

# **Проектирование и конструирование космических систем**

УДК 531.36, 629.7

**Кузнецов В.В., Леонович Г.И., Куприянов С.В., Захаров В.Н., Лобах А.Е.**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ МАЛЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Одним из направлений развития авиакосмического приборостроения является поиск и реализация энергоэффективных компактных датчиков и сенсорных систем на их основе с высокой степенью устойчивости к широкому спектру эксплуатационных факторов. В связи появлением нового класса гибридных датчиков, содержащих сенсорно-актюаторную структуру (САС), сопряженную с волоконной Брэгговской решеткой (ВБР), отечественные и зарубежные разработчики бортовых информационно-измерительных системах (ИИС) отмечают новые возможности пассивных волоконно-оптических сенсорных систем (ПВОСС), ориентированные, в первую очередь, на малые КА и БПЛА [1-3].

Основные достоинства таких датчиков и систем:

- расширенный перечень контролируемых величин и процессов: помимо традиционных для ВБР величин - температура, деформация, масса и виброударные воздействия - добавляются магнитные, электрические и акустические поля, коррозия и деградация материалов, наличие и концентрация различных веществ в газообразной и жидкой фазах, линейные и угловые перемещения, спектральный анализ элементов изображений, параметры ионизирующего излучения и др.;
- отсутствие в базовых датчиках гальванических элементов и проводов электропитания;
- компактность (габариты сенсора  $(10-20) \times (3-5) \times (1-5)$  мм, масса 5-50 г.), ограниченное количество и унифицированность базовых конструкций, закрытый оптический канал;
- невосприимчивость к электромагнитным помехам, простота коррекции температурной погрешности;
- устойчивость к жестким эксплуатационным факторам;
- возможность создания датчиков с цифровым оптическим выходом;

- простота мультиплексирования 80-120 датчиков на один сетевой волоконно-оптический канал в диапазоне 1500 -1600 нм с разрешением до долей пм;
- возможность создания сложных топологий сенсорных сетей с различными вариантами структурного и функционального резервирования;
- возможность создания удаленных автономных сенсорных модулей с волоконно-оптическим и беспроводным входом/выходом, содержащих пассивные, полуактивные и генераторные датчики;
- возможность обслуживания одним компактным интеррогатором (габариты 100×70×50 мм, масса 1000-1200 г) до 8 волоконно-оптических каналов с периодом опроса одного канала менее 100 мс.

Одна из авторских разработок – гибридный датчик оборотов вала электродвигателя – проходит испытание на исследовательском спутнике «Аист-2» [4]. В качестве САС, сопряженной с ВБР, реализована конструкция из группы постоянных магнитов, формирующая ступенчатые скачки напряженности  $H$  магнитного поля при вращении вала с ферромагнитным выступом. Датчик содержит две расположенные у вала ВБР (ВБР2 с САС) с одинаковым начальным значением периода  $\lambda_{B1}=\lambda_{B2}=\lambda_{B0}$ . В электронный блок входят источник и приемник излучения, блок управления с интерфейсом для подключения к бортовой ИИС. Совокупность отраженных от ВБР 1 и ВБР 2 сигналов при скачкообразном изменении длины волны  $\lambda_{B2}(H)=2\lambda_{B2}(H)$  сигнала, отраженного от ВБР 2, преобразуется в соответствующее изменение значения постоянного тока  $I$ , вырабатываемого фотоприемником (рис. 1).

