

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОВОЛОКОННОГО КВАЗИРАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОК БРЭГГА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Представлены разработанная схема квазираспределенной волоконно-оптической системы измерения температуры на основе решеток Брэгга (ВБР), предназначенная для использования на космических аппаратах, и результаты теоретических исследований метрологических характеристик в диапазоне температур от -140 °С до +200 °С при использовании металлизированных ВБР и без покрытия.

Оптоволоконные технологии измерения физических параметров являются одной из наиболее быстроразвивающихся областей прикладной оптики. Волоконно-оптические датчики характеризуются малым весом, размером, пожаро- и искро- безопасностью, нечувствительностью к электромагнитным помехам и воздействию агрессивных сред и достаточно просто интегрируются в распределенные измерительные системы. Благодаря этим свойствам они широко используются при решении различных задач, в которых необходимо измерять температуру, деформацию и другие параметры протяженных объектов [1].

Одним из наиболее распространенных точечных и квазираспределенных датчиков, в которых волокно одновременно выполняет функции чувствительного элемента и канала передачи информации, являются измерители, основанные на использовании волоконной брэгговской решетки (ВБР) в качестве преобразователя измеряемого физического воздействия в спектральный сдвиг отраженной брэгговской длины волны [2,3]. Волоконная решетка Брэгга представляет собой дифракционную решетку, локализованную в сердцевине оптического волокна, которая образована за счет периодического изменения показателя преломления кварцевого стекла под воздействием лазерного излучения. Основными характеристиками решетки являются распределения амплитуды и периода модуляции показателя преломления (ПП), а также среднего значения, наведенного ПП вдоль оси световода. Эти параметры задают спектральные, дисперсионные и энергетические свойства решеток и, таким образом, определяют их использование в различных приложениях волоконной оптики.

Функциональная схема разработанного квазираспределенного волоконно-оптического измерителя на основе однородных решеток Брэгга с металлическим покрытием приведена на рисунке 1. На вход оптического волокна подается излучение от источника (или набора источников) с широким спектром излучения, которое последовательно проходит набор брэгговских решеток с различной центральной резонансной длиной волны. Излучение, отраженное от ВБР, усиливается волоконно-оптическим эрбиевым усилителем EDFA, регистрируется оптическим спектроанализатором ОСА и на основании сдвига центральных резонансных длин волн делается вывод об изменении температуры брэгговских решеток относительно температуры калибровки. Для увеличения чувствительности системы на брэгговские решетки напыляется металлическое покрытие. Минимальное спектральное расстояние между отраженными брэгговскими длинами волн определяется, исходя из условия отсутствия наложения пиков отражения на соседних длинах волн, то есть из предполагаемого диапазона измеряемых температуры. Точность измерений зависит от ширины спектра отражения ВБР и разрешающей способности спектроанализатора.

В связи с тем, что чувствительные элементы датчика, состоящие из волоконного световода и набора ВБР, могут быть расположены непосредственно в оболочке космического летательного аппарата и подвергаться в процессе полета в условиях открытого космоса значительным изменениям температуры, была разработана математическая модель и проведены исследования величины сдвига центральной частоты Брэгга в температурном диапазоне от -140 °С до +200 °С.

