

УДК 004.031.6

## ОПТОПРИБОРЫ НА БЕГУЩИХ И СТОЯЧИХ УПРУГИХ ВОЛНАХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

М. А. УРАКСЕЕВ<sup>1</sup>, К. В. ВАЖДАЕВ<sup>2</sup>, А. Р. САГАДЕЕВ<sup>3</sup>,  
Ю. И. ВАЛИАХМЕТОВА<sup>4</sup>, Л. И. ВАСИЛЬЕВА<sup>5</sup>

<sup>1</sup> uma1941@mail.ru, <sup>2</sup> vazhdaev.k@gmail.com, <sup>3</sup> one\_str@mail.ru, <sup>4</sup> julikas@inbox.ru, <sup>5</sup> lidav@mail.ru

<sup>1,4</sup> ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ)

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» (БашГУ)

<sup>5</sup> ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (БГПУ)

Поступила в редакцию 04.11.2020

**Аннотация.** Рассматривается задача создания современных оптических приборов на бегущих и стоячих упругих волнах для электронных систем управления с улучшенными техническими характеристиками. Рассмотрено развитие оптоэлектронных принципов измерений, использующих различные методы управления световым потоком когерентного источника оптического излучения в виде полупроводникового лазера или лазерного диода. Созданы новые оптоэлектронные приборы разного назначения на основе бегущих и стоячих упругих волн.

**Ключевые слова:** оптоприборы; бегущие и стоячие упругие волны; аналого-цифровой преобразователь; акустооптический эффект; датчик; преобразователь.

### ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность.* Разработка новых приборов, датчиков, преобразователей и систем управления на их основе, обладающих улучшенными показателями качества в виде технических характеристик и меньшей стоимостью по сравнению с зарубежными аналогами, является актуальной научно-технической задачей.

Действие всех этих приборов, датчиков, преобразователей и измерительных систем основано на различных принципах измерений [1], отличающихся в зависимости от физических явлений или эффектов, положенных в основу измерений [2].

*Состояние вопроса.* В последние десятилетия интенсивно развиваются оптоэлектронные принципы измерений, использующие волоконно-оптические эффекты, в основе которых лежат различные методы управ-

ления световым потоком когерентного источника оптического излучения в виде полупроводникового лазера или лазерного диода.

Для управления световым лучом с помощью магнитного поля используется магнитооптический эффект, при управлении с помощью электрического поля имеем электрооптический эффект, при управлении упругими ультразвуковыми волнами имеем акустооптический эффект [3–6].

Приборы, основанные на волоконно-оптических эффектах, обладают высокой точностью (приведенная погрешность порядка 0,1 %), быстродействием (постоянная времени  $10^{-9}$ – $10^{-10}$  с), чувствительностью, широким диапазоном измеряемых физических величин, малыми габаритами и высокой надежностью.

Наличие в их структуре современных сигнальных микроконтроллеров с микро-

процессорами [7–15] позволяет расширять их функциональные возможности: осуществлять коррекцию погрешностей с помощью программируемого микропроцессора, просматривать результаты измерений в разные моменты времени, отображая их в числовом виде на жидкокристаллическом индикаторе. Применение дешевых современных оптоэлектронных компонентов – маломощных лазерных диодов и высокочувствительных *p-i-n* фотодиодов – позволяет обеспечивать высокую чувствительность и точность оптоэлектронных приборов.

Целью выполненной авторами работы является изучение патентно-технической литературы для выявления современного состояния исследований в области оптоприборов и систем на бегущих и стоячих упругих волнах, выбор возможных путей создания новых оптоприборов и систем с улучшенными технико-экономическими характеристиками и, в конечном счете, создание таких приборов и систем.

#### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ОПТОПРИБОРОВ И СИСТЕМ**

Проведенный анализ известных патентов и научно-технической литературы в области приборов, датчиков и систем, основанных на волоконно-оптических эффектах, к которым относятся и акустооптические устройства, использующих бегущие и стоячие упругие волны, показал следующее.

В известных работах достаточно четко отражены физические основы функционирования устройств, основанных на магнитооптическом и электрооптическом эффектах. Многообразие типов и конструкций акустооптических приборов и систем имеет свои особенности, некоторые из которых отражены в работах [3–5, 16, 17]. В этих работах приведено описание акустооптического эффекта и отмечено, что при этом имеет место модуляция дифрагированного луча света с частотой модуляции ультразвука. Разработаны и исследованы приборы, основанные на акустооптическом эффекте в анизотропном кристалле в форме прямоугольного параллелепипеда или прямоугольном твердотельном звукопроводе [18–20]. При учете

модуляции интенсивности светового излучения с частотой ультразвука успешно используется метод оптического гетеродинамирования.

