

90<sup>0</sup>, поэтому ПЗВУ по данной кинематической схеме целесообразно использовать для инклинометрирования скважин с большим искривлением по зенитному углу.

### Литература

1. Миловзоров Г.В. Электромеханические преобразователи наклона в системах управления подвижными объектами. - В сб.: Электромеханические и электромагнитные элементы систем управления. - Уфа, Уфимский авиационный институт, вып. I, 1983, с. 43-47.

2: Ковшов Г.Н., Миловзоров Г.В., Султанаев Р.А. О применении теории кватернионов и теории матриц в теоретических исследованиях инструментальных погрешностей инклинометрических преобразователей. - В кн.: Проблемы метрологического обеспечения научных исследований и учебного процесса в вузах. - Тезисы доклада Всесоюзной науч. техн. конф. - Ленинград, 1984, с. II5-II6.

3. Гольдштейн Г. Классическая механика. - М.: Наука, 1975, - 415 с.

УДК 681.325.3

В.М.Гречишников, Г.И.Леоневич, Ю.Т.Котов,  
А.С.Капустин, А.В.Данилов

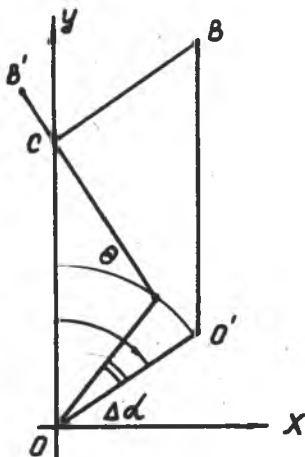
### ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ЦИФРОВОЙ КОД С АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

В настоящее время разработано большое количество схемных и конструктивных модификаций оптоэлектронных преобразователей перемещения в цифровой код (ОППК). Независимо от способа построения отсчетной части оптомеханического блока (ОМБ) преобразователей общим недостатком всех ОППК является наличие инструментальных погрешностей (ИП), обусловленных несовершенством производственного, сборочного и наладочного оборудования, погрешностями элементов конструкции и их зависимостью от внешних эксплуатационных факторов (ВЭФ) [1]. Применение прецизионных деталей, высокоточная встировка не всегда достаточно эффективны и требуют существенных материальных и временных затрат. Поэтому вопрос коррекции инструментальных погрешностей, наиболее существенно влия-

ющих на достоверность выходной информации ОПЖ простыми и эффективными способами, является одним из наиболее актуальных.

Основными источниками ИП, как правило, являются элементы подвижной части ОМБ: кодирующая маска, направляющие поступательного или вращательного движения, вал. Например, в преобразователях угловых перемещений доминирующими ИП являются эксцентриситет установки кодирующей маски (диафрагмы) на вал, несовпадение оси вала с осью объекта измерения, радиальные биения в направляющих вращательного движения (подшипниках) [1, 2].

Рассмотрим на примере оптоэлектронного цифрового преобразователя угла (ОЦПУ) характер воздействия указанных доминирующих ИП. На рис. 1 схематично показана отсчетная часть преобразователя. Начало системы координат  $XOY$  совпадает с осью вращения объекта измерения. В точке  $C$ , находящейся на оси ординат на расстоянии  $OC = R_0$ , расположен считывающий элемент (СЭ), воспринимающий промодулированный диафрагмой световой поток от осветителя. Диафрагма представляет собой диск из оптически прозрачного (непрозрачного) материала, на который на расстоянии  $R_0$  от центра диска по его периметру нанесены оптически непрозрачные (прозрачные) кванты. Принцип преобразования заключается в подсчете числа квантов, проходящих через СЭ с помощью электронной схемы



Р и с. 1. Диаграмма созовкупного эксцентриситета отсчетной части преобразователя

мы в одноотсчетных ОЦПУ и дополнительной интерполяции периода следования квантов диафрагмы - в двухотсчетных ОЦПУ.

Воздействие указанных погрешностей приводит к смещению центра диска в точку  $O'$  относительно начала координат. Отрезок  $OO' = \epsilon$  является вектором созовкупного эксцентриситета, расположенным под углом  $\Theta$  к оси ординат. В общем виде вектор  $\epsilon$  можно представить суммой слагаемых

$$\epsilon = \bar{\epsilon} + \Delta \bar{\epsilon} + \hat{\epsilon} + \Delta \hat{\epsilon} ,$$

где  $\bar{\epsilon}$ ,  $\Delta \bar{\epsilon}$  - соответственно постоянный и переменный компоненты систематической составляющей;

$\hat{\varepsilon}$ ,  $\Delta \hat{\varepsilon}$  - соответственно стационарный и переменный компоненты случайной составляющей.

