



ПРЕЦИЗИОННЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

П.Р.ПАРУШЕВ, Институт механики и биомеханики - БАН
ул.акад.Г.Бончев, бл.В, 1113 София НРБ
Д.Ив.УТЕВ, РЦСМК, кв.Строгозия, 5800 Плевен НРБ

1. Постановка задачи

Величина основных метрологических характеристик: пределы измерения и точностная надежность /уровень смещения настройки, градиент функции смещения настройки, временная устойчивость показаний и др./, для большинства современных измерительных приборов и преобразователей находится в зависимости обратно-пропорциональной точности измерения.

Улучшение метрологических показателей приборов можно достичь: а/конструктивными изменениями, учитывающими специфику измерительных приборов и преобразователей /напр.: введением компенсирующих устройств и регулировочных механизмов; конкретным выполнением прецизионных первичных и вторичных преобразователей и т.п./; б/созданием универсальных первичных преобразователей, изменение параметров которых приводит к улучшению метрологических характеристик вторичных преобразователей, несмотря на их конкретную конструктивную реализацию.

В работе рассматривается достаточно общий подход к улучшению метрологических характеристик измерительных приборов, в том числе увеличение пределов измерения и точностной надежности при сохранении точности измерения. Подход основан на создании схем измерения и приборов, содержащих универсальные первичные преобразователи и набор вторичных преобразователей. Удачный выбор схемы первичного преобразователя делает его практически инвариантным относительно конструктивных особенностей вторичных

преобразователей, что дает возможность улучшить метрологические характеристики большого числа существующих измерительных преобразователей.

Обсуждается также возможность применения оригинальной схемы измерения и конструктивные решения первичного и вторичных преобразователей, признанных изобретениями, при создании высокоточных приборов для измерения линейных перемещений и силы веса.

Приводятся результаты точностного анализа и метрологических испытаний лабораторной модели прибора, разработанной в ИМБ-БАН в сотрудничестве со специалистами РЦСМК-Плевен..

2. Схема измерения

Авторами предложена [1] измерительная схема, основанная на преобразовании измерительного сигнала в упругую деформацию первичного преобразователя, которая отсчитывается прецизионными вторичными преобразователями как механическое перемещение.

Измерительным сигналом в рассматриваемых устройствах может являться малое перемещение или сила веса, преобразованная в линейное перемещение.

Теоретическая схема измерения /Рис.1/ включает стойку 1, к которой прикреплен упругодеформируемый чувствительный элемент - первичный преобразователь 2, связанный с измерительным устройством - вторичным преобразователем 3, отчитывающий механическое перемещение, и прикрепленное к стойке 1 устройство 4 для дополнительного нагружения деформируемого элемента 2.

Вид первичного преобразователя может быть различным в зависимости от характера решаемых метрологических задач. Достаточно универсальным является первичный преобразователь, выполненный в виде упругодеформируемого кольца.

Вторичный преобразователь выбирается в зависимости от требуемой точности измерения перемещений. Для прецизионных измерений авторами предложены [1+3] схемы измерительных средств с использованием пружинно-оптических устройств. Это обеспечивает высокую чувствительность, быстродействие и практическую бесинерционность измерения.

Пружинно-оптические устройства состоят из упругого передаточного механизма, связанного с первичным преобразователем. На упругом механизме неподвижно укреплен отражательный элемент, свя-

занный оптическим путем с осветителем и отсчетным устройством. Связь эта может быть непосредственной [1] или с использованием вторичных отражателей [2,3], существенно улучшающих точностные характеристики приборов.

Основным элементом пружинных и пружинно-оптических механизмов является упругий механизм [4]. В практике известных приборостроительных фирм наибольшее распространение нашли упругие механизмы в виде закрученной пружинной ленточки. Как показывают исследования [5], эти упругие ленточные механизмы имеют весьма большое передаточное отношение:

$$1/i = \theta \cdot s^{-1}, \text{ град.мм}^{-1},$$

где θ - угол закручивания ленточки в град, который вызывается линейным перемещением s в мм, приложенным к концам ленточки.

Большие передаточные отношения $i \in [0,8 \div 10]$, град.мм $^{-1}$, и малые измерительные усилия $dQ/d\theta \in [0,003 \div 0,6]$, сн.град $^{-1}$, обуславливают основные достоинства приборов с пружинным упругим передаточным механизмом: высокую чувствительность при малых измерительных перемещениях /данные о минимальной пороговой чувствительности на уровне 10^{-6} мм, не являются предельными для этих механизмов/; большую надежность; большую достоверность /повторяемость показаний; простоту при эксплуатации и настройке и другие.

