

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/148TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/148TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/148TVN215>)

**УДК 62-531**

**Базыкин Сергей Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

Россия, Пенза<sup>1</sup>

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: [cbazykin@yandex.ru](mailto:cbazykin@yandex.ru)

**Базыкина Нелли Александровна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

Россия, Пенза

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: [nelli.baz@mail.ru](mailto:nelli.baz@mail.ru)

**Капезин Сергей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

Россия, Пенза

Профессор

Кандидат технических наук

Доцент

**Шошкина Мария Николаевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

Россия, Пенза

Младший научный сотрудник

E-mail: [mashyla90@yandex.ru](mailto:mashyla90@yandex.ru)

## **Многоапертурный акустооптический модулятор света**

---

<sup>1</sup> 440026, г. Пенза, ул. Красная, дом 40

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы проектирования и конструирования многоапертурных акустооптических модуляторов света. Одновременная фазовая модуляция или демодуляция лазерного излучения в нескольких информационных каналах требует разработки конструкции акустооптического модулятора, обеспечивающей идентичность параметров акустооптического взаимодействия путем просвечивания ультразвукового поля по нескольким направлениям в одной плоскости от поверхности пьезоизлучателя.

Представлена схема направлений акустооптического взаимодействия в многоапертурном акустооптическом модуляторе. Показано, что успешное решение задачи конструирования акустооптического модулятора зависит от правильного выбора принципиальной схемы конструкции, материалов светозвукопровода, пьезопреобразователя и т.д. Выявлено, что значение фазовой погрешности преобразования измерительной информации зависит от реального значения коэффициента отражения ультразвуковой волны, возвращающейся в зону акустооптического взаимодействия. Определены методы уменьшения влияния отраженной ультразвуковой волны в акустооптическом модуляторе. Показана целесообразность применения полимеров в качестве материалов для поглотителей в акустооптическом модуляторе.

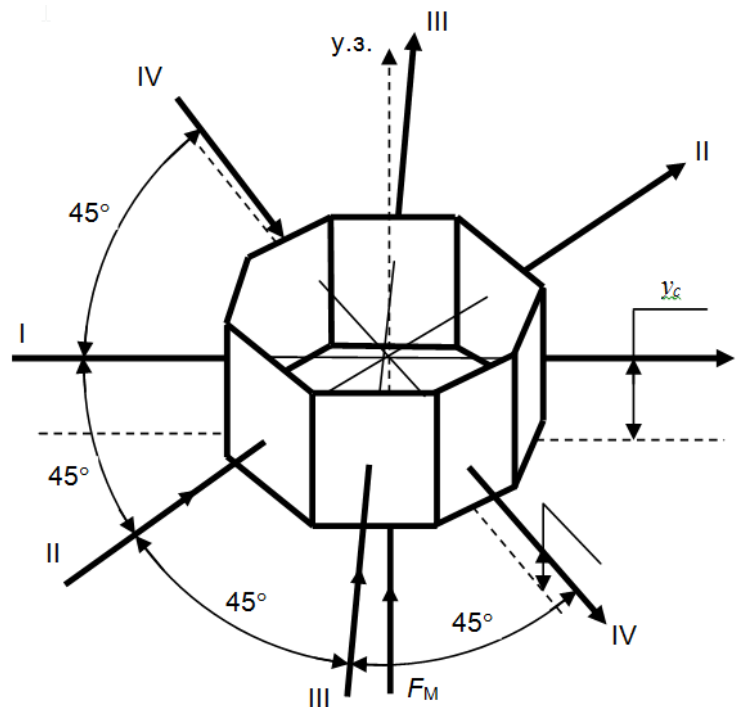
В работе представлена двухкамерная конструкция акустооптического модулятора специальной формы, которая позволяет удовлетворить «противоречивые» эксплуатационные требования. Выявлено, что для обеспечения заданного максимально допустимого значения случайной фазовой погрешности преобразования в акустооптическом модуляторе последовательность операций расчета геометрических параметров и выбора материалов для светозвукопровода и поглотителя зависит от конкретных конструктивных и эксплуатационных требований.

