

О. А. АБАКШИНА, Г. В. ЕГОРОВ, С. М. ЛАТЫЕВ, С. С. МИТРОФАНОВ

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Рассматриваются результаты модернизации конструкций фотоэлектрических индикаторов линейного перемещения. Представлена схема устройства для контроля радиусов кривизны сферических поверхностей с использованием индикатора.

Ключевые слова: фотоэлектрические индикаторы, линейные измерения.

Конструкции типовых фотоэлектрических индикаторов, предназначенных для измерения линейных размеров, достаточно разнообразны. Среди них различают:

— бесконтактные фотоэлектрические индикаторы, принцип действия которых основан на измерении расстояний с помощью лазерных диодов [1]; бесконтактные индикаторы, иначе называемые датчиками положений или расстояний (выпускаемые фирмами “Turck”, “Ervin”, SICK, “Pepperl+Fuchs”, “Omron”), используются в основном для обнаружения объектов и реже — для измерения расстояний, при этом погрешность измерения достигает больших значений;

— контактные индикаторы, в которых используется растровое сопряжение линейных шкал [2, 3]; контактные индикаторы выпускаются разными компаниями.

В настоящей статье будем рассматривать отечественные, изготавливаемые СКБ ИС (Санкт-Петербург), контактные индикаторы как наиболее широко применяемые. СКБ ИС выпускает ряд фотоэлектрических преобразователей линейных перемещений со штоком: ЛИР-14, ЛИР-15, ЛИР-17, ЛИР-19. В настоящее время разработан и готовится к выпуску преобразователь линейного перемещения со штоком и жидкокристаллическим индикатором ЛИР-17И, который более всего соответствует понятию „фотоэлектрический индикатор линейного перемещения“.

Рассмотрим индикатор ЛИР-17И в качестве примера. Принцип его функционирования поясняется схемой, приведенной на рис. 1: линейное перемещение штока 5 преобразуется с помощью измерительного 1 и индикаторного 3 оптических растров в изменение интенсивности светового потока, падающего на фотоприемники 4, которые вырабатывают пропорциональные аналоговые электрические сигналы U_1 и U_2 . В результате усиления и обработки этих сигналов с использованием преобразователей 6, 7 и устройств 8, 9 формируются счетные электрические импульсы.

Функция, связывающая перемещение штока с числом n счетных импульсов, имеет вид

$$Y = \frac{kT}{4} n = An,$$

где T — период деления растров, k — коэффициент деления интерполятора, A — цена счетного импульса в линейной мере.

Недостатками данного индикатора являются относительная сложность конструкции, необходимость юстировки преобразователя, а также малое расстояние между измерительным и индикаторным растрами (10—80 мкм).

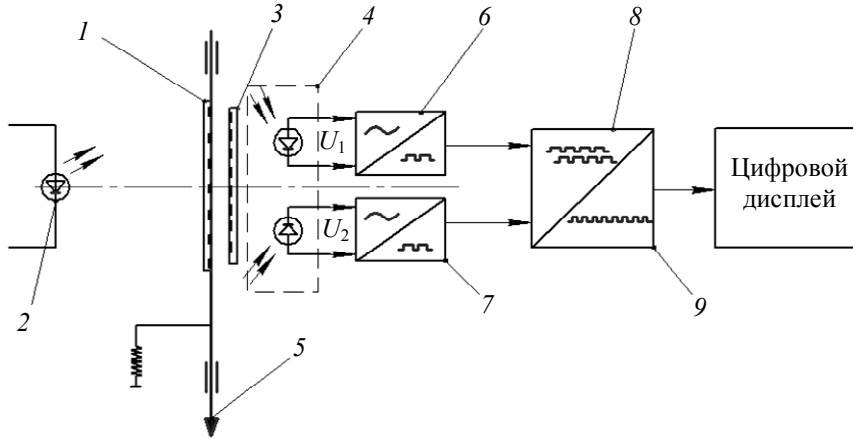


Рис. 1

Одно из возможных решений по упрощению конструкции индикатора — использование в качестве приемников излучения позиционно-чувствительных фотоприемников, таких как ПЗС-линейка, фотоприемник „мультискан“ [2], фотоприемник PSD фирмы „Hamamatsu“ (Япония).