На противоположных торцевых гранях звукопровода, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, размещены плоский пьезопреобразователь и поглотитель ультразвуковых волн [21, 22]. В работе [23] плоская грань выходной поверхности светозвукопровода в виде призмы скошена на угол  $40\text{--}70^\circ$  к оси оптического луча. Авторами работы [24] разработан прибор со звукопроводом в виде тела с фотоупругими свойствами в форме трапециевидной призмы.

В большинстве известных работ форма звукопровода – прямоугольная призма и лишь в ряде разработок [23, 24] она иная, как было отмечено выше.

К сожалению, в известных работах не уделено должного внимания виду упругих ультразвуковых волн (бегущая или стоячая): в некоторых работах говорится о «движущейся периодической структуре» [22] и лишь в работах [24, 25] указано, что действие прибора основано на стоячих упругих волнах.

При большом разнообразии разработок в области оптоэлектронных приборов, основанных на акустооптическом эффекте, заключающемся в дифракции света на ультразвуке, и использующих акустооптическую модуляцию, нам представляется актуальным при рассмотрении и создании таких приборов учитывать характер ультразвуковых волн (стоячие или бегущие), т.к. от этого во многом зависит и структура создаваемого или исследуемого прибора и его технико-экономические показатели.

#### **БЕГУЩИЕ И СТОЯЧИЕ УПРУГИЕ ВОЛНЫ**

Вид используемых ультразвуковых волн в упругих средах не указывался в старых разработках. В последние годы в тексте статей, описаниях патентов указывается вид волны – бегущая или стоячая. Для их получения авторы-разработчики прибегают к конструктивным приемам для создания условий возникновения тех или иных волн, помня: из физики известно, что стоячие

волны возникают при отражении как от менее плотной, так и от более плотной среды [26].

Колебания, возникшие в некоторой точке упругой среды, передаются соседним точкам, которые также начинают колебаться. Оказывается, что процесс передачи колебаний из одной точки в другую характерен не только для упругих сред, но и для электромагнитных волн [26].

Стоячая волна возникает при отражении волны от преград и неоднородностей в результате взаимодействия (интерференции) бегущей (падающей) и отраженной волн.

В стоячей волне все точки среды, в которой они распространяются, расположены между двумя соседними узлами, колеблются в одной фазе. Точки среды, лежащие по разные стороны от узла, колеблются в противофазе – фазы их отличаются на  $\pi$ , т.е. при переходе через узел фаза колебаний скачкообразно меняется на  $\pi$ .

В отличие от бегущих волн, в стоячей волне отсутствует перенос энергии вследствие того, что образующие эту волну бегущая и отраженная волны переносят энергию в равных количествах и в прямом, и в противоположном направлениях. В том случае, когда волна отражается от среды с большим волновым сопротивлением, чем в среде, где распространяется волна, в месте отражения возникает узел, фаза меняется на противоположную. При этом говорят, что происходит потеря половины волны. Когда волна отражается от среды с меньшим волновым сопротивлением, в месте отражения появляется пучность, и потери половины волны нет.

Таким образом, в стоячей волне энергия периодически перемещается от пучностей к узлам и, наоборот, от узлов к пучностям. Но в самих узлах и пучностях плотность потока энергии равна нулю. Поэтому среднее за период значение плотности потока энергии равно нулю в любой точке стоячей волны, т.к. две бегущие навстречу друг другу волны образуют стоячую волну и переносят за период равную энергию в противоположных направлениях.

*Резюме.* Стоячие волны возникают при отражении как от среды с большим волно-

вым сопротивлением, так и от среды с меньшим волновым сопротивлением. Стоячая волна может существовать только при отсутствии потерь в среде распространения (или активной среде) и полном отражении падающей волны.

В упругой стоячей волне энергия периодически переходит из потенциальной, которая локализована вблизи узлов стоячей волны, в кинетическую энергию, локализованную вблизи пучностей стоячей волны. Но в самих узлах и пучностях плотность потока энергии равна нулю. Если при падении волны происходит ее полное поглощение, то отраженная волна отсутствует, интерференции волн нет, амплитуда волнового процесса в пространстве постоянна. Такой волновой процесс называют бегущей волной.