При повороте диафрагмы относительно точки  $O$  на угол  $\alpha$  происходит смещение диафрагмы относительно СЭ. Например, в точке  $B'$  оказался  $i$ -тый квант диафрагмы, который при отсутствии  $\varepsilon$  должен был находиться в точке  $C$ . Однако расстояние  $BC$  не является наименьшим для заданного  $\varepsilon$ . Минимальное расстояние между  $i$ -тым квантом и СЭ будет иметь место, если совместить центры  $i$ -того кванта, СЭ и диафрагмы на одной линии. Для этого необходимо довернуть диафрагму относительно начала координат на угол  $\Delta\alpha$  в сторону, соответствующую достижению указанного смещения ( $O'-C-B'$ ).

С помощью несложных геометрических построений получим выражения, определяющие погрешность преобразования

$$\Delta\alpha = \arcsin \left[ \frac{|\varepsilon|}{R_0} \sin(\alpha + \Theta) \right]; \quad (1)$$

$$r = CB' = R_0 - \sqrt{R_0^2 - 2R_0[\varepsilon] \cos\{\alpha - \Delta\alpha + \Theta\}} + [\varepsilon]. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) соответственно определяют паразитную фазовую и амплитудную модуляции светового потока, проходящего через диафрагму на СЭ.

Одним из эффективных способов компенсации паразитной амплитудной модуляции является выполнение соотношения между высотой СЭ  $h_3$  и квантов диафрагмы  $h_0$ :  $|h_3 - h_0| \geq 2r_{\max} = 2[\varepsilon]$ .

Для устранения паразитной фазовой модуляции конструктивных способов в настоящее время не существует. Необходимость эффективного устройства коррекции  $\Delta\alpha$  объясняется тем, что эта погрешность значительно снижает достоверность выходной информации ОЦПУ. Информационная емкость ОЦПУ ограничена величиной

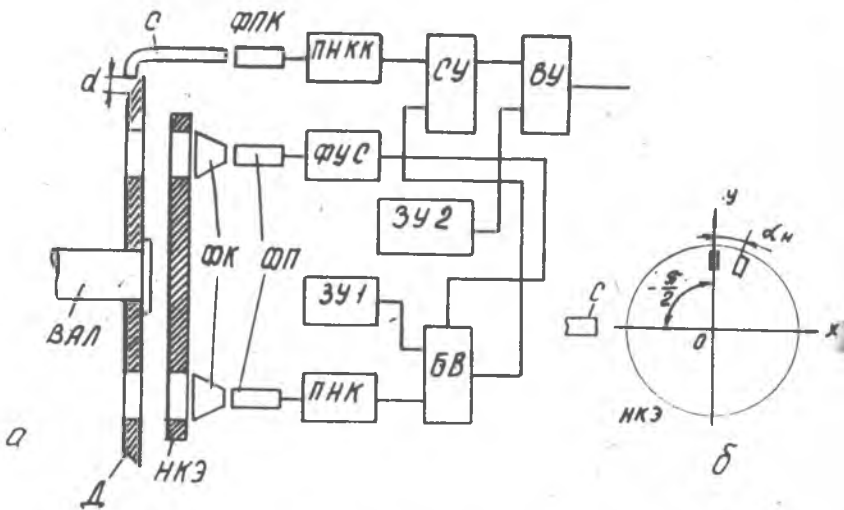
$$n = \log_2 \frac{2\pi}{\arcsin \Delta\alpha_{\max}} - 1 \quad (3)$$

при полной достоверности выходного кода ОЦПУ.

Так при  $[\varepsilon] = 0,2$  мм,  $R_0 = 20$  мм,  $n = 8,3$  бит, т.е. независимо от числа квантов, нанесенных на диафрагму, количество достоверных двоичных разрядов цифрового кода угла ограничено величиной  $n$ .

