

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 681; 621.396 (024)

Новицкий  
Александр Александрович

Оптимизация аппаратного и программного обеспечения прецизионных  
оптико-электронных устройств измерения формы и размеров изделий

## **АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 02 «Технология и оборудование для  
производства полупроводников, материалов и приборов электронной  
техники»

---

Научный руководитель

Шахлевич Григорий Михайлович

К.ф-м н.

---

Минск, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Оптические измерения – техническая наука, основным содержанием которой является измерение и контроль конструктивных параметров оптических элементов и систем, а также измерение физических характеристик изучаемых объектов с помощью оптических методов и оптических приборов. Главная особенность оптических измерений заключается в том, что они имеют высокую точность и наглядность. Оптические измерения относятся к измерениям высшей точности, которая соизмерима с длиной световой волны ( $\lambda_{cp} = 0,555$  мкм). Поэтому, например, и в машиностроении, и в приборостроении оптические измерения применяются там, где необходимы предельно высокие точности. Так, концевые меры изготавливаются и аттестуются с применением интерферометрии, причем достигаемая точность находится на уровне  $\lambda_{cp}/20$ , так что погрешность не превышает 0,03 мкм.

В настоящее время, на любом предприятии, стоит задача контроля качества изготавливаемых изделий, не останавливая процесс производства. Эта задача решается бесконтактными методами измерений. Один из таких методов это триангуляция. На основе триангуляции существуют оптико-электронные приборы – лазерные триангуляционные датчики. Триангуляция - это разбиение геометрического объекта на треугольники.

Под триангуляционным датчиком мы понимаем оптоэлектронный прибор, в котором совместно используется оптика и электроника. Оптические компоненты в большинстве случаев – это линзы и призмы, а электронные - это платы и светочувствительные элементы, должны всегда быть жёстко зафиксированы в пространстве при помощи механических частей, часто с высокой степенью точности. Оптические приборы также часто имеют встроенный компьютер. При разработке оптических приборов, нам необходимы знания в области оптики, электроники и высокоточной

механической обработки, а также в области компьютерных технологий и программирования.

В триангуляционных датчиках в качестве светочувствительного элемента используются позиционно-чувствительные датчики (PSD), приборы с зарядовой связью (ПЗС) (CCD) и матрицы на основе комплементарной логики на транзисторах металл-оксид-полупроводник КМОП (CMOS).

Триангуляционные датчики являются востребованными измерительными приборами и применяются для бесконтактного измерения и контроля положения, размеров, профиля поверхности, деформаций, вибраций, сортировки, распознавания технологических объектов; измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы:** Улучшение качества промышленной продукции есть надежный путь более полного удовлетворения потребностей народного хозяйства, ускорения научно-технического прогресса. В связи с этим постоянно возрастают требования к соблюдению метрологических правил и норм, направленных на повышение уровня измерений, их точности, надежности и производительности. От точности и своевременности измерительной информации зависит правильность принимаемых решений. От качества измерений зависят современные технологии и научные исследования, учет и экономия материальных ресурсов, техническая, экологическая и медицинская диагностика, крупные научные открытия.

В современных условиях в большинстве практических применений оптимальность измерений определяется предельно достижимой точностью при минимальных затратах. Уровень точности определяется критерием целесообразности. Неоправданное превышение необходимой точности

обычно резко удорожает измерения. Недостаточная точность приводит к браку в производстве, ошибочным результатам и решениям [2]. Технический прогресс отраслей промышленности и развитие науки требуют непрерывного повышения точности измерений физических величин. Для обеспечения единства этих измерений метрология должна непрерывно совершенствовать эталоны единиц и создавать все более точную измерительную аппаратуру, используемую как в качестве образцовых средств, так и при научных исследованиях. Поэтому задачей метрологии является также использование новейших достижений науки для создания средств измерений высшей точности. Средства измерений высшей точности применяются для получения значений универсальных физических констант, наиболее достоверные значения которых затем необходимы в технике точных измерений [3]. Современные оптические приборы играют важную роль в народном хозяйстве, служат основой научно-технического прогресса. Оптические и оптико-физические методы измерения и приборы, как наиболее точные, применяются во многих областях науки и производства – в большинстве современных высоких технологий, в ядерной и космической технике, лазерных технологиях, в машиностроении и приборостроении для контроля наиболее точных деталей, при сборке прецизионных узлов, для научных исследований в области физики, химии, медицины, биологии.