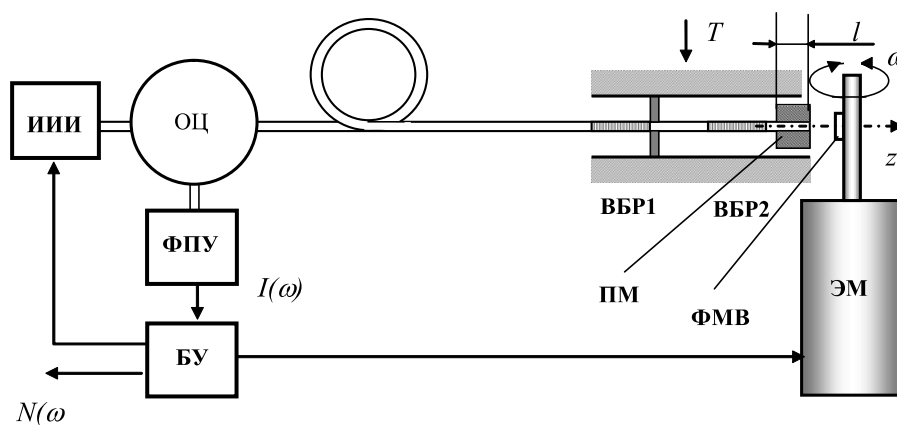


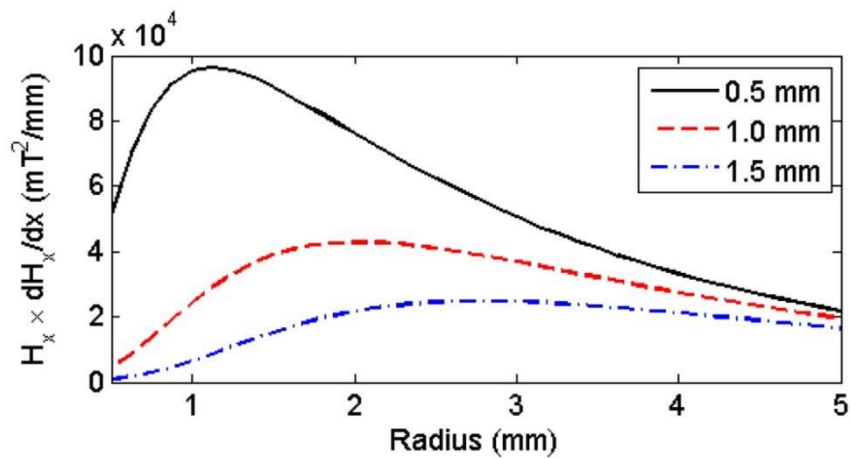
Рис. 1. Структурная схема гибридного датчика вращения:

- ИИИ – импульсный источник излучения; ОЦ – оптический циркулятор;  
 ВБР 1, ВБР 2 – внутриволоконные Брэгговские решётки; ПМ – постоянный магнит;  
 ЭМ – электромотор; ФМВ – ферромагнитный выступ;  
 ФПУ – фотоприемное устройство; БУ – блок управления

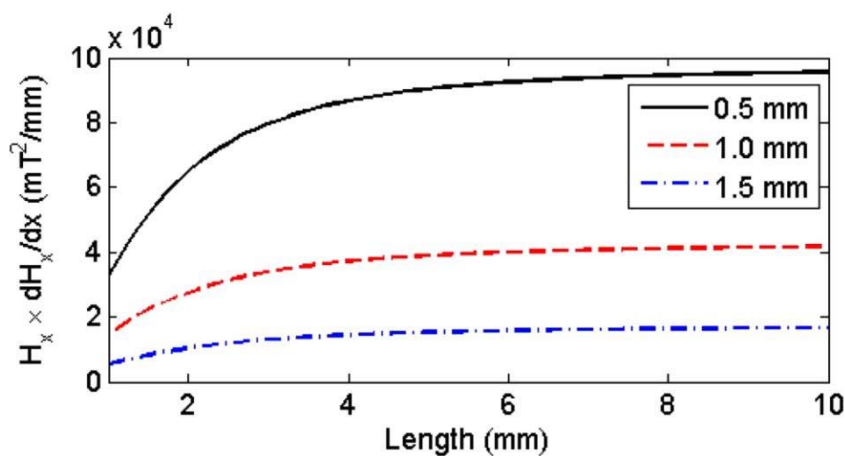
Напряженность наружного осевого магнитного поля цилиндрического магнита радиуса  $R$  и длины  $l$ , намагниченного в направлении его оси, как функция осевого расстояния  $z$  от поверхности магнита, может быть выражена как [3]

$$H_z = \frac{M_0}{2} \left[ \frac{l+z}{\sqrt{R^2 + (l+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right].$$

