DOI: 10.65322/j.srd.02162026.24

УДК 621.7.08

# ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ РАССТОЯНИЙ

***Шаньгин Евгений Сергеевич,*** *д.т.н., профессор,*
*E-mail:lpi1982@mail.ru,*
*Нижневартовский государственный университет,*
***Файзиматов Баходир Нуманович,*** *к.т.н., учредитель ООО,*
*E-mail:lpi1982@mail.ru,*
*ООО «Монолит»,*
***Акбаров Хатам Улмасалиевич,*** *к.т.н., профессор,*
*E-mail:lpi1982@mail.ru,*
***Калашников Виталий Алексеевич,*** *PhD, старший преподаватель,*
*E-mail:lpi1982@mail.ru,*
*Андижанский государственный технический институт*

***Аннотация:*** *на основе анализа состояния и развития технической системы контроля геометрических параметров изделий сложной формы типа «лопатка», которую для удобства можно представить как обобщённую схему, объединяющую признаки различных устройств и методов измерения по признаку вида взаимодействия с объектом (контактный, бесконтактный), предложен оптоэлектронный метод измерения малых расстояний.*

***Annotatsiya:*** *“Kurakcha” (lopatka) turidagi murakkab shaklli buyumlarning geometrik parametrlarini nazorat qilish texnik tizimining holati va rivojlanishi tahlili asosida (qulaylik uchun uni obyekt bilan o‘zaro ta’sir qilish turiga ko‘ra – kontaktli va kontaktsiz – turli qurilmalar va o‘lchash usullari belgilarini birlashtiruvchi umumlashtirilgan sxema sifatida tasvirlash mumkin) kichik masofalarni o‘lchashning optoelektron usuli taklif etilgan.*

***Abstract:*** *Based on the analysis of the state and development of technical systems for monitoring the geometric parameters of complex-shaped products such as "blades"—which for convenience can be represented as a generalized scheme combining features of various devices and measurement methods based on the type of interaction with the object (contact, non-contact)—an optoelectronic method for measuring small distances is proposed.*

***Ключевые слова:*** *метод, оптика, преобразователь, отоэлектроника, измерение, средство измерений, триангуляция, световой поток, световод, фотоприёмник, физико-механические свойства обрабатываемых материалов.*

***Kalit so‘zlar:*** *usul, optika, o‘zgartirgich, optoelektronika, o‘lchash, o‘lchash vositasi, triangulyatsiya, yorug’lik oqimi, yorug’lik o‘tkazgich, fotopriyomnik, ishlov beriladigan materiallarning fizik-mexanik xususiyatlari.*

***Keywords:*** *method, optics, converter, optoelectronics, measurement, measuring instrument, triangulation, luminous flux, light guide, photodetector, physical and mechanical properties of processed materials.*

**Введение.** На современном этапе масштабных экономических реформ в Узбекистане машиностроение выступает не просто как отдельная отрасль промышленности, а как стратегический фундамент глубокой индустриализации страны. Переход от сырьевой модели к экономике с высокой добавленной стоимостью невозможен без создания мощного машиностроительного комплекса, способного обеспечить технологическую независимость и инновационное развитие смежных секторов — от агропромышленного кластера до электроэнергетики [1].

Актуальность развития данного сектора сегодня определяется глобальными

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.24

вызовами и национальными приоритетами. За последние годы машиностроение Узбекистана демонстрирует качественную трансформацию: доля автомобильной промышленности в ВВП страны выросла более чем вдвое, а выход на рынок крупнейших мировых игроков и освоение производства электромобилей свидетельствуют об интеграции страны в глобальные производственные цепочки. В условиях цифровизации и «зеленого» перехода машиностроение становится драйвером внедрения передовых технологий, автоматизации и создания высококвалифицированных рабочих мест, что делает его изучение и развитие ключевым вопросом долгосрочной экономической устойчивости республики [2].

Автоматические измерительные устройства находят широкое применение при решении задач контроля геометрических параметров изделий сложной формы, например таких, как лопатки газотурбинных двигателей [3, 4].