#### **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ НА СТОЯЧИХ И БЕГУЩИХ УПРУГИХ ВОЛНАХ**

С учетом вышеизложенного и на основе проведенного анализа патентно-технической литературы [11, 13, 15–31] можно кратко сформулировать принципы построения таких приборов.

1. В приборах на основе стоячих волн необходимо полностью отразить падающую ультразвуковую волну, для чего используется полирование грани звукопровода противоположащей грани с пьезоизлучателем или нанесение специальных звукоотражающих покрытий.

Используется дифракция света на ультразвуке с дальнейшей обработкой информативного оптического сигнала моды +1 порядка.

2. В приборах на основе бегущих волн необходимо полностью поглотить падающую ультразвуковую волну, для чего устанавливают поглотители (демпферы) на грани звукопровода, противоположащей грани с пьезоизлучателем для обеспечения условий волнового процесса, называемого бегущей волной. Используется модуляция интенсивности светового излучения с частотой ультразвука, получаемого при помощи метода оптического гетеродинирования за счет применения цепи электрической обратной связи. При этом могут использоваться в ка-

честве информативного сигнала не только моды  $+1$  порядка, но и моды  $+1$ ,  $-1$ ,  $0$ -го порядка дифракции.

### СОЗДАНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ НА СТОЯЧИХ И БЕГУЩИХ ВОЛНАХ

Рассмотрим прибор на основе стоячих упругих волн [28], приведенный на рис. 1. Прибор содержит источник оптического излучения 1 в виде полупроводникового лазера, акустооптическую ячейку Рамана – Ната 2, пьезоизлучатель 3, генератор радиочастоты 4. Грань акустооптической ячейки 5, противоположная грани с пьезоизлучателем 3, отполирована с целью создания условий для полного отражения от нее ультразвуковой волны 6, создаваемой пьезоизлучателем 3. Периодические неоднородности среды, создаваемые ультразвуковой волной в акустооптическом материале ячейки пьезоизлучателем обозначены цифрой 7. Последовательная цепочка содержит фотодиод 8, преобразователь ток–напряжение на базе операционного усилителя 9, аналого-цифровой преобразователь 10, программируемый микроконтроллер 11 с микропроцессором в своей структуре, управляющую клавиатуру 12, устройство записи информации на ее носитель 13, печатающее устройство 14, устройство отображения информации в виде жидкокристаллического индикатора 15.

С целью обеспечения возможности контроля линейных перемещений источник оптического излучения, фотодиод и электронный блок с элементами 9–15 установлены на одной панели, которая является подвижной относительно акустооптической ячейки. Т.е. эта панель и акустооптическая ячейка с пьезоизлучателем и генератором взаимоподвижны. Если выполнить подвижную панель, то она может перемещаться относительно акустооптической ячейки вдоль ее длины. При этом подвижная часть прибора механически крепится к объекту, положение которого контролируется.

Остановимся на работе рассматриваемого прибора. Свет от полупроводникового лазера 1 в виде электромагнитной волны с длиной  $\lambda$  и частотой  $\omega$  подается на акусто-

оптическую ячейку 2, в которой при прохождении ультразвуковой волны 6 длиной  $\Lambda$  и частотой  $\Omega$ , создаваемой пьезоизлучателем, образуются периодические неоднородности среды. При попадании луча света на эти неоднородности имеет место дифракция Рамана – Ната, при которой луч распадается на ряд мод порядка  $m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$ . Угол  $\theta = \pm m\lambda/\Lambda$ , где  $m$  – порядок дифракции (целое число);  $\Lambda$  – длина волны ультразвука;  $\lambda$  – длина волны света.

При этом для дальнейшей обработки используются, как правило, лучи  $\pm 1$  порядка дифракции. На рис. 1 луч моды  $+1$  порядка попадает на фотоприемник 8, в качестве которого используется фотодиод. Выходной ток фотодиода  $I_{\Phi}$  подается на преобразователь тока в напряжение, выполненный на базе операционного усилителя 9. Сигнал с выхода преобразователя 9 в виде электрического напряжения в аналого-цифровом преобразователе 10 преобразуется в цифровой код. Последний подается на микроконтроллер 11, содержащий микропроцессор, который ведет обработку измерительной информации по определенным алгоритмам, обеспечивающим коррекцию погрешностей.