При разработке авторами настоящей статьи конструкции фотоэлектрического индикатора был сделан выбор в пользу фотоприемника „мультискан“, так как при его использовании упрощается не только конструкция индикатора, но и последующая обработка электрического аналогового сигнала.

Функциональная схема индикатора на базе позиционно-чувствительного приемника „мультискан“ представлена на рис. 2.

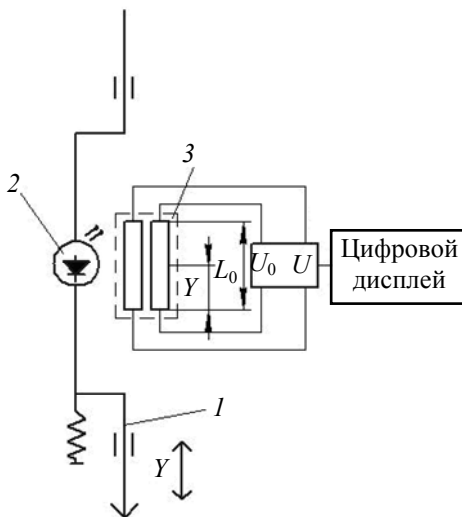


Рис. 2

При перемещении измерительного штока 1 происходит смещение центра светового пятна, создаваемого светодиодом 2, на светочувствительной площадке „мультискана“ 3, с которого снимается аналоговый электрический сигнал U .

Искомое перемещение Y определяется как

$$Y = \frac{L_0}{U_0} U,$$

где L_0 — длина светочувствительной площадки „мультискана“, U_0 — опорное напряжение, подаваемое на „мультискан“, U — измеряемое напряжение.

На основе предложенной схемы (см. рис. 2) был спроектирован и изготовлен макет индикатора. Для нахождения его точностных характеристик методом сравнения с образцовыми концевыми мерами длины ($L_{i\text{ср}}$)

класса точности 1 согласно ГОСТ 9083-73 определялось предельное значение погрешности измерений. Результаты измерений приведены на рис. 3: видно, что изменение погрешности составило величину $\Delta Y = 0,02$ мм, а СКО $\sigma = 0,007$ мм. Была измерена также нелинейность работы индикатора, график которой приведен на рис. 4.

Разработанный индикатор может быть применен в устройстве для контроля радиусов сферических поверхностей оптических деталей. Функциональная схема такого устройства представлена на рис. 5, где 1 — измерительный штوك, 2 — источник излучения, 3 — позиционно-чувствительный приемник „мультискан“, 4 — оптическая деталь; 5 — сферическая опора.

