчиков механических величин / И.В. Шилова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – №3 (48). – С.116-126.

5. Васильев, Ю.Г. Использование градиентных микролинз для соединения оптических элементов / Ю.Г. Васильев // Компоненты и технологии. – 2007. – № 10. – С. 36-37.

6. Шредер, Г. Техническая оптика / Г. Шредер, Х. Трайбер. – М.: Техносфера, 2006. – 424 с.

7. Грейсух, Г.И. Оптика градиентных и дифракционных элементов / Г.И. Грейсух, И.М. Ефименко, С.А. Степанов. – М.: Радио и связь, 1990. – 136 с.

Сведения об авторах

Степанов Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры АСЭУ, область научных интересов – волоконно-оптические преобразователи.

FIBER-OPTIC PRESSURE SENSORSON THE BASIS OF GRADIENT-LENS FOR MECHATRONIC SYSTEMS

Stepanov M.V.

Samara University, Samara, Russian Federation

Keywords: Fiber-optic sensor, gradient microlensing, sensitive element.

The principles of creation of fiber-optical sensors of pressure on the basis of gradient microlenses are considered. Results of comparison of three options of creation of sensitive elements from which the most preferable is chosen are given. The values of an error received by results of modeling and pilot studies are given.