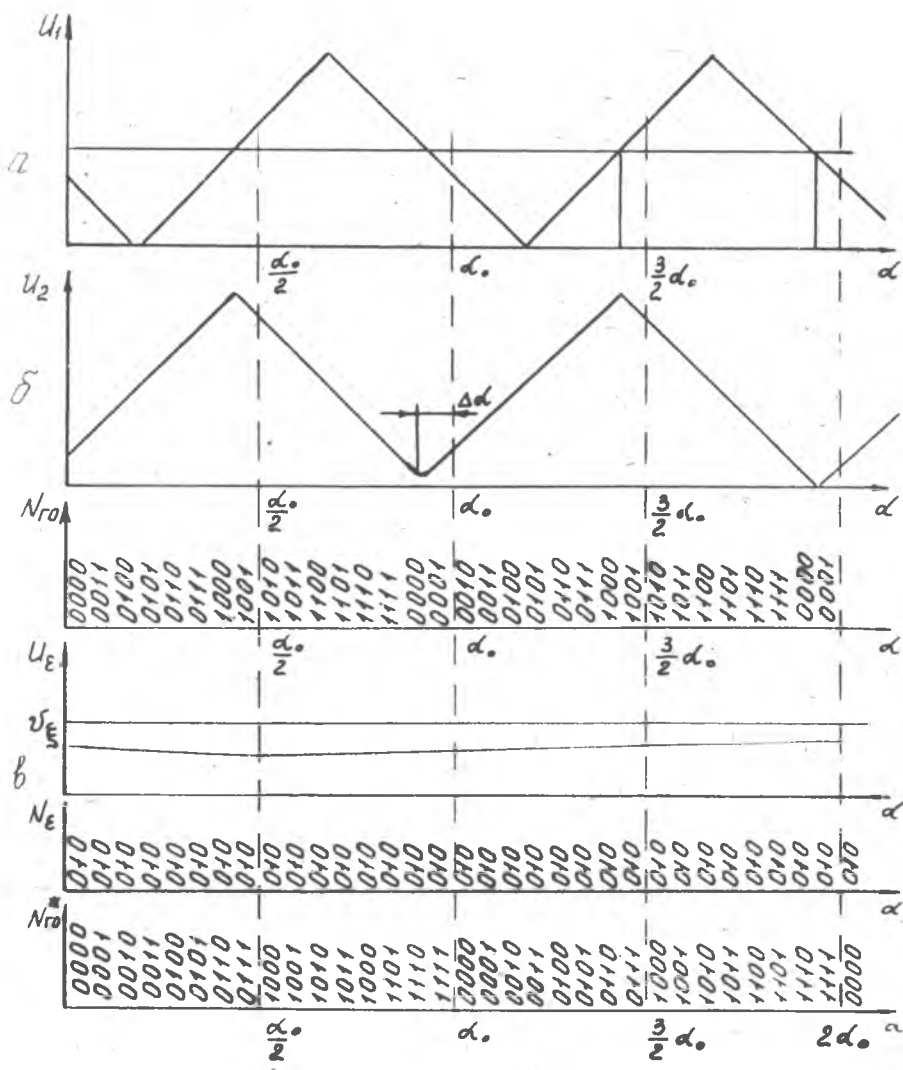
Авторами предлагается один из вариантов ОЦПУ со встроенным

устройством автоматической коррекции погрешности  $\Delta\alpha$ . На рис. 2, показана структурная схема канала точного отсчета преобразователя, совмещенного с устройством коррекции. Световой поток, проходя через отверстия диафрагмы и нониусного кодирующего элемента (НКЭ), попадает на входные торцы фотодетекторов (ФД), выходные торцы которых оптически связаны с фотоприемниками (ФП). Отверстия диафрагмы (кванты) образуют кодовую дорожку с периодом  $\alpha_0$ . Угловая ширина отверстий диафрагмы и НКЭ равна  $\alpha_0/2$ . Два отверстия НКЭ (см. рис. 2, б) расположены на расстоянии  $\alpha_n = \alpha_0(k + \frac{1}{4})$ , где  $k=1 \div 3$ ,



Р и с. 2. Структурная схема канала точного отсчета преобразователя, совмещенного с устройством коррекции

и предназначены для формирования на выходе фотоприемников (ФП) двух смещенных друг относительно друга сигналов треугольной формы (рис. 3, а, б). Сигнал с выхода одного из ФП поступает на преобразователь напряжения в код (ПНК), с выхода которого снимается цифровой эквивалент перемещения в пределах  $\alpha_0$ . Однако код угла будет неоднозначен из-за симметричности формы сигнала относительно оснований и вершин "треугольников". Для устранения неоднозначности используется сигнал второго ФП, поступающий в формирователь управляющих сигналов (ФУС). Сигналы с выхода ФУС управляют работой блока вычитания (БВ) по алгоритму