Устройство 4 дополнительного нагружения необходимо для расширения диапазона измерений или компенсации смещения настройки вторичного преобразователя путем приложения дополнительных силовых возмущений деформирующих первичный преобразователь. Это устройство может быть выполнено для компактности в виде одного узла, совмещающего обе функции.

Лучшими метрологическими характеристиками обладает устройство 4, выполненное в виде двух отдельных узлов для раздельного приложения дополнительных внешних сил с целью: а/увеличения пределов измерения и б/повышения точностной надежности. При этом обеспечивается независимость метрологических воздействий и большая чувствительность прибора к корректирующим воздействиям. Идеи конкретного выполнения устройств дополнительного нагружения представлены в [1,6].

Измерительная схема работает следующим образом. Измерительный сигнал, после трансформации в силу, передается через измерительный наконечник первичному преобразователю, вызывая его упругую деформацию. Деформация приводит к изменению диаметра упруго-

го кольца, которое измеряется вторичным преобразователем.

При необходимости изменения пределов измерения или компенсации смещения настройки предварительно или в процессе измерения к первичному преобразователю прикладывается контактным или бесконтактным путем внешняя сила. Это приводит к изменениям геометрии и жесткости первичного преобразователя, что вызывает изменение передаточного отношения. Тем самым происходит изменение диапазона измеряемых величин, осуществляются дополнительные смещения измерительного механизма вторичного преобразователя для компенсации смещения настройки или перенастройки прибора.

В этом случае применяется идея, развитая в [7], путем изменения размеров и состояния одного подходящим образом выбранного звена измерительной цепи производить компенсацию ошибок измерительных преобразователей.

3. Точностный анализ

Для метрологической проверки и практической реализации измерительной схемы, описанной выше, и некоторых конструктивных решений в соответствии с [3] создан специальный испытательный стенд. Конструктивная схема стенда описана в [6]. Основной целью экспериментов на стенде является исследование характера передаточной функции /или передаточного отношения/ устройства и симуляции возмущающих воздействий. Передаточная функция f выражает отношение изменения диаметра упругодеформируемого кольца ΔD к заданной величине эталонного перемещения ϵ :

$$1/2/ \quad f = \Delta D \cdot \epsilon^{-1}, \text{ мм.мм}^{-1}.$$

Общая передаточная функция f /передаточное отношение i / устройства определяется передаточными функциями /отношениями/ первичного и вторичного преобразователей, соответственно: $f_1(i_1); f_2(i_2)$.

Передаточная функция, приведенная к шкале прибора, зависит еще от диаметра и цены деления отсчетной шкалы. Следовательно:

$$1/3/ \quad f = f_1 \cdot f_2 \cdot f_{сш}, \text{ мм.мм}^{-1},$$

$$1/4/ \quad i = i_1 \cdot i_2, \text{ град.мм}^{-1}.$$

Для конкретной технической реализации с использованием пружинно-оптического измерителя перемещений:

$$1/5/ \quad i = \frac{0,0286 E z_0}{4 G \lambda (1 + \sqrt{6} z_0^2 \lambda^{-1})} \left[\sin^2 \alpha + 2 + 1,2732 (\alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha - 1) - \right]$$

$$-4\sin\alpha \left[\sin\alpha \cos\alpha + \alpha + 1,2732(\alpha \sin\alpha + \cos\alpha - 1) - 2\sin\alpha \right]^{-1},$$

где: 2α - центральный угол, определяемый центром окружности упругого кольца и его двумя опорными точками, в, град; E и G - модули упругости и скольжения материала упругой пружинной ленточки в, МПа; $\lambda = (\alpha_L / \delta_L)^2$ - характеристика относительной толщины пружинной ленточки; δ_L - половина ширины ленточки в, мм; α_L - высота ленточки в, мм; $\gamma = \varphi(\theta, \ell)$ - коэффициент формы поперечного сечения ленточки, $\gamma \in [0,32 \pm 0,4]$, [5]; ℓ - полудлина doubly-закрученной пружинной ленточки в, мм; θ - угол поворота среднего участка ленточки в, град; $t_L = 2\pi / t_L$, мм⁻¹; t_L - шаг закручивания ленточки в, мм.

Теоретический расчет показывает, что при $\alpha = 14$, град, передаточная функция /2/ упругого деформируемого кольца и упругой пружинной ленточки $f_T = 0,9383$, мм.мм⁻¹.

Для общей передаточной функции, приведенной к шкале отсчета, при передаточном отношении /5/ была получена величина $f = 2$, мм.мм⁻¹.

