

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ МАХА-ЦЕНДЕРА И САНЬЯКА

Трефилов И.А. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Куликов А.В. (ИТМО)

**Введение.** Оптические интерферометрические системы широко применяются для высокочувствительных измерений, особенно в мониторинге окружающей среды и инженерных конструкций. Среди них особый интерес представляют гибридные схемы, основанные на интерферометрах Маха-Цендера и одноволоконного Саньяка, обеспечивающие высокую точность и широкий частотный диапазон.

В данной статье рассматриваются две перспективные оптические схемы, использующие принципы интерференции световых волн и фазовых сдвигов [1, 2]. Подробно анализируется работа одной из упрощенных схем, включающей модули широкополосного излучения, фазовой задержки, измерительного волокна, отражения, фотоприемника и обработки сигналов.

Представленные решения демонстрируют высокую точность позиционирования и устойчивость к внешним воздействиям, что делает их перспективными для мониторинга трубопроводов, систем безопасности и инженерных объектов.

**Основная часть.** Из литературного обзора определены две перспективные оптические схемы, основанные на гибриде интерферометров Маха-Цендера и одноволоконного Саньяка. Эти схемы работают на основе интерференции световых волн и анализа их фазовых сдвигов.

Схема включает несколько ключевых компонентов:

- модуль широкополосного излучения на центральной длине волны 1550 нм;
- интерферометр Маха-Цендера с искусственной задержкой фазы за счет удлинения одного из плеч;
- одноволоконный интерферометр Саньяка, являющийся измерительным волокном;
- модуль отражения на конце измерительной линии, основанный на фарадеевском вращательном зеркале с изменением поляризации;
- фотоприемный модуль;
- модуль обработки электрических и цифровых сигналов.

Интерферометр Маха-Цендера состоит из двух ответвителей и двух оптических путей (плеч). Свет от источника разделяется на два пучка, имеющие разные оптические пути, после прохождения которых они объединяются, создавая интерференционную картину. При этом разная длина плеч создает фазовый сдвиг.

Интерферометр Саньяка используется для дополнительной фазовой модуляции, что повышает чувствительность системы. Изменения оптического сигнала обусловлены воздействием акустических волн на оптическое волокно, приводящим к локальным изменениям показателя преломления чувствительного волокна.

Отраженные сигналы от фарадеевского фазовращательного зеркала возвращаются через плечи интерферометров в фотоприемный модуль. Здесь сигналы преобразуются в электрический и цифровой вид, после чего анализируются кросс-корреляционным методом, используемым для интерпретации интерференционных сигналов. На основе полученных данных определяется измеряемая акустическая вибрация.

Для повышения точности схемы в систему вводятся элементы, разделяющие излучение на две длины волны [2]. Это позволяет:

- увеличить чувствительность и точность измерений;

- минимизировать влияние шумов;
- компенсировать внешние температурные воздействия.

**Выводы.** Оптическая схема без разделения на две длины волны демонстрирует хорошую согласованность частотной характеристики в диапазоне 10 Гц – 20 кГц, а ошибка определения местоположения составляет  $\pm 20$  м при длине чувствительного волокна 40 км.

В схеме с разделением по длинам волн обеспечивается постоянная точность позиционирования вдоль чувствительного волокна, что подтверждает стабильную работу системы при зондировании на расстоянии до 70 км с SNR 30 дБ. Ошибка определения местоположения для сигналов разной ширины полосы составляет менее 10 м. Такой уровень точности делает систему перспективной для практических инженерных приложений, включая мониторинг трубопроводов, охрану периметров и контроль состояния конструкций, где важна точная локализация событий и минимизация ошибок.

#### **Список использованных источников:**

1. Y. Wu, C. Li, H. Tang, B. Jia and C. Wang, "Improved Differential Phase Detecting Optical Fiber Interferometer With a Low-Frequency Compensation Scheme," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 15487-15494, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3146854.
2. Jin R. et al. Positioning Error Limits and Noise Analysis in hybrid MZ-Sagnac Interferometric Distributed Optical Fiber Sensing System // *Journal of Lightwave Technology*. – 2024.