Р и с. 3. Эпюры напряжений на выходе фотоприемников и кодовые последовательности оптоэлектронного преобразователя

$$N_{\text{То}} = \begin{cases} N_{\text{ПНК}} & \text{при } i d_0 \leq d < (i + \frac{1}{2}) d_0 ; \\ N_{\text{ПЗУ}} - N_{\text{ПНК}} & \text{при } (i + \frac{1}{2}) d_0 < d \leq (i + 1) d_0 , \end{cases} \quad (4)$$

где  $N_{\text{То}}$  - код точного отсчета на выходе БВ;

$N_{\text{ПНК}}$  - код на выходе ПНК;

$N_{\text{ПЗУ}} = 2 N_{\text{ПНК}}$  мах код, вписанный в настоящее запоминающее устройство (ПЗУ).

Канал коррекции включает в себя фаску с нанесенным на ее поверхность светоотражающим слоем, выполненную под углом  $45^\circ$  к поверхности диафрагмы, световод, фотоприемник коррекции (ФПК), преобразователь напряжения коррекции в код (ПНКК), суммирующее (СУ) и вычитающее (ВУ) устройства, второе ПЗУ.

Входной торец световода расположен над фаской под углом  $-\frac{\pi}{2}$  относительно оси ОУ (см. рис. 2,а). Световой поток, отражаясь от поверхности фаски, попадает на входной торец световода, выход которого оптически связан с ФПК. Сигнал с ФПК (см. рис. 3,в) преобразуется в ПНКК в код  $N_d$ , пропорциональный величине

$$d = d_0 + [\varepsilon] \sin(\alpha + \Theta),$$

где  $d_0$  - расстояние между средней линией фаски и чувствительной частью фотоприемника при отсутствии ИП.

Масштаб преобразования в ПНКК выбран таким, чтобы код  $N_d$  был одного порядка с кодом, соответствующим  $\Delta \alpha$ , так как  $\text{arc Sin } \Delta \alpha \approx \Delta \alpha$ . В результате на выходе СУ будет код  $N_{\text{То}} = N_{\text{То}} + N_d$ .

С целью исключения постоянной составляющей кода, пропорциональной  $d_0$ , в ПЗУ записывается величина  $N_{d_0}$ , которая исключается из результирующего значения в ВУ. Таким образом, на выходе ВУ формируется скорректированный код угла поворота в точном отсчете

$$N_{\text{То}}^* = N_{\text{То}} + N_d - N_{d_0}.$$

Точность ОЦПУ с автокоррекцией ИП определяется точностью канала коррекции, и при уменьшении  $\Delta \alpha$  после коррекции в 20 раз информационная емкость преобразователя с полной достоверностью для указанного выше примера увеличивается до  $\Pi = 13,6$  бит.

Аналогичный эффект будет наблюдаться и при введении канала коррекции ИП в преобразователь линейных перемещений.

Таким образом, ОППК с автокоррекцией ИП позволяют получить высокоточные информационные показатели при сравнительно невысоких точностных характеристиках элементов конструкции ОМБ, что значительно упрощает задачи производства и эксплуатации преобразователей.

#### Литература

1. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла. - М.: Энергоиздат, 1981. - 328 с.

2. Фотоэлектрические преобразователи информации /Под ред. Л.Н.Преснухина. - М.: Машиностроение, 1974.

УДК 620.179.14

А.П.А н д р е е в

#### СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СТРУКТУРОЙ

Несмотря на многообразие уже созданных ФП, непрерывное увеличение числа и диапазона измеряемых и преобразуемых величин постоянно выдвигает необходимость в разработке новых типов широкодиапазонных, высокоточных, стабильных и надежных ФП, которые могут занимать любое место в сложной цепи преобразований в САУ [1-3].

Современная тенденция развития систем управления с переменной структурой требует создания ФП с регулируемой выходной характеристикой. Использование таких преобразователей позволяет не только улучшить характеристики существующих систем управления, но и открывает новые возможности по созданию адаптивных систем с переменной структурой, причем, изменение алгоритма функционирования системы при одной и той же структурной реализации может осуществляться вручную или автоматически, в зависимости от входных величин или промежуточных результатов.

Введение резервирования преобразователей для повышения надежности по принципу биологических систем позволяет значительно улучшить метрологические характеристики ФП по сравнению с обычными за счет использования структурной избыточности. Проводя одновременно или последовательно несколько измерений одного и того же параметра, в таких системах можно производить математическую об-