В жидкокристаллическом индикаторе 15 отображается измеренная информация о перемещении объекта в виде цифр.

С помощью клавиатуры 12 осуществляется управление микроконтроллером.

Устройство записи 13 позволяет записать информацию на носитель в виде флэш-памяти.

С помощью печатающего устройства 14 осуществляется печатание данных об измерении перемещений.

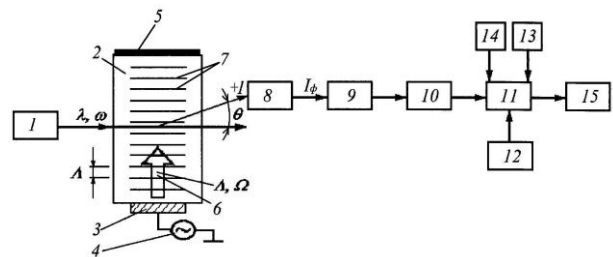


Рис. 1. Оптиприбор на стоячих упругих волнах

Разработанный прибор отличается от известных более простой конструкцией, высокой точностью, широкими функциональ-

ми возможностями. К его достоинствам можно отнести и высокую разрешающую способность. Как видно из рис. 1, разрешающая способность, определяемая как расстояние между соседними периодическими неоднородностями среды, равными длине ультразвуковой волны  $\Lambda$ , весьма высока из-за малой величины  $\Lambda$ . Согласно [17] для тяжелого оптического стекла (флинтгласа)  $\Lambda = 78 \text{ мкм} = 78 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,078 \text{ мм}$ . Это означает, что разрешающая способность прибора, равная 0,078 мм, весьма высока, если принять, что измеряемые перемещения могут быть в пределах сотен и тысяч мм.

Авторами разработаны оптоэлектронные приборы на основе стоячих и бегущих волн разного назначения: для контроля перемещения [29], для контроля температуры в зоне резания по концентрации выделяющегося угарного газа [30], для тепловизионного контроля температуры объектов [31].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изучения известной патентно-технической литературы было выявлено современное состояние исследований в области оптоэлектронных приборов и систем на бегущих и стоячих упругих волнах, что способствовало выбору путей создания новых оптоприборов и систем.

Анализ физики процессов, происходящих в бегущих и стоячих упругих волнах, показал, что стоячие волны образуются при полном отражении падающих ультразвуковых волн от грани звукопровода, противоположной грани с пьезоизлучателем. В приборах со стоячими волнами используется дифракция света на ультразвуке с дальнейшей обработкой информативного оптического сигнала моды +1 порядка.

В приборах на основе бегущих волн необходимо полностью поглотить падающую на грань звукопровода волну ультразвука, не допуская ее отражения. Для обработки информативного оптического сигнала используется модуляция интенсивности светового излучения с частотой ультразвука, получаемого при помощи метода оптического гетеродинамирования за счет применения цепи электрической обратной связи. При этом могут использоваться в качестве

информативного сигнала не только моды +1 порядка, но и моды +1, -1 и 0-го порядка дифракции.