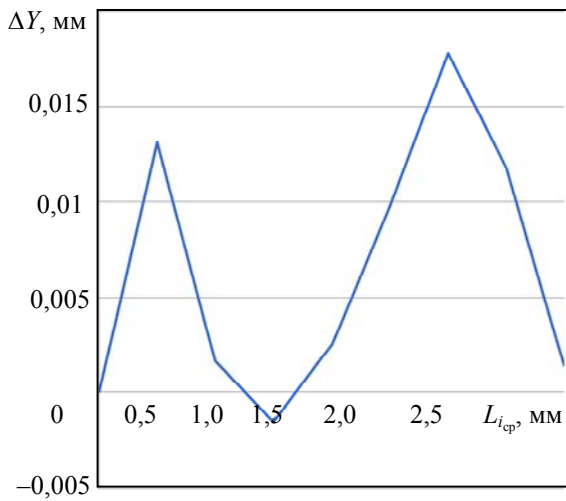


Рис. 3

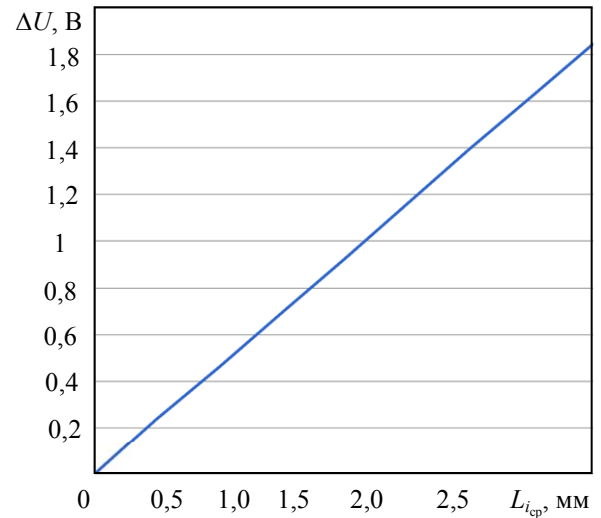


Рис. 4

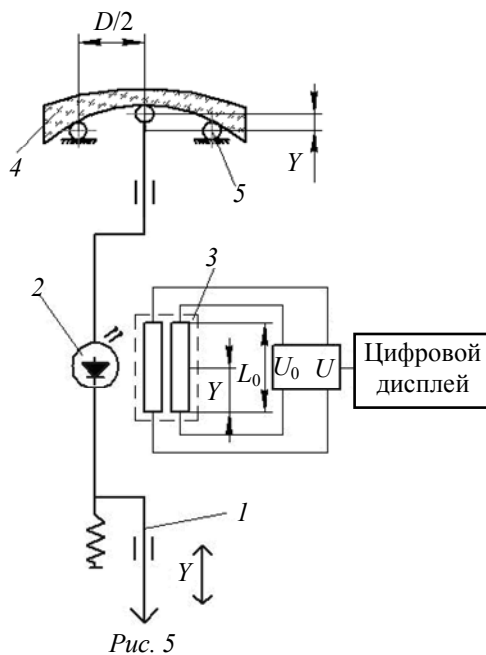


Рис. 5

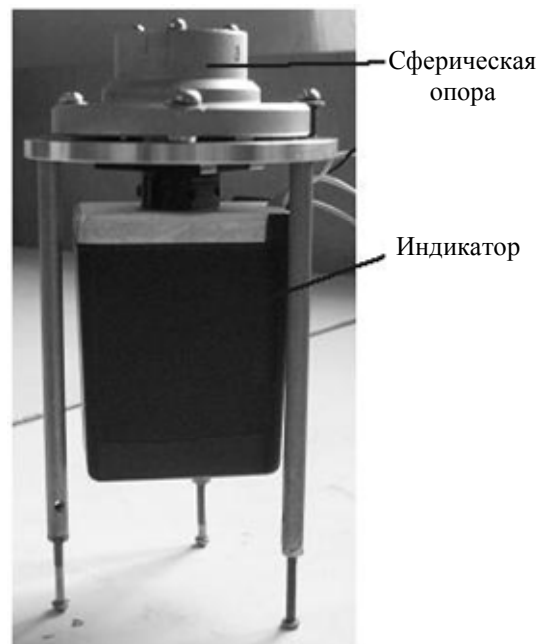


Рис. 6

Радиус сферической поверхности вычисляется следующим образом:

$$R = \frac{D^2}{8y} + \frac{y}{2} \pm r = \frac{D^2}{8nA} + \frac{nA}{2} \pm r,$$

где D — диаметр опорного кольца, r — радиус сферической опоры-шара (для вогнутой поверхности знак „плюс“, для выпуклой — „минус“), y — стрелка прогиба линзы.

Внешний вид сферометра на основе „мультискана“ приведен на рис. 6.

Индикаторы на базе приемника „мультискан“ могут быть использованы также для контроля линейных размеров с возможностью алгоритмической коррекции погрешностей и с точностью не ниже имеющихся аналогов.