Основными функциональными узлами автоматических измерительных устройств, определяющими главные характеристики измерительной системы, являются первичные преобразователи – контактные и бесконтактные. Контактные преобразователи, достаточно хорошо и подробно описанные в технической литературе, при довольно высоких метрологических показателях (погрешность измерения до 5 мкм) обладают невысоким быстродействием (15-20 с. на одно измерение). Среди преобразователей второго типа наиболее перспективными можно считать оптоэлектронные преобразователи, обладающие высокими технико-экономическими показателями, определяемые точностью и быстродействием, функциональными возможностями, диапазоном преобразования, совместимостью с устройствами автоматики и вычислительной техники [5-7].

**Методика.** Анализ состояния и развития технической системы контроля геометрических параметров изделий сложной формы типа «лопатка», которую для удобства можно представить как обобщённую схему, объединяющую признаки различных устройств и методов измерения по признаку вида взаимодействия с объектом (контактный, бесконтактный), показал путь развития от шаблонов до современных программно-управляемых машин. Основным фактором, ограничивающим развитие техники контактного типа, является быстродействие. Признаком достижения предела развития данного метода является непропорциональный рост затрат на достижение нового приращения характеристики, что отражает обострение внутренних противоречий развития, которые невозможно разрешить в рамках существующей технической системы. Необходим переход к другой системе, другому, бесконтактному принципу взаимодействия с контролируемым объектом.

При переходе к бесконтактному (оптическому) контакту с измеряемым объектом при высоком быстродействии на первое по проблемам место выходит погрешность современных оптоэлектронных средств контроля [8, 9].

На основе анализа структур реальных устройств, реализующих метод триангуляционных измерений установлено, что среднеквадратичное отклонение (СКО), вносимое объективом, и случайные отклонения других элементов, например, центра оптического анализатора (ОА), приводятся к СКО углового положения преобразователя (ОИП), имеющего вид [10-12]:

$$\sigma_{\alpha_{zi}} = \sqrt{\sigma^2_{\alpha_{ГН}} + \frac{\sigma^2_{I_{ОП}}}{(f+z)^2}},$$

где $\sigma^2_{\alpha ГН}$ - СКО углового положения главного направления (ГН); $\sigma^2_{IОП}$ - СКО определения центра изображения световой марки (СМ) на объекте; f – фокусное расстояние объектива;

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.24

z – расстояние от фокуса до плоскости анализа (ПА).

Результаты. В реальных условиях на пространственное положение ГН влияют шумы реальных фотоприёмников, поэтому расчётная погрешность недостижима. Выходом может быть объединение ветвей двухканальной триангуляционной схемы (см. рис. 1). Правые части двух ветвей триангуляционного преобразователя остаются неизменными, а левые сведены с помощью оптических клиньев К1 и К2 таким образом, чтобы излучающая и приёмная части совмещались в точке I.

Такое сведение ветвей основывается на известном свойстве оптического клина отклонять световой поток в параксиальной области. При удалении объекта отражённое изображение световой марки смещается в плоскости анализа. Совмещение рассматриваемых ветвей в одну превращает схему, представленную на рис. 1, в коаксиальную автоколлимационную схему [2, 5, 12-14].

Приведённая схема пригодна для практического применения в виде преобразователя с волоконно-оптическим анализатором (рис. 2).