Созданы новые оптоэлектронные приборы разного назначения на основе бегущих и стоячих упругих волн.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **РМГ 29–99 ГСИ.** Метрология. Основные термины и определения // Рекомендации по межгосударственной стандартизации (дата введения 01.01.2001 г.). Минск: ИПК Издательство стандартов, 2000. [ *Metrology. Basic terms and definitions*, (in Russian), Recommendations for interstate standardization 29-99 State system for ensuring the uniformity of measurements, Minsk, Izd-vo standartov, 2000. ]
2. **Физический** энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с. [ A. M. Prokhorov (ed.), *Physical encyclopedic dictionary*, (in Russian). Moscow: Sovetskaya enciklopedia, 1983. ]
3. **Волоконно-оптические** датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / под ред. Э. Удда. М.: Техносфера, 2008. 520 с. [ E. Udd (ed), *Fiber-optic sensors. Introductory course for engineers and researchers*, (in Russian). Moscow: Tekhnosfera, 2008. ]
4. **Фрайден Дж.** Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2006. 592 с. [ J. Frieden, *Modern sensor. Handbook*, (in Russian). Moscow: Tekhnosfera, 2006. ]
5. **Джексон Р. Г.** Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2007. 384 с. [ R. G. Jackson, *Latest sensors*, (in Russian). Moscow: Tekhnosfera, 2007. ]
6. **Evstaf'ev A. I., Urakseev M. A.** Increasing the accuracy of magneto-optical current measuring instruments // Measurement Techniques. 2014. Vol. 57, no. 9. Pp. 1041-1045. [ A. I. Evstaf'ev, M. A. Urakseev, "Increasing the accuracy of magneto-optical current measuring instruments", in Measurement Techniques, vol. 57, no. 9, pp. 1041-1045, 2014. ]
7. **Белов А. В.** Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR. СПб.: Наука и техника, 2008. 544 с. [ A. V. Belov, *Tutorial for device developer on AVR microcontrollers*, (in Russian). Saint-Petersburg: Nauka i tekhnika, 2008. ]
8. **Фаулджер Р.** Программирование встроенных микропроцессоров / пер. с англ. В. В. Пржиалковского; под ред. В. М. Курочкина. М.: Мир, 1985. 275 с. [ R. S. Foulger, *Programming embedded microprocessors*, (in Russian). Translated from English by V. V. Przhival'kovskij; V. M. Kurochkin (ed.). Moscow: Mir, 1985. ]
9. **Голубцов М. С.** Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному / М. С. Голубцов, А. В. Кириченко. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 304 с. [ M. S. Golubtsov, *AVR Microcontrollers: from simple to complex*, (in Russian). Moscow: SOLON-Press, 2005. ]
10. **Евстифеев А. В.** Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы ATMEL. М.: Додэка-XXI, 2005. 560 с. [ A. V. Evstifeev, *Microcontrollers AVR family Tiny and Mega Atmel*, (in Russian). Moscow: Dodeka-XXI, 2005. ]
11. **Голямина Н. П.** Ультразвук. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1979. 400 с. [ N. P. Golyamina, *Ultrasound. A small encyclopedia*, (in Russian). Moscow: Sovetskaya enciklopediya, 1979. ]

