

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

*Чураков П.П., Самохина К.С.*

*Пензенский государственный университет, г.Пенза*

**Ключевые слова:** акустооптическое преобразование, информационно-измерительная система, оптические и акустические волны, оптическая схема, энергия оптического излучения, сигнал-шум.

**Аннотация.** В статье сравниваются по эффективности использования энергии оптического излучения оптические схемы информационно-измерительных систем с акустооптическим преобразованием частоты на выходе интерференционной схемы и на входе интерференционной схемы. Показано, что оптическая схема с акустооптическим преобразованием частоты на входе интерференционной схемы наиболее предпочтительна по критерию эффективности использования энергии оптического излучения. Исследование данных оптических схем информационно-измерительных систем ведет к необходимости уменьшения количества отражающих и преломляющих поверхностей их оптической части.

## EVALUATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF OPTICAL CIRCUITS OF INFORMATION-MEASURING SYSTEMS BASED ON LASER ACOUSTO- OPTIC INTERFEROMETERS

*Churakov P.P., Samohina K.S.*

*Penza State University, Penza*

**Keywords:** acoustics-optical transformation, information-measuring system, optical and acoustic waves, optical circuit, optical radiation energy, signal-to-noise.

**Abstract.** The article compares the efficiency of using the energy of optical radiation optical circuits of information and measurement systems with acoustics-optical frequency conversion at the output of the interference circuit and at the input of the interference circuit. It is shown, that an optical scheme with acoustics-optic frequency conversion at the input of an interference circuit is most preferable according to the criterion of the efficiency of the use of optical radiation energy. The study of these optical circuits of information and measurement systems leads to the need to reduce the number of reflecting and refractive surfaces of their optical part.

Помехоустойчивость оптоэлектронных информационно-измерительных систем зависит от многих причин: характеристик источника излучения, параметров передающей оптической системы, свойств среды распространения излучения, параметров приемной оптической системы и приемника излучения.

Неэффективное использование энергии лазерного излучения в оптических схемах ведет к уменьшению соотношения сигнал/шум. Увеличение количества преломляющих и отражающих поверхностей в оптической системе снижает соотношение сигнал/шум измерительного сигнала, так как на границе раздела двух сред (например, воздух – стекло) мощность измерительного сигнала уменьшается.

Расчет потерь на отражение при преломлении ведут по формуле [1]:

$$\rho = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2. \quad (1)$$

При этом показатель преломления среды  $n$  зависит от длины волны излучения  $\lambda$ . Коэффициент пропускания  $\tau_{np}$  из-за потерь на отражение при преломлении всей оптической системы равен  $\sum(1-\rho_h)$ , где  $h$  – число преломляющих поверхностей. При этом, если имеется  $N$  поверхностей с одинаковыми значениями  $\rho$ , то их общий коэффициент пропускания равен

$$\tau_{np} = (1 - \rho)^N. \quad (2)$$

В интерферометрах Майкельсона при сложении двух интерферирующих пучков также происходят потери мощности излучения. С достаточной степенью точности отношение сигнал/шум  $\left( \frac{C}{Ш} \right)$  в гетеродинных лазерных информационно-измерительных системах определяется по формуле [2, 3]:

$$\frac{C}{Ш} = \sqrt{\frac{\eta\lambda}{hc\Delta f} \times \frac{P_u \times P_p}{(P_u + P_p)}}, \quad (3)$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $\eta$  – квантовая эффективность фотоприемника;  $\Delta f$  – полоса пропускания избирательного усилителя;  $c$  – скорость распространения света;  $P_u$ ,  $P_p$  – мощности измерительной и референтной световых волн соответственно.

Анализ формулы показывает, что соотношение сигнал/шум зависит от соотношения мощностей  $P_u$ ,  $P_p$ . Соотношение сигнал/шум на входе приемника должно быть не меньше заданного порогового значения. Соотношение сигнал/шум ниже порогового значения приводит к непропорционально быстрому росту погрешности и увеличению вероятности аномальных явлений при дальнейшей обработке измерительной информации.

Существуют две основные схемы фазовых интерференционных информационно-измерительных систем перемещений: с акустооптическим преобразованием частоты на входе интерференционной схемы и с преобразованием частоты на выходе интерференционной схемы (рис. 1).