На рис. 2а показана напряженность осевой составляющей напряженности магнитного поля, зависящая от радиуса магнита. Магнит фиксируется в трех положениях по оси  $z$  (0,5 мм, 1,0 мм и 1,5 мм) относительно ферромагнитного выступа вала. Параметры магнита:  $L=5,0$  мм, намагниченность  $M_0=800$  кА/м. На рис.2б иллюстрируется зависимость напряженности осевой составляющей напряженности магнитного поля от длины магнита. Радиус магнита  $R=1,5$  мм, намагниченность  $M_0 = 800$  кА/м.



а)



б)

Рис. 2. Зависимости осевой составляющей напряженности магнитного поля от радиуса (а) и длины (б) постоянного магнита цилиндрической формы

При выборе габаритов и других параметров магнитов необходимо учитывать прочность оптического волокна на разрыв и допустимую величину растяжения  $\Delta L_{\text{дон}}$  при больших перепадах окружающей температуры  $T$  [2]:

$$\Delta L_{\text{дон}}(T) \leq L_f \varepsilon(z = z_0, T = T_0) = L_f \frac{4F_{mm}(z = z_0)}{E_f(T = T_0) \pi d_f^2},$$

где  $\varepsilon$  (\*) – относительное удлинение оптоволокна (ОВ);  $L_f$  – длина сенсорного участка ОВ;  $F_{mm}(z)$  – сила осевого взаимодействия магнитов на ОВ и на выступе;  $z_0, T_0$  – координата точки разрыва ОВ при сближении магнитов по оси  $z$  и изменении температуры  $T$ ;  $E_f(T)$  – температурно зависимый модуль Юнга ОВ;  $d_f$  – диаметр ОВ.

К дополнительной информации, которая может быть получена при обработке измеренных данных, относятся осевые биения вала и пульсация скорости его вращения.

Данные исследований позволяют предположить наличие определенных достоинств бортовых ПВОСС на гибридных ВБР/САС датчиках и направления дальнейших исследований по их совершенствованию и разработке новых типов датчиков. В частности, выявлено, что вследствие больших перепадов температур доминирующей погрешностью гибридного датчика является температурная. Причем необходимо учитывать влияние температуры как на отдельную ВБР, так и на ВБР, сопряженную с САС. Для автокоррекции температурной погрешности наиболее эффективными представляются методы образцовых мер и вспомогательных измерений. Хорошие результаты показывают варианты построения датчиков дифференциального типа [4]. Перспективность использования гибридных датчиков подтверждается в НИР по разработке ПВОСС в планы ведущих космических и авиационных научно-производственных организаций за рубежом и в нашей стране.

#### Библиографический список

1. Fiber Optic Sensing System (FOSS) monitors multiple critical parameters in real time. URL: <https://www.nasa.gov/offices/ipp/centers/dfrc/index.html> (дата обращения 15.11.2016).
2. Леонович Г.И., Олешкевич С.В. Гибридные датчики на волоконно-оптических брэгговских решетках / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 18, № 4(7), 2016, с. 1340-1345.
3. Leonovich G.I., Zakharov V.N., Gorshkov A.I Engineering of the fiber optic Bragg grating sensor of electrical parameters and software application for automatic simulation of its parameters/ 3-rd International conference “Information Technology and Nanotechnology 2017” CEUR Workshop Proceedings, Samara, 2017. No.V. 1491. P. 133-137.
4. Leonovich G.I., Paranin V.D., Karpeev S.V. Correction of parameters of fiber-optical systems on the basis of the magneto tunable gradient elements. / CEUR Workshop Proceedings, Samara, June 29 - July 1. Samara: 2015. No.V.1490. P. 133-137.