12. **Сетевые** цифровые волоконно-оптические датчики перемещения с закрытым оптическим каналом / Г. И. Леонович [и др.] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 7 (38). С. 9–15. [ G. I. Leonovich *et al.*, “Network-based digital fiber-optic displacement sensors with a closed optical channel”, (in Russian), in *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aërosmicheskogo universiteta*, no. 7 (38), pp. 9-15, 2012. ]
13. **Introduction** to Acousto Optics // Brimrose Corporation of America. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.brimrose.com> (дата обращения 28.10.2020). [ Introduction to Acousto Optics // Brimrose Corporation of America (2020, Oct. 28). [Online]. Available: <http://www.brimrose.com> ]
14. **AOTF SPECTROSCOPY** // Brimrose Corporation of America. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.brimrose.com> (дата обращения 28.10.2020). [ AOTF SPECTROSCOPY // Brimrose Corporation of America (2020, Oct. 28). [Online]. Available: <http://www.brimrose.com> ]
15. **Элементы** лазерных систем // Фотоника. Акустооптика. Модуляторы. [Электронный ресурс]. URL: <http://sphotonics.ru/catalog/aotf/> (дата обращения 25.10.2020). [ Elements of laser systems // Photonics. Acoustooptics. Modulators (2020, Oct. 25). [Online]. Available: <http://sphotonics.ru/catalog/aotf/> ]
16. **Гонда С., Сэко Д.** Оптоэлектроника в вопросах и ответах. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989. 184 с. [ S. Gonda, D. Seko, *Optoelectronics in questions and answers*, (in Russian). Leningrad: Energoatomizdat. Leningradskoe otdelenie, 1989. ]
17. **Окиси Т.** Волоконно-оптические датчики. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1990. 256 с. [ T. Oko-si, *Fiber-optic sensors*, (in Russian). Leningrad: Energoatomizdat. Leningradskoe otdelenie, 1990. ]
18. **Интерференционный** способ измерения фазового сдвига световых волн / В. И. Телешевский [и др.] // Патент РФ № 2023982. Оpubл. 30.11.1994. [ V. I. Teleshevsky, *et al.*, *Interference method for measuring the phase shift of light waves*, Patent RF 2023982, 1994. ]
19. **Юрлов В. И., Тимко Т. Д., Максимов А. Н.** Устройство для контроля перемещений // Патент № 1601515. Оpubл. 23.10.1990. [ V. I. Yurlov, T. D. Timko, A. N. Maksimov, “*Device for movement control*”, Patent 1601515, 1990. ]
20. **Манцевич С. Н., Балакший В. И., Кузнецов Ю. И.** Акустооптический анализатор спектра // Патент РФ № 2575500. Оpubл. 20.02.2016. Бюл. № 5. [ S. N. Mantsevich, V. I. Balakshii, Yu. I. Kuznetsov, “*Acousto-optic spectrum analyzer*”, Patent RF 2575500, 2016. ]
21. **Акустооптический** сканер штрихкодов / Р. А. Хансуваров [и др.] // Патент РФ № 156009. Оpubл. 27.10.2015. Бюл. № 30. [ R. A. Hansuvarov, *et al.*, “*Acousto-optic barcode scanner*”, Patent RF 156009, 2015. ]
22. **Акустооптический** способ измерения смещений / К. М. Пичхадзе [и др.] // Патент РФ № 2523780. Оpubл. 20.07.2014. Бюл. № 20. [ K. M. Pichkhadze, *et al.*, “*Acousto-Optical method for measuring displacements*”, Patent RF 2523780, 2014. ]
23. **Батурин А. С., Захарченко С. В.** Акустооптическая система // Патент РФ № 2486553. Оpubл. 27.06.2013. Бюл. № 18. [ A. S. Baturin, S. V. Zakharchenko, “*Acousto-Optical system*”, Patent RF 2486553, 2013. ]
24. **Зюрикин Ю. А., Никишин Е. Л., Плотников М. В.** Акустооптический модулятор света // Патент РФ № 2448353. Оpubл. 20.04.2012. Бюл. № 11. [ Yu. A. Zyurikin, E. L. Nikishin, M. V. Plotnikov, “*Acousto-optic light modulator*”, Patent RF 2448353, 2012. ]
25. **Аполонский А. А., Щebetов С. Д.** Частотные характеристики акустооптических модуляторов на стоячей волне // Автoметрия. 1991. № 5. С. 34–38. [ A. A. Apolonsky, S. D. Shchebetov, “*Frequency characteristics of acousto-optical modulators on a standing wave*”, (in Russian), in *Avtometriya*, no. 5, pp. 34-38, 1991. ]
26. **Яворский Б. М., Пинский А. А.** Основы физики: учебник. Колебания и волны. Квантовая физика. Физика ядра и элементарных частиц. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 550 с. [ B. M. Yavorskiy, A. A. Pinskiy, *Fundamentals of physics: textbook. Oscillations and waves. The quantum physics. Physics of the nucleus and elementary particles*, (in Russian). Moscow: FIZMATLIT, 2003. ]
27. **Urakseev M. A., Vazhdaev K. V.** Information-measuring systems and waveguides with acousto-optic effect // Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation WCIS, 2014, (Tashkent, Uzbekistan, November 25–27). 2014. Pp. 100-103. [ M. A. Urakseev, K. V. Vazhdaev, “*Information-measuring systems and waveguides with acousto-optic effect*”, in *Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation WCIS, 2014*, Tashkent, Uzbekistan, 2014, pp. 100-103. ]
28. **Ураксеев М. А., Пахомов А. Н.** Информационно-измерительная система контроля перемещения объектов // Патент РФ № 124385. Оpubл. 20.01.2013. Бюл. № 2. [ M. A. Urakseev, A. N. Pakhomov, “*Information-measuring control system of moving objects*”, Patent RF 124385, 2013. ]
29. **Акустооптическая** информационно-измерительная система контроля перемещения объектов / М. А. Ураксеев [и др.] // Патент РФ № 154140. Оpubл. 20.08.2015. Бюл. № 23. [ M. A. Urakseev, *et al.*, “*Acoustooptic information and measurement system for monitoring the movement of objects*”, Patent RF 154140, 2015. ]
30. **Николаев А. В., Ураксеев М. А.** Информационно-измерительное устройство контроля температуры в зоне резания // Патент РФ № 167429. Оpubл. 10.01.2017. Бюл. № 1. [ A. V. Nikolaev, M. A. Urakseev, “*Information and measuring device for temperature control in the cutting zone*”, Patent RF 167429, 2017. ]
31. **Ураксеев М. А., Багаутдинов В. Р.** Тепловизионная измерительная система с акустооптическим преобразователем для контроля температуры объектов // Патент РФ № 136885. Оpubл. 20.01.2014. Бюл. № 2. [ M. A. Urakseev, V. R. Bagautdinov, “*Thermal imaging measuring system with acousto-optical Converter for monitoring the temperature of objects*”, Patent RF 136885, 2014. ]