Оптическая схема информационно-измерительной системы перемещений с акустооптическим преобразованием частоты на выходе интерференционной схемы показана на рисунке 1а. Исходное лазерное излучение  $P$  проходя оптический куб КО1 и интерферометр Майкельсона ИМ1 или ИМ2, попадает на акустооптический модулятор АОМ, теряя часть своей мощности. На АОМ поступают два световых пучка под углом дифракции друг к другу, причем мощности этих пучков равны  $P_1 = P_2 = 0,125P_{инт}[1]$ .

При расчете соотношения интенсивностей интерферирующих световых волн в акустооптических схемах принято допущение о том, что световая волна, проходя акустооптический модулятор, распадается на дифракционные порядки без поглощения их интенсивностей в модуляторе и мощность дифракционных порядков выше первого пренебрежительно мала.

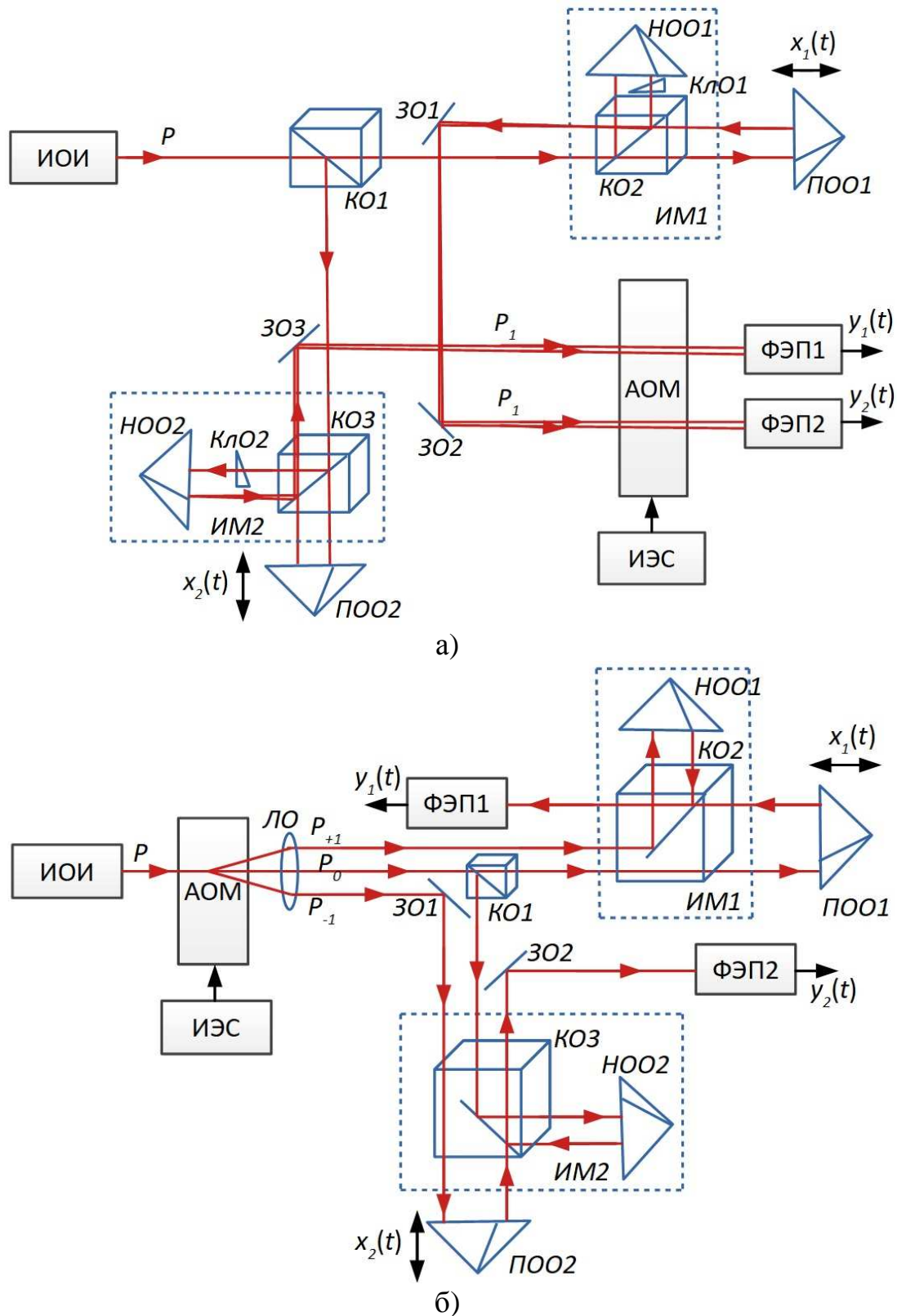


Рис. 1. Оптическая схема информационно-измерительной системы с акустооптическим преобразованием частоты: а) – на выходе интерференционной схемы; б) – на входе интерференционной схемы

