

ОПТИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Рассказов И.Ю.¹, Луговой В.А.,² Цой Д.И.,² Горбунов А.В.²

¹*Хабаровский федеральный исследовательский центр, г. Хабаровск*
²*Институт горного дела Хабаровского исследовательского федерального центра
Дальневосточного отделения РАН*
Lugovoy.tomsk@mail.ru

К техническим характеристикам приемника акустических сигналов для анализа их амплитудно-временных параметров относятся:

- полоса рабочих частот;
- порог чувствительности в рабочей полосе частот;
- чувствительность;
- динамический диапазон;
- нелинейные искажения.

Кроме того, предпочтительно, чтобы приемник не требовал предварительной калибровки и обеспечивал бесконтактный, дистанционный, точечный прием; надежность, простоту и удобство в эксплуатации.

Как показывает опыт исследований различных акустических приемников наиболее полно предъявляемым требованиям удовлетворяет оптический приемник на базе двухлучевого лазерного интерферометра.

Основные компоненты оптического приемника: оптическая головка интерферометра, источник излучения - лазер, фотоприемники, стабилизатор рабочей точки интерферометра.

Конструкция оптической головки интерферометра.

На рисунке 1 представлена конструкция оптической головки интерферометра, разработанная в лабораторных условиях.

При исследовании акустических сигналов интерферометр настраивается таким образом, чтобы в интерференционной картине наблюдалась одна полоса, интенсивность которой зависит от величины фазы $\delta = 4\pi l/\lambda$ между интерферирующими, где l – разница плеч интерферометра; λ – длина световой волны. В плоскости локализации полос помещается фотоприемник и сигнал с его выхода подается на вход измерителя тока или напряжения. Величина тока на выходе фотоприемника равна:

$$i = i_0 \cos^2 \frac{2\pi l}{\lambda}, \quad (1)$$

где $i_0 = 4I_0\chi$, i_0 – ток, соответствующий максимальной яркости интерференционной картины, χ – чувствительность фотоприемника; I_0 – интенсивность интерферирующих световых лучей.

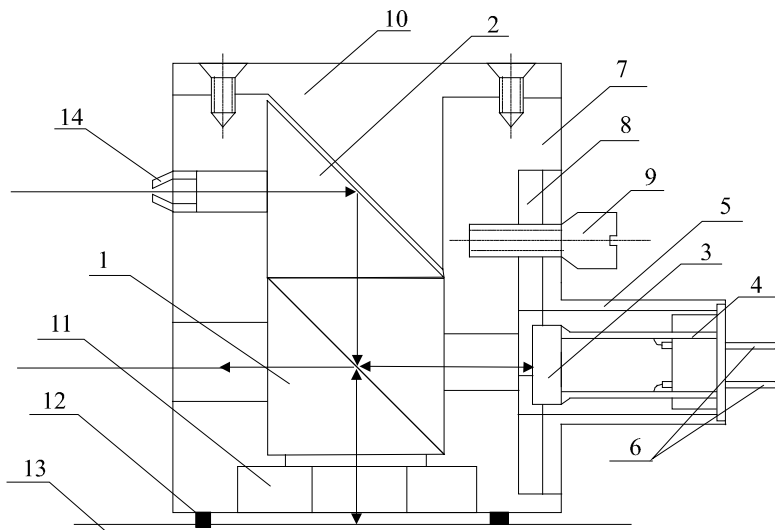


Рис. 1. Конструкция оптической головки двухлучевого лазерного интерферометра: 1 – полупрозрачный светоделительный кубик; 2 – поворотная призма; 3 – опорное зеркало; 4 – пьезокерамические пластины; 5 – юстируемая оправа; 6 – электрические контакты; 7 – инваровый корпус; 8 – упругая прокладка; 9 – юстировочные винты

Таблица 1. Оптический приемник акустических сигналов

Технические характеристики		Примечания
Порог чувствительности, мГц ^{1/2}	$1,5 \cdot 10^{-14}$	Мощностные шумы
Чувствительность, В/м	$3,3 \cdot 10^7$	Одночастотный лазер с селектором Троицкого
Полоса воспроизведения частот, Гц	$2,2 \cdot 10^9$	Фотоприемники ЛФД-2
Динамический диапазон, дБ	20	С учетом нелинейности характеристики интерферометра

Порог чувствительности: предельный порог определяется дробовыми шумами фотодиодов. Достижение предельного порога чувствительности достигается выбором фотоприемника [1], применением компенсационной схемы приема [2] и одночастотного лазера с селектором Троицкого [3] в резонаторе, использованием усилителя автоподстройки (стабилизатора фазы) [4].