#### ОБ АВТОРАХ

**УРАКСЕЕВ Марат Абдуллоевич**, проф. каф. ИИТ (УГАТУ), проф. каф. ЭЭП (УГНТУ). Дипл. инж.-электр. (ТашПИ, 1963). Д-р техн. наук (МИЭТ, 1983). Иссл. в обл. разработки датчиковой аппаратуры и средств измерения физических величин.

**ВАЖДАЕВ Константин Владимирович**, доц., зав. каф. ВВ (УГНТУ), доц. каф. ИКСинЭ (БашГУ). Дипл. инженер (УГАТУ, 1998). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2003). Иссл. в обл. разработки бесконтактных волоконно-оптических преобразователей смещений.

**САГАДЕЕВ Азат Римович**, асп. каф. ЭиЭ (УГНТУ). Иссл. в обл. разработки бесконтактных волоконно-оптических преобразователей смещений.

**ВАЛИАХМЕТОВА Юлия Ильясовна**, доц. каф. ВМиК (УГАТУ). Дипл. инж.-прогр. (УГАТУ, 2004). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2008). Иссл. в обл. оптимизационных задач размещения и маршрутизации.

**ВАСИЛЬЕВА Лидия Ильясовна**, доц. каф. прикладной информатики БГПУ. Дипл. математик (БГУ, 1997). Канд. техн. наук по применению вычислит. техники (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. оптимизационных задач размещения и маршрутизации.

**VALIAKHMETOVA, Yulia Ilyasovna**, Assoc. Prof. of the Dept. of Computational mathematics and Cybernetics (UGATU). Dipl. software engineer (UGATU, 2004). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2008).

**VASILYEVA, Lidiya Ilyasovna**, Assoc. Prof. of the Dept. of applied informatics (BGPU), Dipl. Math. (BSU, 1997). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2001).

#### METADATA

**Title:** Optical devices based on traveling and standing elastic waves for electronic control systems.

**Authors:** M. A. Urakseev<sup>1</sup>, K. V. Vazhdaev<sup>2</sup>, A. R. Sagadeev<sup>3</sup>, Yu. I. Valiakhmetova<sup>4</sup>, L. I. Vasilyeva<sup>5</sup>

**Affiliation:**

<sup>1,4</sup> Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

<sup>2</sup> Ufa State Petroleum Technological University (UGNTU), Russia.

<sup>3</sup> Bashkir State University (BashGU), Russia.

<sup>5</sup> Bashkir State Pedagogical University (BGPU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>uma1941@mail.ru, <sup>2</sup>vazhdaev.k@gmail.com, <sup>3</sup>one\_str@mail.ru, <sup>4</sup>julikas@inbox.ru, <sup>5</sup>lidav@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 25, no. 1 (91), pp. 85-91, 2021. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The problem of creating modern optical devices based on traveling and standing elastic waves for electronic control systems with improved quality indicators in the form of technical characteristics and a lower cost in comparison with foreign analogues is considered. The state of the art in the development of optoelectronic measurement principles using various methods of controlling the luminous flux of a coherent source of optical radiation in the form of a semiconductor laser or a laser diode is considered. New optoelectronic devices for various purposes have been created based on traveling and standing elastic wave.

**Key words:** optical devices; traveling and standing elastic waves; analog-to-digital converter; acousto-optical effect; sensor; converter.

**About authors:**

**URAKSEEV, Marat Abdullovich**, Prof. of the Dept. of Information and measuring technique (UGATU). Prof. of the Dept. of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Enterprises (UGNTU). Dipl. electrical engineer (TashPI, 1963). Dr. of Tech. Sci. (MIET, 1983).

**VAZHDAEV, Konstantin Vladimirovich**, Assoc. Prof., Head of the Dept. of Water Supply and Sanitation (UGNTU). Assoc. Prof. of the Dept. Infocommunication technologies and nanoelectronics (BashGU). Dipl. electrical engineer (UGATU, 1998). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2003).

**SAGADEEV, Azat Rimovich**, Post-graduate student of the Dept. of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Enterprises (UGNTU).