Метрологическую проверку можно осуществить разными способами. В работе [6] это сделано по схеме с использованием образцовых концевых мер длины и по схеме с образцовым измерительным средством. Там же приводятся точностный анализ и обосновка схем метрологических испытаний. Анализируется влияние первичных погрешностей на суммарную погрешность измерительного устройства. Приводятся источники первичных ошибок, передаточные функции ошибок и оценка их влияния на суммарную ошибку прибора.

4. Экспериментальные результаты

Эксперименты проводились на испытательном стенде в следующих условиях: температура окружающей среды - $20 \pm 0,5$ °C; влажность и давление - лабораторные; отсутствие вибраций; заданная величина интервала измерительного сигнала /единичная цена/ - 5, мм; 10, мм; 1, гр; диапазон измерений - $[0 \div 250]$, мм, с учетом начального нелинейного участка упругой пружинной ленточки.

В ходе экспериментов были получены следующие результаты:

4.1. По схеме метрологических испытаний с образцовым измерительным средством /оптикар 0,2ПФС [8]/:

- величина интервала при прямом и обратном ходе - 5, мм;
- средняя отсчитанная величина интервала для 17,8 мм по шкале стенда, исключая нелинейный участок пружинной ленточки - 4,44, мм;
- максимальная вариация показаний, отсчитанная по шкале стен-

да - 0,6, мм;

- передаточная функция $f_1 = \Delta D_1 / \epsilon_1 = 0,8877$, мм.мм⁻¹.

На фиг.2 показан вид экспериментальной характеристики. Нелинейный характер характеристики на участке $[0 \div 50]$, мм, определяется статической характеристикой используемого пружинного преобразователя. Разницу величины f_1 от теоретической f_T можно объяснить схемной погрешностью стенда, вызываемой формой опор кольца.

4.2. По схеме метрологических испытаний с образцовыми концевыми мерами длины:

- величина интервала при прямом и обратном ходе - 10, мм;
- средняя отсчитанная величина интервала для 35,8 мм, по шкале стенда, исключая нелинейный участок пружинной ленточки - 8,96, мм;
- максимальная вариация показаний, отсчитанная по шкале стенда - 0,8, мм;

- передаточная функция $f_2 = \Delta D_2 / \epsilon_2 = 0,8959$, мм.мм⁻¹.

На фиг.3 показан вид экспериментальной характеристики. Разница величины f_2 от теоретической f_T вызвана повышенным измерительным усилием на поверхность концевых мер из-за дополнительного действия промежуточного измерительного стержня.

4.3. При метрологических испытаниях с образцовыми гирями веса:

- величина интервала силового воздействия при прямом и обратном ходе - 1, гр.;
- средняя отсчитанная величина интервала по шкале при 1, гр, силового воздействия - 5,5, мм;
- максимальная вариация показаний, отсчитанная по шкале стенда - 0,6, мм;

- передаточная функция $f_3 = \Delta D_3 / \epsilon_3 = 1,53$, мм.гр⁻¹;

- диапазон измерений равен 160, гр, при величине линейной деформации кольца по оси пружинной ленточки - 250, мм;
- цена 1, мм, деления круговой шкалы - 0,18, гр.

На фиг.4 показан вид экспериментальной характеристики.

Зависимость f_3 характеризует сопротивительные качества кольца при силовых измерительных воздействиях, определяемых его конструктивными параметрами и физико-химическими свойствами материала кольца.

Серия экспериментов при изменении температуры окружающей среды показала, что происходит закономерное смещение условного нуля прибора. Этот уход настройки легко компенсируется дополнитель-

ным силовым воздействием на упругое кольцо. Функции f_1 , f_2 и f_3 , при этом, не изменяют свои величины.

5. Выводы

5.1. Доказана функциональная работоспособность измерительной схемы для высокоточных измерений линейных перемещений.

5.2. Подтверждена возможность компенсации смещения настройки измерительного прибора дополнительным силовым воздействием на первичный преобразователь.

5.3. Существуют дополнительные возможности повышения точности устройств, построенных по предложенной измерительной схеме, расчетом прецизионной оптической схемы, подбором параметров упругого кольца и введением дополнительных элементов в измерительную часть устройств.

6. Благодарность

Авторы глубоко признательны н.с. Ур.Н. Елизнашки за большую помощь при изработке стенда для метрологических испытаний измерительной схемы.

Полезными и с дальнейшей перспективой для развития идей в области прецизионных измерений были дискуссии с инж. Ив.Т. Караризов.