Полоса воспроизведения частот двухлучевого интерферометра определяется областью его дисперсии $\Delta\nu = C/2l$, где l – оптическая разность хода плеч интерферометра, C – скорость света. В используемой конструкции оптической головки интерферометра реализована оптическая разность равная $l \approx 50$ мкм. При этом, полоса воспроизведения частот двухлучевого интерферометра составит величину $\Delta\nu \sim 10^{12}$ Гц. Использование в качестве фотоприемников лавинных фотодиодов ЛФД-2 (рабочая частота до 3,0 ГГц) обеспечит рабочую полосу оптического приемника до 3,0 ГГц.

Чувствительность. Для одночастотного лазера, разработанного в лабораторных условиях на базе серийно выпускаемого ЛГ-79/2, мощностью $\sim 2,4$ мВт [1] и лавинного фотодиода ЛФД-2 (спектральная чувствительность $S_\lambda = 150$ мА/лм, рабочая полоса частот – 3,0 ГГц) при нагрузочном сопротивлении фотодиода $R_H = 50$ Ом, расчетная чувствительность $= \eta_U^P$, выраженная в величинах вольт/метр, равна $\eta_U^P = 3,3 \cdot 10^7$ В/м

Динамический диапазон. Принципиальным ограничением динамического диапазона интерферометрического метода измерений в области малых смещений (единицы ангстрем) является порог чувствительности интерферометрической схемы измерения. В области измерения больших смещений (сотни ангстрем) ограничивающим фактором является увеличение ошибки измерения амплитуды сигнала из-за возрастания систематической ошибки, связанной с нелинейностью характеристики оптического интерферометра (1). Эта ошибка растет с ростом амплитуды измеряемого смещения Δl и составляет 5% при $\Delta l = \lambda/40 = 1,5 \cdot 10^{-8}$ м. Таким образом, динамический диапазон разработанного оптического интерферометра лежит в диапазоне смещений $[1,5 \cdot 10^{-14} (\Delta f)^{1/2} - 1,5 \cdot 10^{-8}]$ м, что для рабочей полосы частот 10^9 Гц составляет 30 дБ, а для полосы 10^{10} Гц – 20 дБ.

Нелинейные искажения. Разложение выражения (1) в ряд окрестности рабочей точки интерферометра $\delta_0 (2l = \lambda / 4)$ записывается в виде

$$i = i_0 \left[\cos^2 \delta_0 / 2 + \frac{\sin \delta_0}{2} (\delta - \delta_0) + \frac{\cos \delta_0}{4} (\delta - \delta_0)^2 - \frac{\sin \delta_0}{24} (\delta - \delta_0)^3 + \dots \right], \quad (2)$$

где $\delta_0 = 4\pi l / \lambda = \pi/2$; $\delta = \frac{4\pi}{\lambda} (l + A \sin \omega t)$, A – смещение в акустической волне.

В практике измерений рабочая точка выставляется с определенной ошибкой. Тогда в выходном сигнале присутствуют все гармоники. Относительное содержание второй гармоники (по отношению к первой) оценивается выражением:

$$\frac{A_2}{A_1} = \pi \text{ctg} \delta_1 \cdot \frac{A_1}{\lambda}, \quad (3)$$

где A_1 и A_2 – амплитуды первой и второй гармоники соответственно, $\delta_j = \delta_0 + \Delta\delta$ – рабочая точка интерферометра.

Литература

1. Луговой В.А. Оптические методы возбуждения и регистрации сверхкоротких акустических импульсов в твердых средах: дис. канд. физ.-мат. наук. 01.04.05. / Луговой Владимир Александрович – Хабаровск. 1998 г. 145 с.
2. Бондаренко А.Н., Криницын Ю.М., Луговой В.А. Экспериментальное определение предельного порога чувствительности оптического измерителя акустических колебаний // Метрология. 1982. № 5. С. 11-16.
3. Резонатор для оптического квантового генератора. А.С.№326677.СССР МКИ H01s 3/02. / Троицкий Ю.В./СССР/. Заявка от 05.08.1963. Бюлл. Изобр., 1972 № 4.
4. Способ измерения колебаний объекта и устройство для его осуществления А.С. №1315793.СССР.МКИ G01n 29/04. / Бондаренко А.Н., Кондратьев А.И., Гусаков С.А. /СССР/ - Бюлл. Открытия, изобретения. 1987. № 21. С. 174.