

УДК 535.8

АНАЛИЗ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ОПТРОННЫХ СТРУКТУРАХ

© 2009 М. В. Степанов¹, С. А. Матюнин²

¹ ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

² Самарский государственный аэрокосмический университет

Проводится анализ детерминированной погрешности оптоэлектронного датчика угловых перемещений на многокомпонентных оптронных структурах на основе положений теории чувствительности.

Детерминированная погрешность, оптоэлектронный датчик, угловые перемещения, многокомпонентные оптронные структуры.

Применение оптоэлектронных устройств в системах управления воздушными объектами и технологическими процессами позволяет создавать устойчивые к дестабилизирующим воздействиям и быстродействующие системы.

Датчики являются основными источниками получения информационных сигналов в системах автоматического управления (САУ), тогда как остальные составные части систем должны обеспечивать обработку и использование этих сигналов [1, 2].

Анализ первичных преобразователей САУ современных летательных аппаратов показывает, что более 80 % первичных преобразователей представляют собой датчики перемещения резистивного типа с основной погрешностью от 3 до 4 %, а масса электрических кабелей связи датчиков с САУ составляет величину порядка 10-15 % от общей массы летательного аппарата [3].

Замена этих датчиков на более точные и стабильные волоконно-оптические и замена электрических кабелей связи на волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) позволяют уменьшить взлетную массу и повысить тактико-технические характеристики летательных аппаратов.

Как показано в [3, 4], датчики на многокомпонентных оптронных структурах (МОС) являются перспективными для использования в системах управления летательными аппаратами в силу их высокой стабиль-

ности, обусловленной конструкторско-технологическими особенностями.

В МОС-датчиках становится возможным добиться инвариантности параметров оптоэлектронных устройств к внешним дестабилизирующим факторам – температуре окружающей среды, вибрации и т. д., реализовать функции временной и пространственной модуляции, коммутации, спектрального уплотнения, создать прецизионные оптоэлектронные элементы и устройства систем управления, измерения и контроля [3].

Однако метрологический анализ таких датчиков до настоящего времени не проводился.

Рассмотрим структурную схему датчика угловых перемещений (рис. 1).

Источник излучения ИИ формирует требуемый по спектральному составу поток излучения, который попадает на систему Φ узкополосных спектроформирующих элементов (СФЭ). Затем сформированный таким образом сигнал обрабатывается в двух идентичных каналах, состоящих из фотопреобразователей ФП1, ФП2 и усилителей У1.1, У1.2. Из сигналов с выходов усилителей У1.1 и У1.2 дифференциальный усилитель формирует выходной сигнал $У$. Следящая обратная связь, состоящая из сумматора Σ и усилителя У3, позволяет уменьшить мультипликативную составляющую погрешности и устранить зависимость выходного сигнала датчика от загрознения оптической системы и изменения

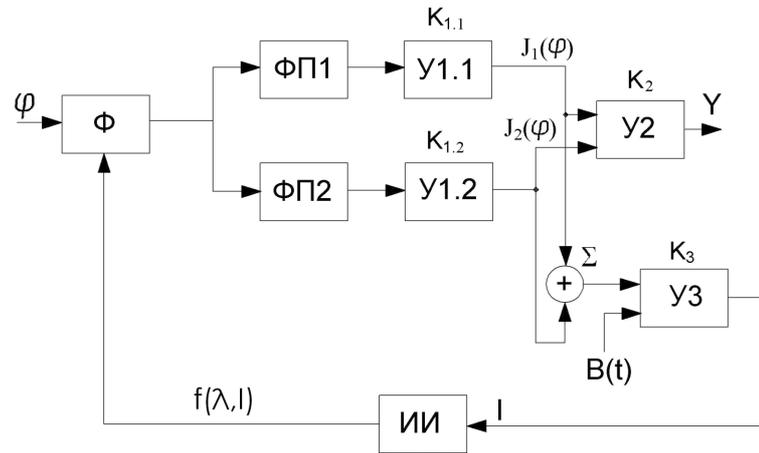


Рис. 1. Структурная схема датчика угловых перемещений на МОС

характеристик оптоэлектронных элементов [4].