7. Литература

1. Парушев, П.Р., Утев, Д.И.: Авт. свид. НРБ №34712/Бюл. №11, 15.11.1983.
2. Парушев, П.Р., Утев, Д.И.: Авт. свид. НРБ №34706/Бюл. №11, 15.11.1983.
3. Парушев, П.Р., Утев, Д.И.: Авт. свид. НРБ №34707/Бюл. №11, 15.11.1983.
4. Сорочкин, Б.М. и др.: Средства для линейных измерений. Ленинград: Машиностроение, 1978; 145 сс.
5. Цейтлин, А.М.: Упругие кинематические устройства. Ленинград: Машиностроение, 1972; 183 сс.
6. Утев, Д.И.: Методы и средства за измерване на линейни размери. Дипломна теза. София: ЦСЛК към ВМЕИ "В.И. Ленин", 1984; 132 сс.
7. Парушев, П.Р., Сорочкин, Б.М.: Смещение настройки и настройка автоматических средств контроля. Доклады II-го межд. симпозиума "Автомат. и науч. приборостроение '83". Варна, Болгария, 16-22.05.1983. Том I, стр. 193-198.
8. Сорочкин, Б.М., Парушев, П.Р.: Фотоэлектрически датчици за много-диапазонна сортировка на детали. - "Автоматизация на производството и управлението", Год. VIII, 1978, бр. 11, стр. 7-12. /Изд. ДКНП - НРЕ/.

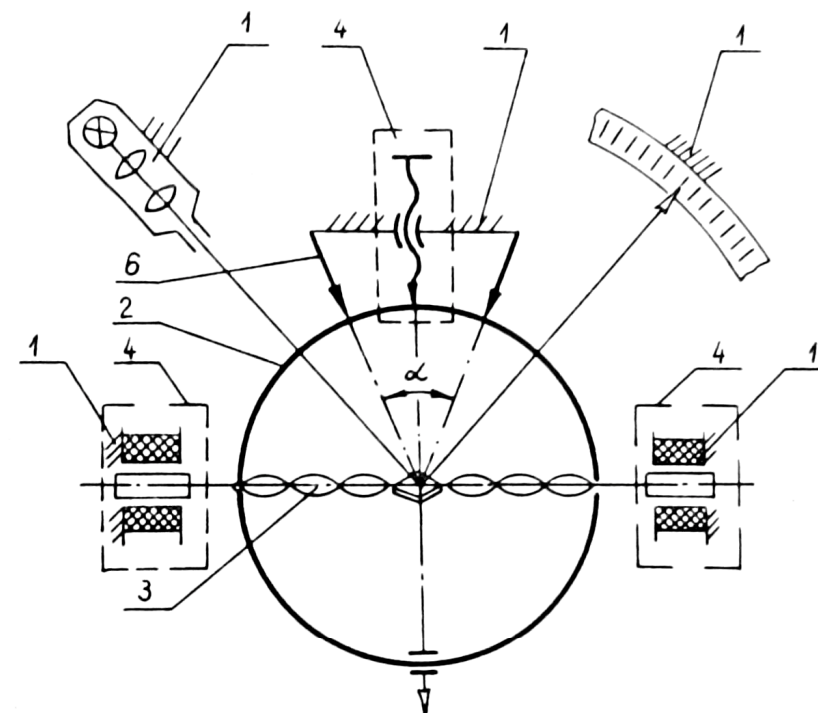


Рис. 1 Схема измерения

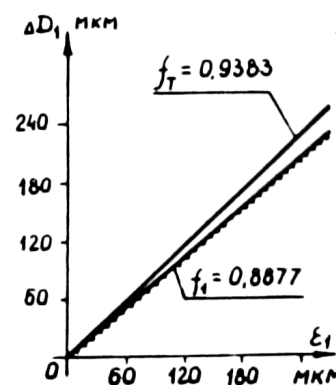


Рис. 2

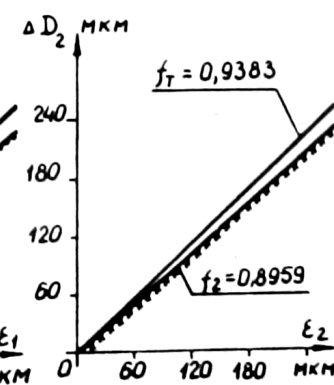


Рис. 3

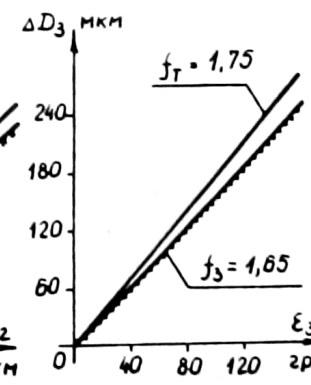


Рис. 4