Актуальность работы обусловлена потребностями промышленности в усовершенствовании комплексов бесконтактных измерений, повышении точности измерений, уменьшении погрешности.

Приборы бесконтактных измерений, являются сложными техническими объектами, в которых протекают различные физические процессы, и для успешного проектирования оптико-электронных датчиков необходим анализ и моделирование всего технологического процесса.

**Объект исследования:** прецизионные оптоэлектронные приборы для контактных и бесконтактных измерений.

**Предмет исследования:** принципы проектирования прецизионных оптоэлектронных приборов.

**Цель исследования:** исследование существующих аналогов и разработка аппаратного и программного обеспечения прецизионных оптоэлектронных приборов для измерения формы и размеров изделий.

**Задачи исследования:**

- Изучить основные принципы проектирования оптико-электронных приборов.
- Изучить основные имеющиеся зарубежные аналоги приборов.
- Определить факторы влияющие на точность измерительных приборов.
- Изучение принципов расчёта триангуляционных датчиков.
- Исследование влияния типов лазеров и геометрической оптики на точность датчиков.
- Разработка контактных прецизионных приборов, на базе растровых линеек.
- Разработка триангуляционных датчиков.

**Степень изученности проблемы:** теоретической основой для диссертации послужили научные работы разных направлений, раскрывающие отдельные аспекты исследуемой темы. К ним относятся следующие группы работ:

- по теории и истории геометрической оптики;
- по основам применения лазеров и приборов с ними;
- по конструктивным решениям измерительных приборов;
- проектные и графические материалы по действующим и проектируемым измерительным приборам и триангуляционным датчикам;

Несмотря на большое количество литературы, посвященной прецизионным измерительным приборам, трудно найти современный научный труд, который бы освещал вопросы расчёта, проектирования и конструкций. Большинство изученных работ, посвященных конструктивным

особенностям, значительно устарели и не освещают новейшие методы и принципы расчета и проектирования современных бесконтактных измерительных систем. В результате на данный момент отсутствует работа, которая бы вместила в себя все аспекты, которые без сомнения являются главенствующими в проектировании прецизионных оптико-электронных измерительных датчиков.

**Методологической основой** работы является комплексный подход. Для решения поставленных задач применялись следующие методы:

- анализ литературных источников
- графический анализ
- объемно-пространственное моделирование

**Научная новизна:** впервые на основе анализа литературных источников и мирового опыта проектирования и расчёта оптико-электронных приборов, были обобщены все аспекты конструирования и получены результаты не имеющие аналогов в странах СНГ.

**Практическая и научная значимость:** основные положения проведенного исследования могут лечь в основу дальнейших теоретических разработок. Результаты диссертации могут быть использованы при формировании прогрессивных конструкций и целых измерительных систем и комплексов. Кроме того, данная работа крайне актуальна в свете проведения в нашей стране модернизации производства и промышленности в целом.

**Структура работы:** диссертация разделена на три части. Первая часть содержит текстовую часть, состоящую из введения, теоретической части, практической части, общих выводов, заключения и списка используемой литературы. Вторая часть включает в себя иллюстративный материал.

Первая часть посвящена изучению исторических этапов и теоретических основ оптико-электронных приборов.

Во второй части рассмотрены: контактные оптоэлектронные датчики РФ256, принципы расчёта и конструкции триангуляционных датчиков РФ603.