Представим зависимость выходного сигнала датчика $Y(\varphi)$ от угла поворота φ в виде

$$Y(\varphi) = \eta(\varphi) \cdot K \cdot B(t) \cdot K_2 \cdot K_3 \left[\frac{J_1(\varphi) - J_2(\varphi)}{1 - \eta(\varphi) \cdot k \cdot K_3 \cdot (J_1(\varphi) + J_2(\varphi))} \right] \quad (1)$$

где

$$J_1(\varphi) = \int_{\lambda_H}^{\lambda_B} \Phi(\lambda) \cdot N_1(\lambda) \cdot T_1(\lambda, \varphi_1) \cdot T_2(\lambda) \cdot N_2(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda;$$

$$J_2(\varphi) = \int_{\lambda_H}^{\lambda_B} \Phi(\lambda) \cdot N_1(\lambda) \cdot T_1(\lambda, \varphi_2) \cdot T_2(\lambda) \cdot N_2(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda;$$

$\eta(\varphi)$ – функция, учитывающая изменение максимума пропускания спектроформирующих элементов от угла падения света; K_2 – коэффициент усиления дифференциального усилителя; K_3 – коэффициент усиления суммирующего усилителя в цепи обратной связи; $B(t)$ – опорный импульсный сигнал; $T_1(\lambda, \varphi)$ – спектральная характеристика пропускания первого узкополосного фильтра; $T_2(\lambda)$ – спектральная характеристика пропускания второго узкополосного фильтра; $S(\lambda)$ – спектральная характеристика чувствительности фотоприемника; N_1, N_2 – функции, учитывающие потери при вводе излучения в волоконно-оптический кабель и при его выводе.

Согласно теории чувствительности выражение для общей относительной погрешности датчика будет иметь вид [3]

$$\delta(\varphi) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y(\varphi, t)}{\partial x_i} \cdot \Delta_i = \delta_c + \varepsilon, \quad (2)$$

где $\varepsilon = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y(\varphi, t)}{\partial x_i} \cdot \varepsilon_{ci}$ – случайный компонент общей относительной погрешности датчика;

x_i – i -й влияющий фактор; δ_c – детерминированный компонент общей относительной погрешности датчика, определяемый как

$$\delta_c = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y(\varphi, t)}{\partial x_i} \cdot \Delta_{ci}, \quad (3)$$

где Δ_{ci} – абсолютное отклонение i -го влияющего фактора.

Рассмотрим детерминированные составляющие погрешности. Для анализа влияния составляющих погрешности датчика определим коэффициенты чувствительности к влияющим факторам (табл. 1).

Так как значения коэффициентов чувствительности в табл. 1 имеют разные знаки, то существует возможность минимизации основной погрешности датчика путём распределения допусков на отклонения параметров элементов датчика обратно пропорциональ-

Таблица 1. Детерминированные составляющие погрешности МОС-датчика перемещения

№ п/п	Относительный коэффициент чувствительности	Детерминированные составляющие погрешности МОС-датчика перемещения	Значение
1	$\alpha_{\lambda T1}$	Чувствительность к изменению центральной частоты спектральной характеристики отражающего фильтра	$5 \cdot 10^5$
2	$\alpha_{\lambda T2}$	Чувствительность к изменению центральной частоты спектральной характеристики пропускающего фильтра	$5 \cdot 10^5$
3	α_{β}	Чувствительность к изменению величины начального угла β	0,65
4	α_{α}	Чувствительность к изменению величины начального угла α	0,65
5	α_{Tm1}	Чувствительность к изменению пропускания в максимуме отражающего фильтра	$-2,12 \cdot 10^{-7}$
6	α_{Tm2}	Чувствительность к изменению пропускания в максимуме пропускающего фильтра	$-2,12 \cdot 10^{-7}$
7	$\alpha_{K\tau1}$	Чувствительность к изменению ширины полосы пропускания отражающего фильтра	$-1,614 \cdot 10^{-6}$
8	$\alpha_{K\tau2}$	Чувствительность к изменению ширины полосы пропускания пропускающего фильтра	$-1,612 \cdot 10^{-6}$
9	$\alpha_{\lambda\phi}$	Чувствительность к изменению центральной частоты спектральной характеристики фотодиода	$4,8 \cdot 10^5$
10	$\alpha_{\lambda s}$	Чувствительность к изменению центральной частоты спектральной характеристики фотоприемника	$4,2 \cdot 10^5$
11	α_{ϕ}	Чувствительность к изменению максимума спектральной характеристики источника излучения	0,132
12	α_S	Чувствительность к изменению максимума спектральной характеристики фотодиода	$-1,412 \cdot 10^{-7}$
13	$\alpha_{K\phi}$	Чувствительность к изменению ширины спектральной характеристики источника излучения	$-1,614 \cdot 10^{-6}$
14	α_{Ks}	Чувствительность к изменению ширины спектральной характеристики фотоприемника	$-1,614 \cdot 10^{-6}$
15	α_{K2}	Чувствительность к изменению коэффициента усиления дифференциального усилителя	0,1
16	α_K	Чувствительность к изменению коэффициента усиления фотопреобразователя	-0,101
17	α_{K3}	Чувствительность к изменению глубины обратной связи	$-1,01 \cdot 10^{-4}$
18	$\alpha_{\phi'}$	Чувствительность к неравномерности спектральной характеристики	0,5