Оптимальное значение параметра фазовой модуляции света  $a = 0,7$  [2], что соответствует соотношению мощностей  $P_{+1} < 0,15P_0$  в нулевом  $P_0$  и первом  $P_{+1}$  дифракционных порядках. При большем значении параметра  $a$  в акустооптическом модуляторе возникают нелинейные искажения [2]. При

дифракции Рамана-Ната возникают «+1» и «-1» дифракционные порядки, причем мощности их равны:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_{+1} + P_{-1} + P_0, \\ P_{+1} &= P_{-1} = 0,15P_0. \end{aligned}$$

Произведя несложные математические вычисления с мощностями референтного и измерительного световых пучков, получаем

$$\begin{aligned} P_p &= 0,015P_{ин}, \\ P_u &= 0,095P_{ин}. \end{aligned}$$

Подставляя значения  $P_p$  и  $P_u$  в формулу (3), получаем

$$\left(\frac{C}{Ш}\right)_1 = \sqrt{\frac{\eta\lambda}{hc_0\Delta f} \times \frac{0,015 \times 0,095 P_{ин}}{0,015 + 0,095}}.$$

Оптическая схема информационно-измерительной системы с акустооптическим преобразованием частоты на входе интерференционной схемы показана на рисунке 1б. Исходное лазерное излучение  $P$  подают на АОМ, где при  $a = 0,7$  получают на выходе АОМ следующие значения рассеянного излучения [2, 4]

$$\begin{aligned} P'_0 &= 0,76P_{ин}, \\ P'_{+1} &= P'_{-1} = 0,12P_{ин}. \end{aligned}$$

Учитывая потери мощности лазерного излучения при прохождении через оптическую систему, получаем

$$\begin{aligned} P'_p &= 0,06P_{ин}, \\ P'_u &= 0,19P_{ин}. \end{aligned}$$

Соответственно, подставляя значения  $P_p$  и  $P_u$  в формулу (3), получаем для схемы на рисунке 1б

$$\left(\frac{C}{Ш}\right)_2 = \sqrt{\frac{\eta\lambda}{hc\Delta f} \cdot \frac{0,06 \times 0,19 P_{ин}}{(0,06 + 0,19)}}.$$

Из приведенных выше вычислений видно, что отношение соотношения сигнал/шум различных оптических схем интерферометров

$$\frac{(C/Ш)_2}{(C/Ш)_1} \approx 2.$$

Если при расчете использовать формулы (1) и (2), то относительное энергетическое соотношение сигнал/шум при одинаковом источнике лазерного излучения оптических схем с акустооптическим преобразованием на входе и на выходе достигает  $2,2 \div 2,5$ .

Из рассмотренных схем оптическая схема с акустооптическим преобразованием на входе является наиболее предпочтительной с точки зрения эффективного использования энергии лазерного излучения. Исследование данных схем ведет к необходимости уменьшения количества отражающих и преломляющих поверхностей их оптической части. Этого можно добиться введением в схему оптических волокон, выполняющих деление и объединение оптических измерительных сигналов.

### Список литературы

1. Ахманов С.А. Физическая оптика / С.А. Ахманов, С.Д. Никитин. – М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. – 656 с.
2. Базыкин С.Н. Информационно-измерительные системы на основе интерферометров: моногр. / С.Н Базыкин; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Васильева. – Пенза: изд-во ПГУ, 2014. – 132 с.
3. Базыкин С.Н. Принципы построения и состояние производства информационно-измерительных систем линейных перемещений / С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина, Н.П. Кривулин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17219>.
4. Базыкин С.Н. Проблемы информационного обеспечения систем с использованием оптоэлектронных средств измерения линейных перемещений // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16173>.

### Сведения об авторах:

*Чураков Петр Павлович* – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология», ПГУ, Пенза;

*Самохина Кристина Сергеевна* – ассистент кафедры «Приборостроение», ПГУ, Пенза.