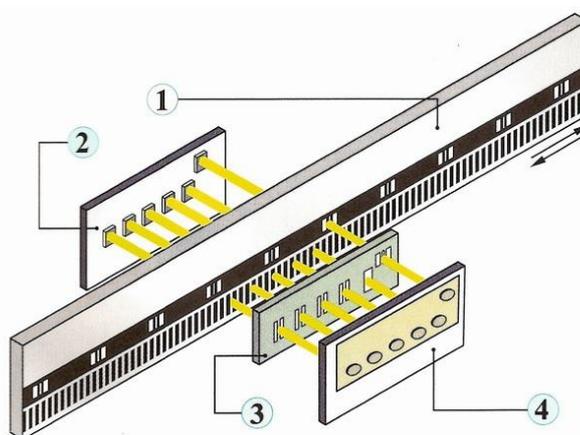
В третьей части приведено описание программной части датчика, приведено внешний вид и описание программы и инструкция по работе с ней.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Датчик перемещения — это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта.

Принцип действия преобразователей линейных перемещений:

В основу работы преобразователей перемещения положен метод оптоэлектронного сканирования штриховых растров. Преобразователь содержит растровую шкалу 1, плату фотоприёмников 2, растровый анализатор 3, плату осветителей 4. При относительном перемещении шкалы 1 и анализатора 3 сопряжения регулярного растра шкалы с растрами анализатора модулируют проходящий через них потоки излучения, воспринимаемые соответствующими фотоприемниками. Растровая шкала



**Рисунок 1 – Оптоэлектронный преобразователь линейных перемещений**

содержит две

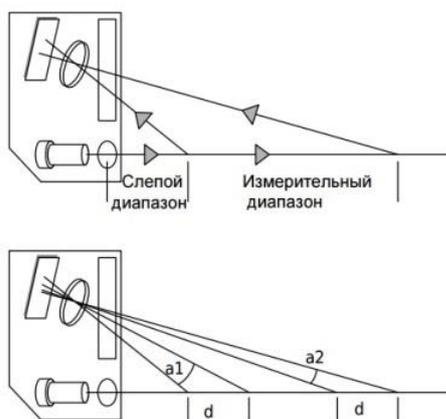
параллельные информационные дорожки: регулярного растра и референтных меток.

Оптоэлектронный преобразователь линейных перемещений на примере датчика «РФ256» фирмы РИФТЭК. В приложении показаны чертежи преобразователя.



Рисунок 2 - Датчик РФ256

Оптико-электронные приборы для измерения формы и размеров изделий, проектируются на основе оптической триангуляции, и называются триангуляционными датчиками. Триангуляционные лазерные датчики предназначены для бесконтактного измерения и контроля положения, перемещения, размеров, профиля поверхности, деформаций, вибраций, сортировки, распознавания технологических объектов, измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов. Такие датчики положения со встроенной микропроцессорной системой управления, позволяют с высокой точностью измерять расстояние до контролируемого объекта без механического контакта с ним. Идеально подходят для промышленных систем контроля геометрических параметров, и параметров, рассчитываемых на их основе. Встроенный микроконтроллер предоставляет точный выходной сигнал,



пропорциональный обнаруженному расстоянию. Внешний анализатор для

Рисунок 3 – Триангуляционный принцип

расчета сигнала не требуется. Надежное функционирование, независимо от цвета или других характеристик поверхности, обеспечено сложными электронными элементами интегрированными в систему. Маленькое видимое пятно лазера обеспечивает простую и точную работу датчика. Расстояния до шероховатых поверхностей могут быть измерены, путем использования узкой линии лазера вместо пятна. Принцип триангуляции обычен для этого метода измерения. Лазерный луч в форме маленького пятна появляется на поверхности объекта, в это время детектор системы захватывает его позицию. Расстояние вычисляется исходя из изменения угла. Возможные разрешение и точность в основном зависят от расстояния  $d$ : вблизи датчика может быть получено большое изменение угла  $\alpha_1$ , тогда как большие значения приводят к меньшему углу  $\alpha_2$ , что уменьшает точность (см. рисунок 3). Приемное устройство датчика представляет собой фотодиодную матрицу, высокоскоростные версии используют PSD-элемент. Приемное устройство напрямую взаимодействует с микроконтроллером, являясь частью системы. Этот микроконтроллер анализирует распределение света на элементе, вычисляет точный угол и из него расстояние до объекта. Вычисленное расстояние либо передается на серийный порт или конвертируется в пропорциональный выходной ток.