**Ключевые слова:** акустооптический модулятор света; акустооптическое взаимодействие; дифракция; измерение; информационно-измерительная система; лазер; модуляция; погрешность; светозвукопровод; ультразвуковое поле; фаза световой волны.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Базыкин С.Н., Базыкина Н.А., Капезин С.В., Шошкина М.Н. Многоапертурный акустооптический модулятор света // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/148TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/148TVN215

Акустооптические методы обработки измерительной информации в многоканальных системах управления находят все более широкое применение в различных областях науки и техники [3,5,6]. Одновременная фазовая модуляция или демодуляция лазерного излучения в нескольких информационных каналах требует разработки конструкции акустооптического модулятора, обеспечивающей идентичность параметров акустооптического взаимодействия путем просвечивания ультразвукового поля по нескольким направлениям в одной плоскости от поверхности пьезоизлучателя. Особенно это необходимо обеспечить в высокоточных фазовых измерительных системах, в которых значение фазы фиксируется до  $1 \cdot 10^{-2}$  рад. Случайные и систематические погрешности фазового преобразования, связанные с акустооптическим преобразователем частоты световых волн (рис. 1), определяются двумя основными параметрами – значением коэффициента отражения  $r$  и значением температурного коэффициента скорости ультразвука  $\Delta C_t$ . При этом через них оказывают свое влияние другие конструктивные параметры: глубина ультразвукового поля  $l$ , координата зоны акустооптического взаимодействия  $y_0$ , длина модулятора по ультразвуку  $u$ . В связи с этим разработка конструкции акустооптического модулятора, удовлетворяющей требованиям минимальной погрешности преобразования и методики расчета основных конструктивных параметров представляется весьма актуальной [2,7,8].

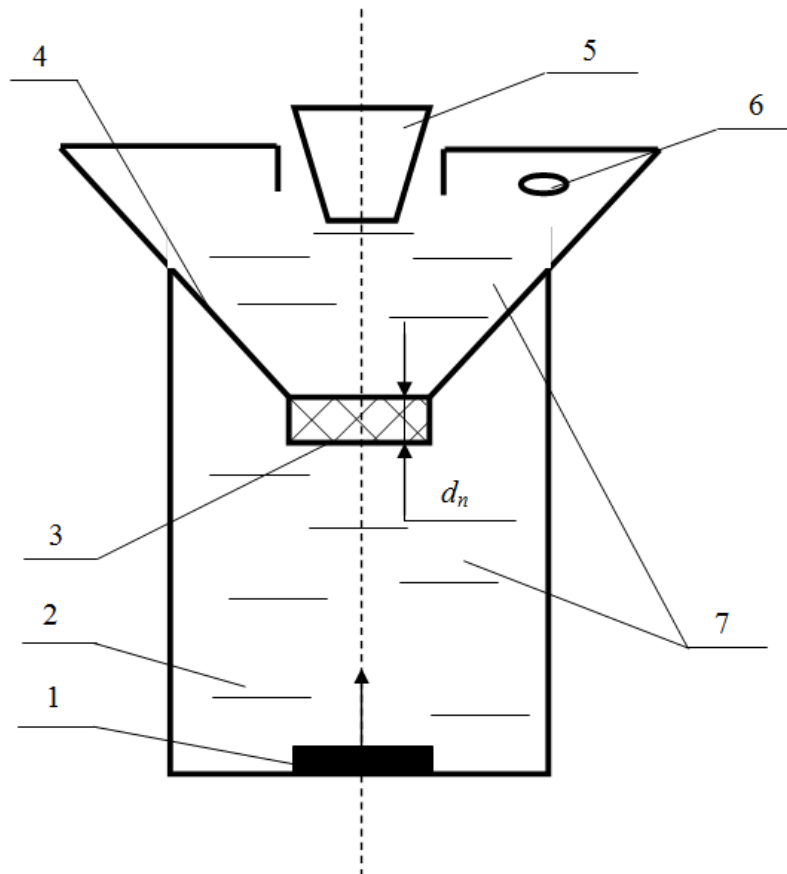


**Рисунок 1.** Схема направлений акустооптического взаимодействия в многоапертурном акустооптическом модуляторе

В случае организации дополнительного информационного опорного канала, несущего информацию от нестабильности параметров акустооптического взаимодействия в других каналах и по которому производится коррекция результатов преобразования, конструкция акустооптического модулятора должна обеспечивать просвечивание модулятора по всем каналам в одной плоскости, на одинаковом расстоянии  $y_0$  при равенстве параметров  $l$ . Схема направлений акустооптического взаимодействия в многоапертурном акустооптическом модуляторе представлена на рисунке 1, а двухкамерная конструкция акустооптического модулятора – на рисунке 2. Изготовление акустооптического модулятора света – сложная комплексная задача, успешное решение которой зависит от правильного выбора принципиальной схемы конструкции, материалов светозвукопровода, пьезопреобразователя,

технологии нанесения акустооптических «связок» и поглотителей, условий согласования акустооптического модулятора по акустооптическим и электрическим сопротивлениям [1,4,9].

