

Исследование характеристик волоконно-оптического датчика давления на основе сильфона

Е.С. Попов^{1,*}, Р.М. Мельников¹, К.А. Сафарян^{1,2}, А.А. Оглезнев³

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет

² Национальный исследовательский университет ИТМО

³ ООО «Инверсия-Сенсор»

*E-mail: yevgeniy.popov.0101@mail.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.201-202

Преимущества датчиков деформации на основе волоконно-оптических решеток Брэгга (ВБР) по сравнению с обычными электрическими датчиками являются высокая чувствительность, быстрый отклик, малые размеры, простота изготовления, химическая инертность и устойчивость к электромагнитным помехам. Для измерения давления разработаны различные типы датчиков на основе ВБР. Важный вклад в повышение чувствительности вносят такие элементы, как сильфоны, диафрагмы разных форм и балки.

В работе представлен волоконно-оптический датчик давления на основе сильфона состоит из цилиндрического корпуса, в котором установлено три цилиндрических блока. В качестве первичного чувствительного элемента выступают два сильфона, которые соединяют блоки датчика между собой (рис.1). Два крайних блока жестко фиксируются (А, В) на корпусе, а центральный (Б) способен свободно перемещаться вдоль центральной оси [1]. С помощью отверстия в блоке А осуществляется сообщение с окружающей средой, благодаря чему можно измерить разности давлений между внутренней и внешней средами. В этом случае перепад давления среды приводит к растяжению первого сильфона и сжатию второго. Вместе с этим происходит деформация закреплённого на поверхности блоков оптического волокна, внутри которого записаны две волоконные брэгговские решетки [2]. Смещение сильфонов вызывает деформацию участков ВБР 1 и 2, что приводит к изменению их опорных длин волн. Это, в свою очередь, вызывает удлинение участка ВБР 1 и сжатие участка ВБР 2. Детектирование изменений опорных длин волн позволяет восстановить значение перепада давления. Использование двух участков ВБР позволяет обеспечить термокомпенсацию, так как изменение температуры влияет на опорные длины волн обеих решёток [3]. Вызванное смещением сильфонов удлинение участка ВБР 1 и сжатие участка ВБР 2 приводит к изменению опорных длин волн обеих ВБР.

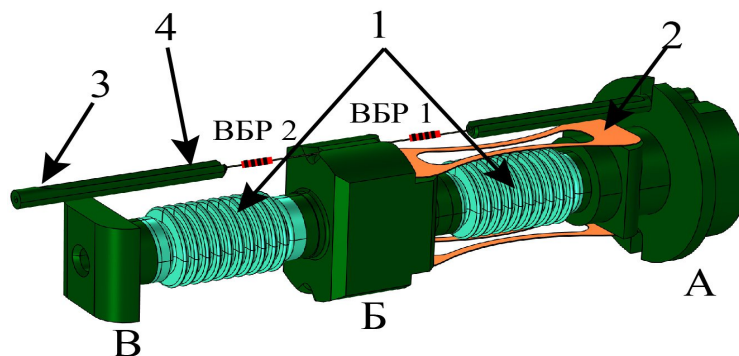


Рис. 1. Общий вид оптоволоконного сильфонного датчика давления: 1 – сильфоны, 2 – компенсирующая перемычки, 3 – площадки для крепления оптоволокна, 4 – оптоволокно с брэгговскими решетками, А, В – неподвижные блоки, Б – подвижный блок.

Исследование чувствительности датчика от геометрических параметров компенсирующей перемычки и сильфона проводились с использованием метода конечных элементов в математическом пакете Comsol Multyphysics. В ходе исследования определены конфигурации перемычек, каждая из которых соответствует определенному диапазону предельных давлений. Внутри каждого из этих диапазонов удавалось обеспечить необходимую одинаковую чувствительность варьируя при этом длину свободного волокна.

Получены конфигурации датчика, предназначенных под различные диапазоны предельных изменений давления ΔP_{lim}^* . Процесс подбора параметров конфигураций показан на рисунке 2а. На рисунке 2б показаны контурные графики приращения относительного удлинения волокна ε от величины предельного изменения давления ΔP_{lim} и длины свободного волокна l_f . Линиями показана выбранные параметры датчика для $\Delta P_{lim} \in [120, 250]$ бар и $\Delta P_{lim} \in [27, 53]$ бар. На рисунке 2в показана диаграмма, позволяющая подобрать длину свободного волокна l_f^* и h_{br}^* для требуемого ΔP_{lim} .

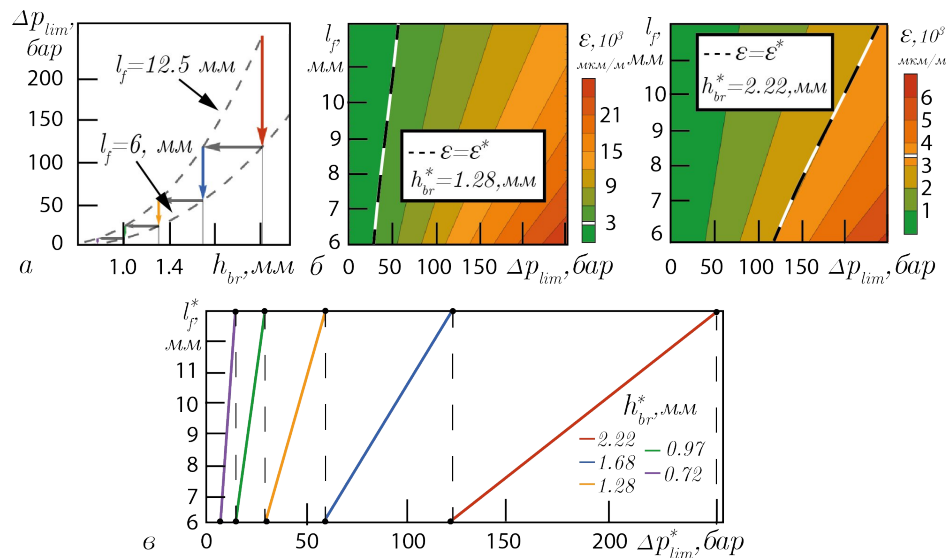


Рис. 2. а) Процесс подбора ширины балки перемычки h_{br}^* для конфигураций, предназначенных под различные диапазоны предельных давлений. б) Контурные графики приращения относительного удлинения волокна ε от величины предельного изменения давления ΔP_{lim} и длины свободного волокна l_f . Линиями показаны выбранные параметры датчика для $\Delta P_{lim} \in [120, 250]$ бар и $\Delta P_{lim} \in [27, 53]$ бар. в) Диаграмма подбора длины свободного волокна l_f^* и h_{br}^* для требуемого ΔP_{lim} .

Литература

- [1] Yang W. L. et al. Research on dual bellows FBG pressure sensor, *Applied Mechanics and Materials*. – Trans Tech Publications Ltd, (2013)
- [2] Song D. et al. High-sensitivity fiber Bragg grating pressure sensor using metal bellows, *Optical Engineering*, (2009)
- [3] Pachava V. R. et al. FBG based high sensitive pressure sensor and its low-cost interrogation system with enhanced resolution, *Photonic Sensors*, (2015)