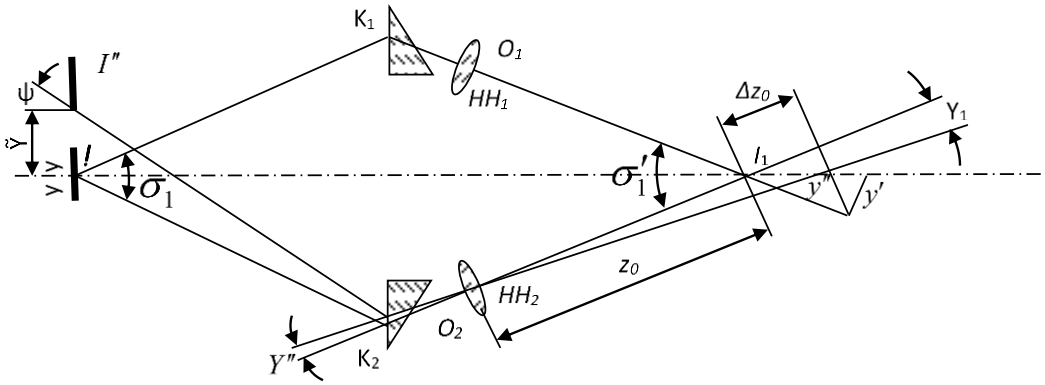


**Рис. 1. Схема объединения ветвей триангуляционного преобразователя расстояний**

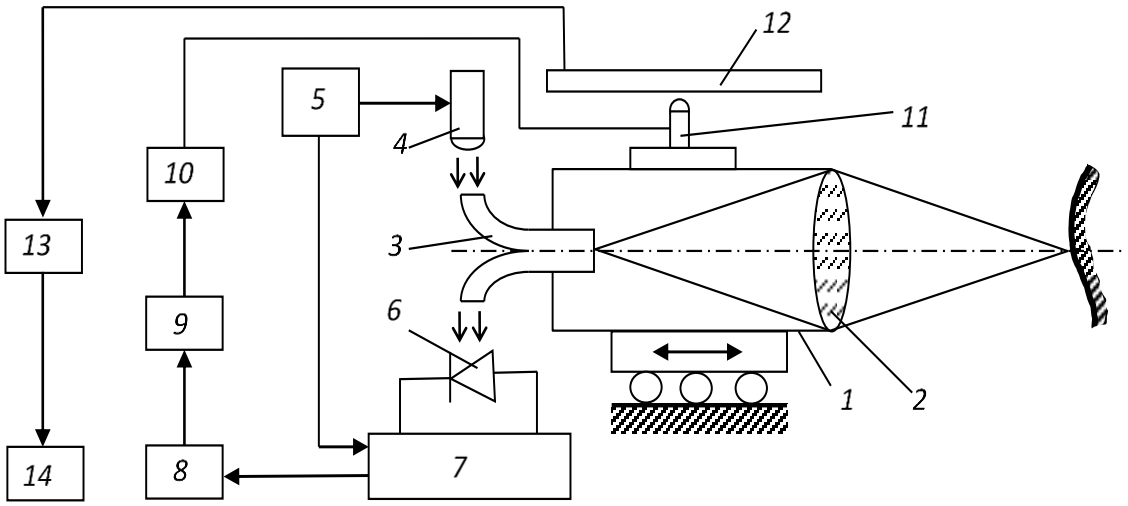


**Рис. 2. Преобразователь расстояний с волокнисто-оптическим анализатором**

Преобразователь состоит из следующих основных блоков: корпуса 1 с установленными на нём объективом 2 и светодиодом 3, источника излучения 4 с питающим его генератором 5, фотоприёмника 6, схема электронной обработки сигналов фотоприёмника 7, демодулятора 8, компаратора 9, формирователя импульсов 10, импульсного источника излучения 11, установленного на корпусе 1, фотоэлектрического

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.24

датчика линейных перемещений 12, оптически связанного с импульсным источником излучения 13 и цифрового табло 14.

Устройство работает следующим образом. Световой поток от светодиода 4, питаемого генератором 5, проходит через передающее ответвление световода 3, объектив 2, попадает на поверхность контролируемого объекта. Отражённый свет проходит тот же путь в обратном направлении через объектив 2, приёмный ответвитель световода 3 и попадает в фотоприёмник 6. Корпус 1 с закреплёнными на нём объективом 2 и светодиодом 3 совершает возвратно-поступательные движения по направлению измерения с частотой 20 Гц и амплитудой 10 мм. При этом на выходе фотоприёмника 6 формируется изменяющийся по уровню сигнал, величина которого является функцией размера световой марки на поверхности объекта. Поэтому наименьший по уровню сигнал получается при совпадении точки схода светового пучка с отражающей поверхностью. Момент совпадения определяется путём последовательного цикла операций обработки видеосигнала, включающий усиление, демодулирование, компарирование, формирование импульсов (рис. 3).