Применение органических жидкостей в качестве сред при малых акустооптических мощностях ультразвукового поля ( $\ll 1$  Вт) снимает вопросы с оптической неоднородностью светозвукопровода. Спектр дифрагированного света определяется спектром только одного типа ультразвуковых волн – продольных. Конструкции узла крепления пьезоизлучателя отличаются простотой и надежностью при работе на частоте  $1 \div 100$  МГц. Анализ математической модели фазовой погрешности преобразования измерительной информации, показал, что значение погрешности зависит от реального значения коэффициента отражения ультразвуковой волны, возвращающейся в зону акустооптического взаимодействия.



**Рисунок 2.** Схема двухкамерной конструкции многоапертурного акустооптического модулятора

Возможны два конструктивных метода уменьшения влияния отраженной ультразвуковой волны:

- 1 уменьшение дифракционной эффективности акустооптического модулятора от отраженной ультразвуковой волны для проходящих световых волн за счет увеличения угла падения (рис. 3);
- 2 уменьшение действительного значения коэффициента отражения путем согласования волновых сопротивлений среды светозвукопровода акустооптического модулятора и материала поглотителя.

В многоапертурной конструкции акустооптического модулятора, рассматриваемой в данной работе, такой метод неприменим из-за наличия нескольких плоскостей акустооптического взаимодействия с неидентичными условиями (по числу каналов

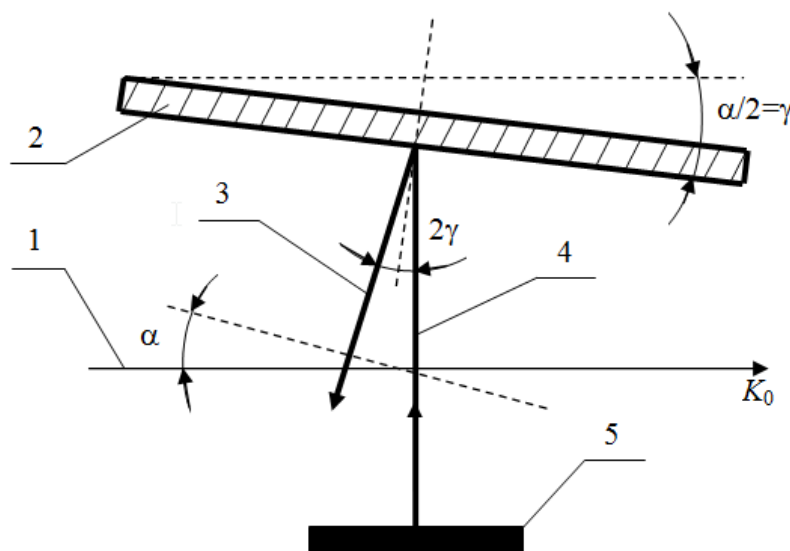
преобразования), в которых лежат направления распространения преобразуемых световых волн и направление исходной ультразвуковой волны. При этом результат изменения направления отраженной ультразвуковой волны в плоскости взаимодействия (поворотом плоскости отражателя) для одного канала преобразования, неэффективно действует для других каналов. Поэтому в многоапертурных конструкциях акустооптического модулятора целесообразно применять конструкцию плоского поглотителя, при которой требуемый режим «бегущей» ультразвуковой волны обеспечивается при поглощении последней в результате прохождения ее через материал поглотителя.

Результаты физико-механических исследований, приведенные в работах [10,11], показывают, что для ультразвуковых колебаний на частотах  $1 \div 20$  МГц максимальное затухание при температуре  $283 \div 303$  °К наблюдается в высокополимерных, каучукоподобных материалах и пластмассах.

Поглощение ультразвуковых волн в этих материалах, связанное с релаксационными процессами, при которых происходит сворачивание и разворачивание клубков молекул полимеров, является частотнозависимым, имеющим тенденцию к увеличению с повышением частоты. При этом энергия ультразвуковой волны преобразуется в тепло.

Целесообразность применения полимеров в качестве материалов для поглотителей в акустооптическом модуляторе диктуется малыми значениями волновых сопротивлений, сравнимыми со значениями волновых сопротивлений используемых жидкостей, что особенно эффективно для их согласования.

Для обеспечения необходимого уровня поглощения ультразвуковой волны необходимо обеспечить достаточную для этого толщину поглотителя.