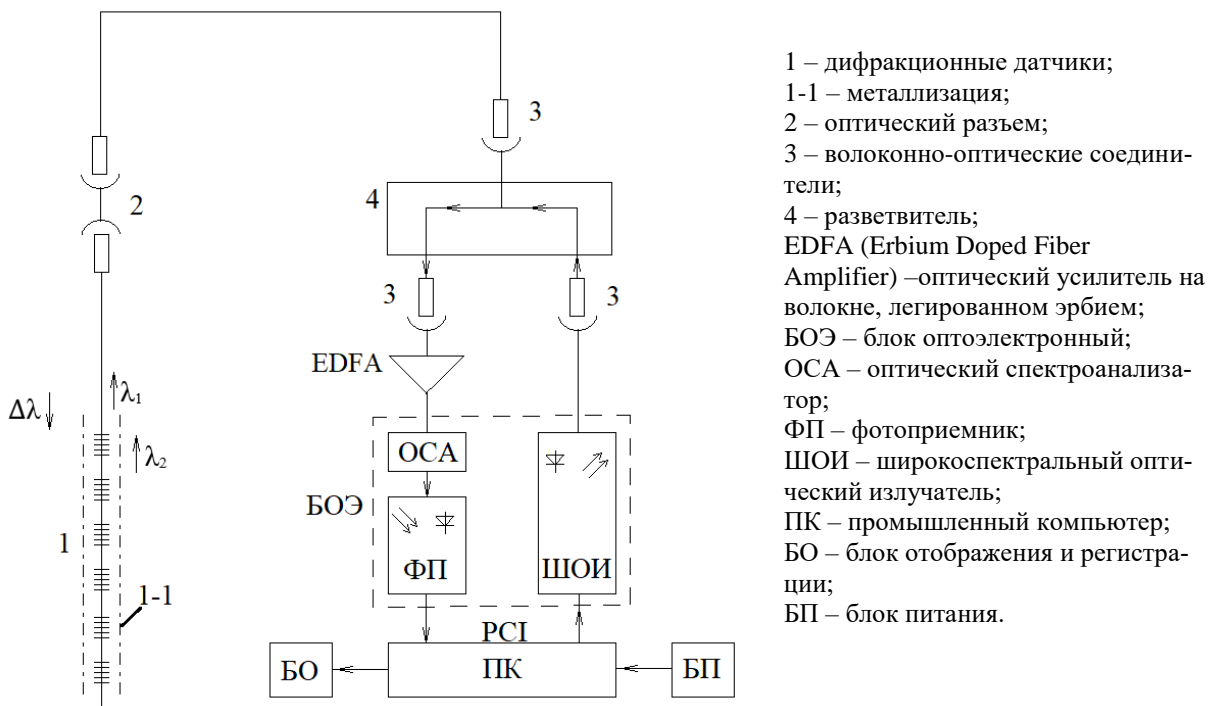


Рисунок 1 – Функциональная схема квазираспределенной волоконно-оптической измерительной системы на основе решеток Брэгга

Поскольку волоконно-оптические датчики температуры могут использоваться в космических аппаратах, важным фактором являются массогабаритные параметры. Показано, что толщина металлического покрытия не должна превышать 200 мкм, поскольку дальнейшее увеличение толщины не приводит к значительному увеличению чувствительности датчика, однако увеличивает его массу, что учитывалось при дальнейших расчетах. В результате численного моделирования смещения брэгговской длины волны для решеток, покрытых никелем, алюминием, медью и без покрытия в диапазоне температур от 0 °С до +200 °С установлено, что наибольшей чувствительностью обладают решетки с алюминиевым покрытием. Увеличение температурной чувствительности датчика в этом случае достигает 7,5 раз по сравнению с ВБР без покрытия. При моделировании смещения брэгговской длины волны для решеток, покрытых никелем, алюминием, медью и без покрытия в диапазоне температур от –140 °С до 0 °С показано, что для указанного диапазона максимальная чувствительность увеличивается в 4 раза.

Из полученных зависимостей следует, что металлизирование ВБР приводит к увеличению чувствительности температурного датчика, что снижает требования к ширине спектра отражения ВБР и разрешающей способности спектроанализаторов при сохранении требуемой точности измерения. С другой стороны, расширение интервала сдвига брэгговской длины волны излучения в зависимости от изменения температуры приводит к уменьшению количества решеток, которые можно мультиплексировать в пределах ширины спектра излучения оптического источника в 3,5 раза при выполнении условия отсутствия наложения спектров соседних ВБР при их смещении во всем измеряемом интервале температур.

Список литературы

1. Поляков, А.В. Волоконно-оптические информационно-измерительные WDM-системы / А.В. Поляков. – Riga, Latvia: LAMBERT Academic Publishing RU, 2018. – 319 с.
2. Simultaneous measurement for strain and temperature using fiber Bragg gratings and multimode fibers / D.-P. Zhou, L. Wei, W.-K. Liu [et al.] // Applied Optics. – 2008. – Vol. 47, № 10. – P. 1668–1672.
3. Леонович, Г.И. Гибридные датчики на волоконно-оптических брэгговских решетках / Г.И. Леонович, С.В. Олешкевич // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4. – С. 1340–1344.