Рассмотрим триангуляционный датчик RF603 (см. рисунок 3.2) фирмы RIFTEK. В датчиках 603 используется принцип триангуляции. Лазерный излучатель создает световую метку на поверхности объекта. Изображение световой метки проецируется на позиционно-чувствительный фотоприемник (ПЗС). При изменении расстояния от датчика до объекта происходит перемещение изображения световой метки в плоскости фотоприемника. Микропроцессор производит вычисление координат изображения. По координатам изображения точки определяется расстояние до объекта. В процессе измерений производится динамический контроль мощности отраженного света и подавление фоновых засветок. Фирма

RIFTEK производит огромную номенклатуру датчиков, и приборна основе датчиков RF603.



Рисунок 3.1 – Триангуляционный датчик РФ603

Датчики предназначены для бесконтактного измерения и контроля положения, размеров, профиля поверхности, деформаций, вибраций, сортировки, распознавания технологических объектов; измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов.

Блок-схема программы управления триангуляционным датчиком:

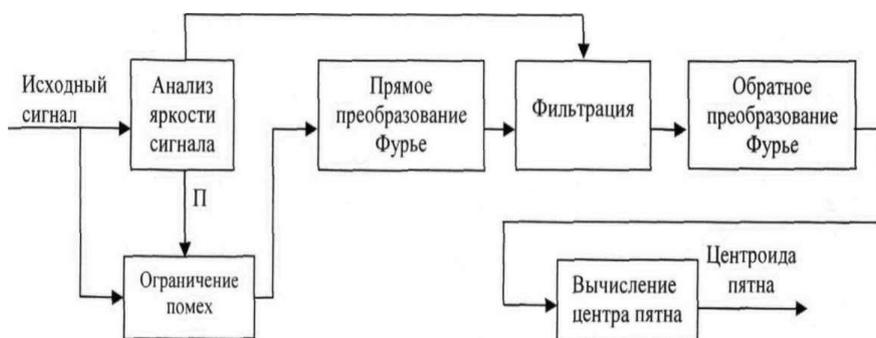


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма обработки сигнала

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены современные методы измерений, а также контроля деталей. Изучены основы оптических и микропроцессорных компонентов. Изучены принципы проектирования контактных и бесконтактных прецизионных измерительных устройств. Разработано:

1) Прецизионный контактный датчик РФ256, на базе растровой линейки и диодного излучателя.

2) Триангуляционный датчик РФ 603. Линейка триангуляционных датчиков.

Данные измерительные устройства нашли широкое применение в различных областях промышленности, техники, науки. Применение прецизионных контактных и триангуляционных бесконтактных датчиков, позволяет повысить точность изготовления деталей, исключить брак на производстве, повысить конкурентоспособность продукции, сократить расходы и время на производство, получить большую прибыль.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ:

[1-А] Новицкий А.А. Прецизионные оптоэлектронные преобразователи перемещений/ Новицкий А.А., Шахлевич Г.М.// 52-ая научная конференция аспирантов, магистрантов, студентов БГУИР: материалы НТК по направлению 8 «Информационные системы и технологии», электронные ресурсы. – Минск, 16 апреля 2016г. БГУИР; редкол. – Минск : БГУИР, 2016. – с.47–49.

[2-А] Новицкий А.А. Оптико-электронные приборы для прецизионных измерений формы и размеров изделий / Новицкий А.А., Шахлевич Г.М., Романов А.В. //Приборостроение 2016 материалы 9-ой международной научно-технической конференции , Минск 2016 г. БНТУ : ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2016 с. 352-353.

[3-А] Новицкий А.А. Оптоэлектронные энкодеры для прецизионных измерений / Новицкий А.А., Шахлевич Г.М.//10-ая международная научно-техническая конференция молодых учёных и студентов «Новые направления развития приборостроения», материалы международной научно-технической конференции, Минск 2017г., БНТУ – Минск, 2017 с. 152.