**Рисунок 3.** Схема направлений акустооптического взаимодействия световой волны с исходной и отраженной звуковыми волнами

Коэффициент потерь  $\varepsilon$  ультразвука для распространяющегося в неограниченной среде твердого тела с длиной волны  $\Lambda$  связан с коэффициентом поглощения  $a_n$  соотношением [10]:

$$\frac{\Lambda}{\pi\varepsilon} = \frac{1}{a_n}. \quad (1)$$

Обозначим отношение амплитуды поглощенной (до необходимого значения) ультразвуковой волны  $\Delta P_n$  при ее распространении в среде к амплитуде исходной  $\Delta P_0$  через:

$$\frac{\Delta P_n}{\Delta P_0} = a_n r_n, \quad (2)$$

где коэффициент  $a_n < 1$ ;  $r_n$  – коэффициент отражения.

Тогда, в соответствии с изложенными определениями, необходимая толщина поглотителя может быть рассчитана с помощью выражения:

$$d_n = \frac{l\left(\frac{1}{a_n r_n}\right)}{\pi \varepsilon} \Lambda. \quad (3)$$

При прохождении ультразвуковой волны границы раздела максимально допустимое значение фазовой погрешности преобразования значения фазы световой волны зависит от передаточной функции конкретного оптического устройства и всегда может быть определена, как  $\delta\Phi_{max} = f(r_{отр.})$ . Поэтому всегда можно, исходя из допустимого значения  $\delta\Phi_{max}$ , вычислить максимально допустимое значение коэффициента отражения  $r_{доп.}$ . Для гетеродинных интерферометров с акустооптическим преобразованием фазы измерительной световой волны при  $\delta\Phi_{max} \leq 0,01$  рад.,  $r_{доп.} \leq 0,05$ . В работах [9, 10] было получено выражение для расчета численного значения отношения волновых сопротивлений материала светозвукопровода и поглотителя  $m$

$$\frac{1 - r_{доп.}}{1 + r_{доп.}} \leq m \leq \frac{1 + r_{доп.}}{1 - r_{доп.}}, \quad (4)$$

которое определяет область допустимых значений  $m$  для обеспечения режима «бегущей» волны. Из применяемых пар «жидкость-полимер» последнему условию при  $r_{доп.} \leq 0,05$  и соответственно  $0,99 \leq m \leq 1,01$  в настоящее время не удовлетворяет ни одна пара. Для снижения требований по согласованию волновых сопротивлений материалов была разработана и исследована конструкция поглотителя, использующая свойства «резонансного» прохождения ультразвуковой волны через пластину полимера. В этом случае коэффициент отражения:

$$r_n = \frac{(m^2 - 1)^2}{4m^2 ctg^2\left(\frac{2\pi d_n}{\Lambda}\right) + (m^2 + 1)^2} \quad (5)$$

где  $d_n$  – толщина пластины,  $\Lambda$  – длина ультразвуковой волны в материале поглотителя.

Периодичность функции (5) показывает, что ее минимальное значение  $r_n = \min$  наблюдается при

$$d_n = N \cdot \Lambda \quad (6)$$

где  $N$  – целое положительное число.

Для обеспечения требуемого значения  $r_n$  необходимо с заданной точностью обеспечить размер толщины пластины поглотителя  $d_n$  исходя из формул (3) и (6).

На рисунке 2 в разрезе представлена схематически конструкция разработанного акустооптического модулятора. Последовательно обозначены основные функциональные узлы: 1 – пластина круглого пьезоизлучателя, 2 – оптически прозрачный корпус, 3 – круглая пластина поглотителя толщиной  $d_n$ , 4 – соединительное отверстие, 5 – заливная пробка, 6 – воздушный «пузырек-демпфер», 7 – «рабочая» жидкость.

Двухкамерная конструкция акустооптического модулятора специальной формы позволяет удовлетворить «противоречивые» эксплуатационные требования. Для обеспечения неразрушаемости конструкции акустооптического модулятора вследствие объемного расширения «рабочей» жидкости при больших перепадах температуры наиболее слабым звеном является тонкая (порядка 0,3 мм) пластина пьезоизлучателя.