Подобный сферометр может быть изготовлен и на основе индикатора ЛИР-15. Функциональная схема такого сферометра аналогична приведенной на рис. 5. Однако в этом

случае стоимость сферометра будет существенно выше вследствие более сложной конструкции индикатора ЛИР-15 (схема которого аналогична схеме индикатора ЛИР-17И, рис. 1).

Оба сферометра — и на основе „мультискана“, и на основе ЛИР-15 — имеют ряд погрешностей, влияющих на точность измерений: погрешность измерения диаметра опорного кольца (ΔD); погрешность измерения радиуса сферических опор (Δr); контактная деформация линзы и опор, обусловленная весом линзы ($\Delta P_{л}$); контактная деформация линзы и сферического наконечника штока под действием мерительного усилия ($\Delta P_{ш}$); погрешность измерения стрелки прогиба (Δy); влияние отклонение температуры окружающей среды от номинального значения (ΔT). Сферометру на основе ЛИР-15 присуща, кроме того, погрешность измерения радиуса, возникающая из-за смещения штока относительно центра опорного кольца (несоосность — Δe).

Перечисленные погрешности оказывают существенное влияние на точность контроля радиусов сферических поверхностей, но могут быть скомпенсированы алгоритмически [4].

Расчет погрешностей производился при следующих параметрах сферометра на основе ЛИР-15: диаметр опорного кольца 30 мм, радиус наконечника штока 2,5 мм, максимальная допустимая погрешность 1,025 мкм, радиус шаровых опор 2,306 мм, несоосность 5 мкм.

Предварительная оценка погрешностей представлена ниже.

ΔD , мкм.....	0,9
Δr , мкм.....	0,2
Δy , мкм.....	0,22
$\Delta P_{л}$, мкм.....	$1,44 \cdot 10^{-4}$
$\Delta P_{ш}$, мкм.....	$1,44 \cdot 10^{-4}$
ΔT , мкм.....	$5,69 \cdot 10^{-2}$
Δe , мкм.....	$1,34 \cdot 10^{-4}$
ΔY_{Σ} , мкм.....	0,95

Как показал предварительный анализ, сферометр на основе ЛИР-15 может работать с точностью не ниже точности известных аналогичных сферометров, стоимость которых существенно выше.

На макете сферометра, собранном на основе индикатора ЛИР-15, были произведены измерения радиусов поверхностей образцовой выпуклой линзы: $R_{\text{вып}} = 80,17$ мм, СКО которой $\sigma = 0,0013$ мм, и образцовой вогнутой линзы: $R_{\text{вог}} = 131,83$ мм, для которой $\sigma = 0,0007$ мм.

Исследования разработанных устройств на основе „мультискана“ и индикатора ЛИР-15 подтвердили их работоспособность и высокие технические характеристики при минимальных материальных затратах. Эти устройства целесообразно использовать в качестве сферометров для контроля радиусов деталей оптических приборов и радиусов сферических поверхностей деталей газодинамических опор гироскопических приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысенко О. Фотоэлектрические датчики компании SICK AG //Электронные компоненты. 2005. № 5, 6.
2. ЗАО „ТЕХНОЭКСАН“. Каталог продукции (позиционно-чувствительный приемник „Мультискан“) [Электронный ресурс]: <www.technoexan.ru>.
3. Датчики перемещения СКБ ИС — ЛИР-14 (Инкрементный преобразователь линейных перемещений) [Электронный ресурс]: <www.skbis.ru>.
4. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов: Учеб. пособие. СПб: Политехника, 2007. С. 295—300, 312—316.

Сведения об авторах

Ольга Алексеевна Абакишина

— аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов

- Геннадий Васильевич Егоров** — доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов
- Святослав Михайлович Латыев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; зав. кафедрой; E-mail: smlatyev@yandex.ru
- Сергей Сергеевич Митрофанов** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; E-mail: m1990s@mail.ru

Рекомендована кафедрой
компьютеризации и проектирования
оптических приборов

Поступила в редакцию
26.04.11 г.