но коэффициентам чувствительности. Задачу минимизации детерминированной составляющей основной погрешности датчика запишем в виде

$$\delta_c = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y(\phi, t)}{\partial x_i} \cdot \Delta_{ci} \rightarrow \min ;$$

$$\delta_c \leq \delta_0$$

при ограничениях:

$$Y(\varphi) - Y_{\text{лин}}(\varphi) = Y_0,$$

$$\Delta_{ci \min} \leq \Delta_{ci} \leq \Delta_{ci \max}, i = 0, 1, \dots, n,$$

где $\Delta_{ci \min}, \Delta_{ci \max}$ - минимальное и максимальное значения абсолютного отклонения i -го влияющего фактора; δ_0 - допустимое значение детерминированной составляющей общей относительной погрешности датчика.

Решая задачу минимизации (4), найдём значения допусков на отклонения параметров элементов датчика и подставим их в (3).

В результате получим:

$$\delta_c = 0,02118 \leq \delta_0, \text{ где } \delta_0 = 0,025. \quad (5)$$

Согласно [5], табл. 1 и результату (5) существенное влияние на величину детерминированной составляющей основной погрешности датчика оказывает неравномерность спектральных характеристик оптоэлектронных элементов. Зависимость относительной погрешности датчика, вызванной неравномерностью спектральных характеристик оптоэлектронных элементов от угла перемещения, представлена на рис. 2.

Из анализа (1) и (3) следует, что величина этой погрешности может быть уменьшена соответствующим выбором полосы пропускания $\Delta\lambda$ оптических фильтров (рис. 3).

Таким образом, представленный анализ позволяет проводить расчет и минимизацию основной погрешности датчика угловых перемещений на МОС с использованием коэффициентов чувствительности. Кроме того, используя задачу минимизации детерминированной составляющей основной погрешности (4), можно определять допуски на отклонения параметров элементов датчика.

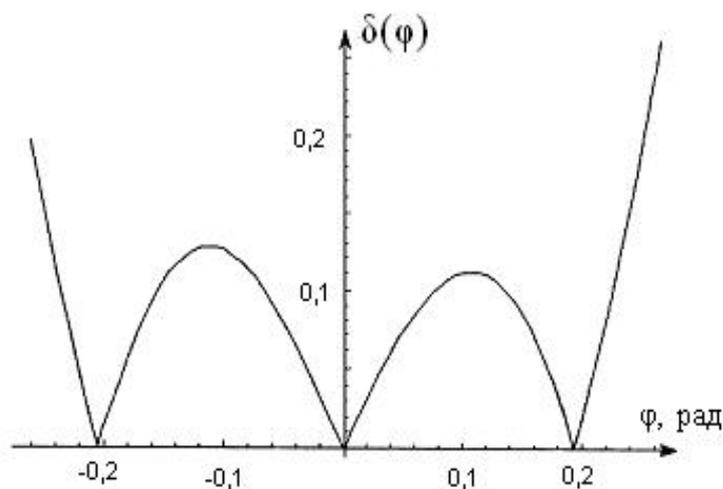


Рис. 2. Зависимость относительной погрешности датчика, вызванной неравномерностью спектральных характеристик оптических фильтров