При конструкции поглотителя в виде плоскопараллельной пластины, разделяющей две камеры многоапертурного акустооптического модулятора и помещенной в «рабочую» жидкость, поглощаемая ультразвуковая волна проходит толщину поглотителя по крайней мере 2 раза. Поэтому минимальная необходимая толщина пластины поглотителя в соответствии с (3) может быть уменьшена. Окончательно, учитывая свойства прохождения ультразвуковой волны в пластине поглотителя, для обеспечения минимальных значений коэффициента отражения  $r_n$  размер толщины пластины должен выбираться кратным половине длины ультразвуковой волны в материале поглотителя и больше размера, определяемого выражением:

$$d_n = g \frac{\Lambda}{2}, \quad (7)$$

где  $g$  – целое число, удовлетворяющее условию:

$$g = \frac{\ln \frac{1}{a_n r_n}}{\pi \varepsilon} \quad (8)$$

Значение коэффициента  $a_n$  характеризует заданную эффективность поглотителя и определяет степень ослабления вторичной ультразвуковой волны, возвращающейся в светозвукопровод акустооптического модулятора после двукратного прохождения пластины поглотителя.

Для полимеров (при частоте ультразвуковой волны  $F_m = 8$  МГц), у которых коэффициент потерь  $\varepsilon < 0,03$  толщина пластины поглотителя, при равных заданных параметрах  $a_n$  и  $r_n$  получается больше 15 мм, что непропорционально увеличивает габариты узла поглотителя. Поэтому с конструктивной точки зрения рекомендуется применять полимеры и пластмассы, у которых  $\varepsilon > 0,03$ .

Для обеспечения заданного максимально допустимого значения случайной фазовой погрешности преобразования  $\Delta\Phi_{\text{дон}}$  в акустооптическом модуляторе последовательность операций расчета геометрических параметров и выбора материалов для светозвукопровода и поглотителя зависит от конкретных конструктивных и эксплуатационных требований. Поскольку синтез полимеров с заданными акустическими параметрами является более сложным технологическим процессом, чем синтез органических жидкостей, расчет должен исходить из параметров имеющихся полимеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Базыкин, С.Н. Пути дальнейшего совершенствования лазерных интерферометров / С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина, С.В. Капезин // Наука и бизнес: пути развития. – 2015. – №2, стр. 27-30.
2. Базыкин С.Н. Проблемы измерений параметров производственных процессов. / С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина, Н.П. Кривулин // Наукоедение. – 2014. - №6; URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/182TVN614>.
3. 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.
4. Базыкин, С.Н. Лазерный интерферометр для измерения угловых перемещений / С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина // Датчики и системы. – 2005. - №8. – стр. 8-9.
5. 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>.
6. 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>.
7. Григорьев, С.Н. Современное состояние и перспективы развития метрологического обеспечения машиностроительного производства / С.Н. Григорьев, Д.А. Мастеренко, В.И. Телешевский, П.Н. Емельянов // Измерительная техника. 2012. №11. стр. 56-59.
8. Григорьев, С.Н. Проблемы метрологического обеспечения подготовки производства в машиностроении / С.Н. Григорьев, В.И. Телешевский, А.В. Глубоков, С.Е. Педь, С.В. Глубокова // Измерительная техника. 2012. №5. стр. 27-29.
9. Капезин, С.В. Пространственные реперные точки в гетеродинных лазерных интерферометрах / С.В. Капезин, С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина // Датчики и системы. – 2005. - №10. – стр. 19-20.
10. Порфирьев, Л.Ф. Основы теории преобразований сигналов в оптико-электронных системах / Л.Ф. Порфирьев. – Л.: Машиностроение, 1989. – 387 с.
11. Телешевский, В.И. Методы повышения точности линейных измерений на измерительных микроскопах с помощью цифровой обработки оптических изображений / В.И. Телешевский, А.В. Шулепов, А.П. Есин // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2009. №1. – стр. 102 - 107.

**Рецензент:** Мурашкина Татьяна Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры «Приборостроение» Пензенского государственного университета.



**Bazykin Sergey Nikolaevich**

Penza State University  
Russia, Penza  
E-mail: [cbazykin@yandex.ru](mailto:cbazykin@yandex.ru)

**Bazykina Nelli Aleksandrovna**

Penza State University  
Russia, Penza  
E-mail: [nelly.baz@mail.ru](mailto:nelly.baz@mail.ru)

**Kapezin Sergey Viktorovich**

Penza State University  
Russia, Penza

**Shoshkina Mariya Nikolaevna**

Penza State University  
Russia, Penza  
E-mail: [mashyla90@yandex.ru](mailto:mashyla90@yandex.ru)

## **Many-aperture acoustics-optical modulator of the light**

**Abstract.** In article are considered questions of the designing and construction many-aperture acoustics-optical modulator of the light. The simultaneous phase inflexion or uninflexion lazer radiation in several information channels requires the development to designs acoustics-optical modulator, providing similarity parameter acoustics-optical interactions by rayings of the ultrasonic field on several directions in one planes from surface pyezo-radiator.