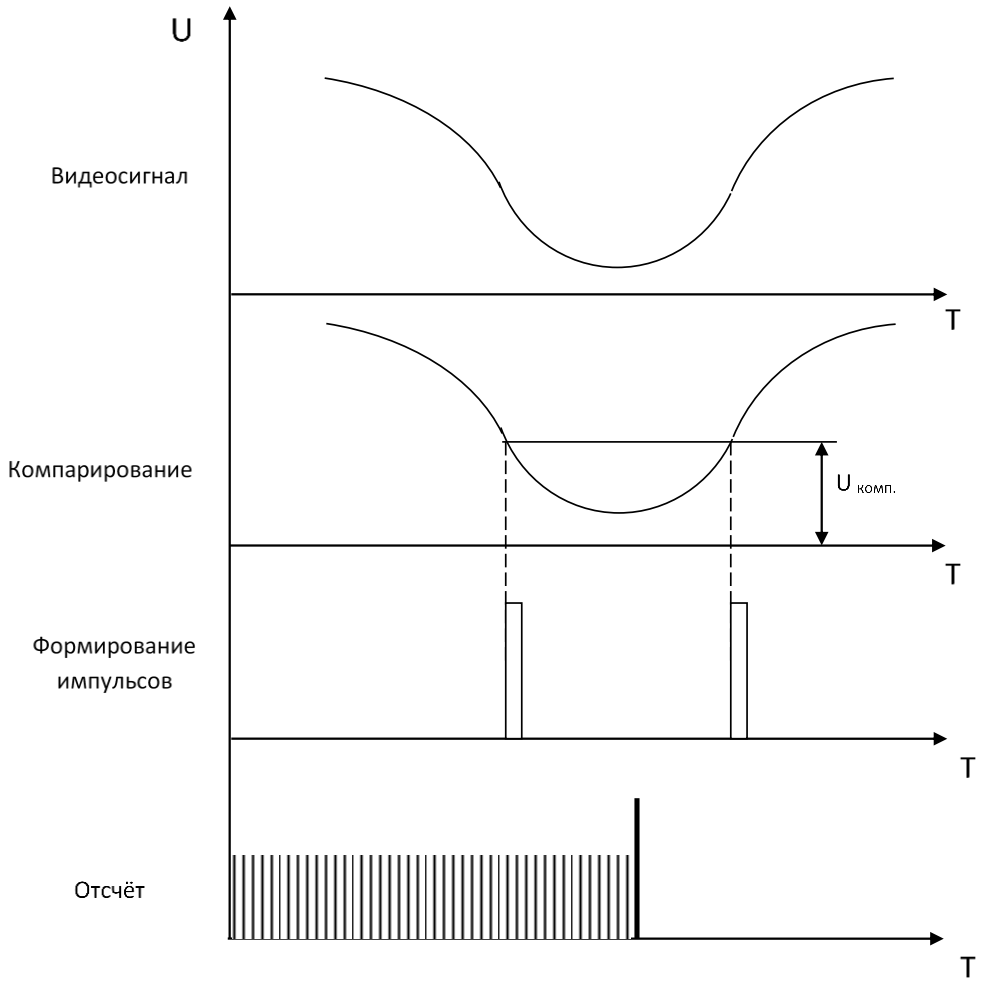


**Рис. 3. Обработка видеосигнала**

Расстояние до поверхности контролируемого объекта определяется по положению корпуса устройства в момент совпадения точки схода светового пучка с поверхностью объекта. Положение корпуса определяется с помощью фотоэлектрического датчика линейных перемещений, в качестве которого применена фотодиодная линейка [14-16].

Отличительной особенностью представленного устройства преобразования

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.24

расстояний является его повышенная помехозащищённость, обусловленная тем, что в качестве измерительной информации принят экстремум функции размера световой марки, пространственное положение которого не изменяется при изменении отражательной способности поверхности контролируемого объекта ли фоновой засветки. Устройство обладает линейной градуировочной характеристикой и позволяет производить измерение расстояний со средней квадратичной погрешностью 0,006 мм. За счёт повышения помехоустойчивости погрешность измерения снижается в 1,5 раза, а быстродействие повышается в 10-25 раз.