The presented scheme of the directions acoustics-optical interactions in many-aperture acoustics-optical modulator. It is shown that successful decision of the problem construction acoustics-optical modulator depends on right choice of the principle scheme to designs, material light sound-guide, pyezo-converter and etc. It is revealed that importance of phase inaccuracy of the transformation to measuring information depends on real importance of the factor of the reflection of the ultrasonic wave, returning in zone acoustics-optical interactions. The certain methods of the reduction of the influence reflected ultrasonic wave in acoustics-optical modulator. It is shown practicability of the using polymer as material for absorbers in acoustics-optical modulator.

In work is presented two-chamber design acoustics-optical modulator of the special form, which allows to satisfy «inconsistent» working requirements. It is revealed that for ensuring given greatly possible importance of casual phase inaccuracy of the transformation in acoustics-optical modulator operational procedure of the calculation geometric parameter and choice material for light sound-guide and absorber depends on concrete constructive and working requirements.

**Keywords:** acoustics-optical modulator of the light; acoustics-optical interaction; diffraction; measurement; information-measuring system; lazer; inflexion; inaccuracy; light sound-guide; ultrasonic field; phase of the light wave.

## REFERENCES

1. Bazykin, S.N. Puti dal'neyshego sovershenstvovaniya lazernykh interferometrov / S.N. Bazykin, N.A. Bazykina, S.V. Kapezin // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2015. – №2, str. 27-30.
2. Bazykin S.N. Problemy izmereniy parametrov proizvodstvennykh protsessov. / S.N. Bazykin, N.A. Bazykina, N.P. Krivulin // Naukovedenie. – 2014. - №6; URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/182TVN614>.
3. Bazykin, S.N. Informatsionno-izmeritel'nye sistemy na osnove interferometrov: monogr. / S.N. Bazykin; pod red. d-ra tekhn. nauk, prof. V.A. Vasil'eva. – Penza: izd-vo PGU, 2014. – 132 s.
4. Bazykin, S.N. Lazernyy interferometr dlya izmereniya uglovykh peremeshcheniy / S.N. Bazykin, N.A. Bazykina // Datchiki i sistemy. – 2005. - №8. – str. 8-9.
5. Bazykin, S.N. Printsipy postroeniya i sostoyanie proizvodstva informatsionno-izmeritel'nykh sistem lineynykh peremeshcheniy / S.N. Bazykin, N.A. Bazykina, N.P. Krivulin // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015. – №1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17219>.
6. Bazykin, S.N. Problemy informatsionnogo obespecheniya sistem s ispol'zovaniem optoelektronnykh sredstv izmereniya lineynykh peremeshcheniy // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2014. – №6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16173>.
7. Grigor'ev, S.N. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya metrologicheskogo obespecheniya mashinostroitel'nogo proizvodstva / S.N. Grigor'ev, D.A. Masterenko, V.I. Teleshevskiy, P.N. Emel'yanov // Izmeritel'naya tekhnika. 2012. №11. str. 56-59.
8. Grigor'ev, S.N. Problemy metrologicheskogo obespecheniya podgotovki proizvodstva v mashinostroenii / S.N. Grigor'ev, V.I. Teleshevskiy, A.V. Glubokov, S.E. Ped', S.V. Glubokova // Izmeritel'naya tekhnika. 2012. №5. str. 27-29.
9. Kapezin, S.V. Prostranstvennye repnyye tochki v geterodinnykh lazernykh interferometrach / S.V. Kapezin, S.N. Bazykin, N.A. Bazykina // Datchiki i sistemy. – 2005. - №10. – str. 19-20.
10. Porfir'ev, L.F. Osnovy teorii preobrazovaniy signalov v optiko-elektronnykh sistemakh / L.F. Porfir'ev. – L.: Mashinostroenie, 1989. – 387 s.
11. Teleshevskiy, V.I. Metody povysheniya tochnosti lineynykh izmereniy na izmeritel'nykh mikroskopakh s pomoshch'yu tsifrovoy obrabotki opticheskikh izobrazheniy / V.I. Teleshevskiy, A.V. Shulepov, A.P. Esin // Vestnik MGTU «STANKIN». 2009. №1. – str. 102 - 107.