**Заключение.** Представленный в работе метод преобразования расстояний в цифровое значение основан на новом принципе построения оптоэлектронных преобразователей коаксиального типа. За счёт объединения ветвей двухканальной триангуляционной схемы с помощью оптических клиньев и перехода к автоколлимационной схеме с волоконно-оптическим анализатором удалось устранить основной недостаток классических бесконтактных систем – зависимость точности от отражательной способности поверхности и фоновой засветки. Использование экстремального информативного сигнала (минимум уровня отражённого потока) обеспечивает снижение погрешности в 1,5 раза (до 0,006 мм СКО) и повышение быстродействия в 10–25 раз по сравнению с контактными аналогами. Устройство обладает линейной градуировочной характеристикой и пригодно для встраивания в программно-управляемые измерительные машины. Определённый в работе общий подход к исследованию характеристик преобразователей различных типов может быть распространён на другие классы оптоэлектронных измерительных систем.

**Литература:**

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 11 сентября 2023 г. № УП-158 «О Стратегии „Узбекистан – 2030“» // Национальная база данных законодательства Республики Узбекистан. — 2023.

2.Абдуллаев, А. М. Инновационные подходы к модернизации машиностроительного комплекса Узбекистана / А. М. Абдуллаев // Экономика и финансы (Узбекистан). — 2022. — № 4. — С. 12–18.

3. Кузнецов, М. М. Система технического зрения / М. М. Кузнецов, М. С. Комбаров // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр.: сб. материалов: в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). — Новосибирск: СГГА, 2010. — Т. 5, ч. 1. — С. 166–167.

4. Комбаров, М. С. Перспективы развития оптико-электронных измерительных приборов на российском рынке / М. С. Комбаров, М. М. Кузнецов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013»: сб. материалов: в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). — Новосибирск: СГГА, 2013. — Т. 1. — С. 290–292.

5. Белов, И. Ю. Физические основы оптической дальнометрии / И. Ю. Белов. — Казань: КГУ, 2009. — 154 с.

6. Якушенков, Ю. Г. Основы оптико-электронного приборостроения: учебник / Ю. Г. Якушенков. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 368 с.

7. Гаштова, М. Е. Контрольно-измерительные приборы и автоматика: учебное пособие / М. Е. Гаштова, М. А. Зулькайдарова. — Москва: Лань, 2022. — 176 с.

8. Якушенков, Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник / Ю. Г. Якушенков. — Москва: КноРус, 2021. — 560 с.

9. Проектирование оптико-электронных приборов: учебник / Ю. Б. Парвулюсов [и др.]; под ред. Ю. Г. Якушенкова. — Москва: Логос, 2000. — 488 с.

10. Ярышев, С. Н. Системы технического зрения в задачах обнаружения, измерения,

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.24

управления: учебное пособие / С. Н. Ярышев, В. А. Рыжова, М. А. Волынский. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2023. — 112 с.

11. Техническое зрение робототехнических комплексов: учебное пособие / П. В. Балабанов [и др.]. — Тамбов: ТГТУ, 2019. — 80 с.

12. Сырямкин, В. И. Адаптивные системы технического зрения: монография / В. И. Сырямкин. — Москва: Русайнс, 2019. — 160 с.

13. Тарасов, Л. В. Физические основы квантовой электроники: Оптический диапазон / Л. В. Тарасов. — Москва: Либроком, 2020. — 368 с.

14. Кирилловский, В. К. Современные оптические исследования и измерения: учебное пособие / В. К. Кирилловский. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 304 с.

15. Афанасьев, В. А. Автоколлимационные приборы / В. А. Афанасьев, А. М. Жилкин, В. С. Усов. — Москва: Недра, 1982. — 176 с.

16. Якушенков, Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник / Ю. Г. Якушенков. — Москва: Логос, 1999. — 480 с.