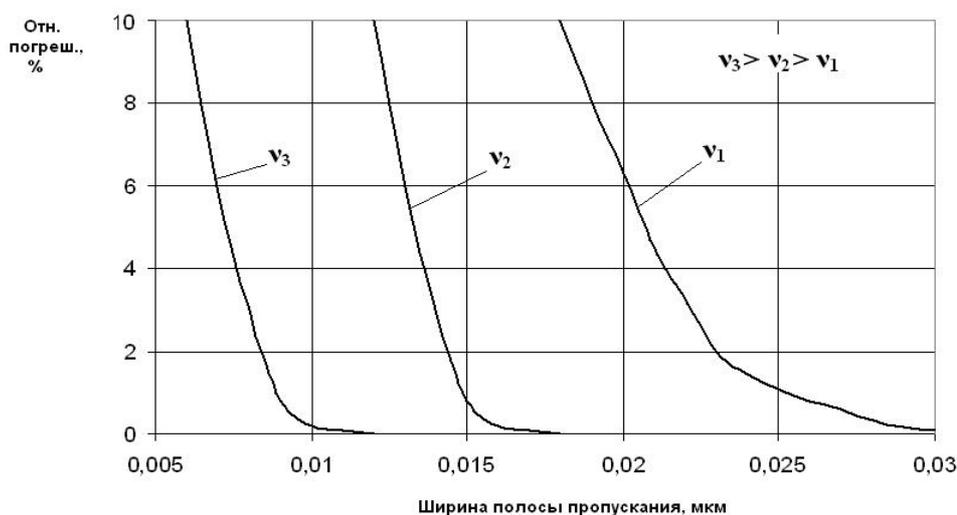


Рис. 3. График зависимости относительной погрешности датчика от ширины пропускания оптических фильтров для различных значений неравномерности спектральных характеристик оптических фильтров v

Библиографический список

1. Домрачев, В. Г. Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория, точности, методы контроля [Текст] / В. Г. Домрачев, Б. С. Мейко. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Конюхов, Н. Е. Оптоэлектронные цифровые преобразователи перемещений с интерференционными элементами коррекции и обработки оптических сигналов [Текст] / Н. Е. Конюхов, Г. И. Леонович, С. А. Матюнин // Приборы и системы управления. – 1990. – № 9. – С. 18–20.
3. Матюнин, С.А. Многокомпонентные оптронные структуры [Текст] / С. А. Матю-

нин. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2001.

4. Степанов, М.В. Функция преобразования дифференциального оптического датчика угловых перемещений с подвижным спектроформирующим элементом [Текст] / М. В. Степанов // «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте - 2007»: Сб. науч. тр. по материалам международной научно-практической конференции. Т. 2. Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2007. – С. 15–18.

5. Игнатов, А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства [Текст]: Учеб. пособие / А. Н. Игнатов – М.: Эко-Трендз, 2006.

References

1. Domratchyov V. G., Meiko B. S. Digital angel converters: principles of construction, theory, accuracy, control methods / V. G. Domratchyov, B. S. Meiko. - Moscow: Energoatomizdat, 1984.
2. Konyukhov N. Ye., Leonovitch G. I., Matyunin S. A. Optoelectronic digital shift converters with interferential elements of correction and processing of optical signals // N. Ye. Konyukhov, G. I. Leonovitch, S. A. Matyunin. Control devices and systems. - 1990. - No. 9. - pp. 18 - 20.
3. Matyunin S. A. Multicomponent optronic structures. / S. A. Matyunin - Samara: Samara

scientific centre of the Russian Academy of Science, 2001.

4. Stepanov M. V. Conversion function of a differential optical angular shift transducer with a mobile spectroforming element / M. V. Stepanov // "Promising innovations in science, education, production and transport '2007": Collection of transactions on the materials of international scientific conference. Vol. 2. Technical science. - Odessa: Tchernomorje, 2007. - pp. 15-18.

5. Ignatov A. N. Optoelectronic devices and systems: Teaching aid / A. N. Ignatov - Moscow: Eco-Trends, 2006.

**ANALYSIS OF DETERMINATE ERROR OF AN OPTOELECTRONIC ANGULAR
SHIFT SENSOR ON MULTICOMPONENT OPTRONIC STRUCTURES**

© 2009 M. V. Stepanov¹, S. A. Matyunin²

¹Samara Space Rocket Centre "TsSKB-Progress"

²Samara State Aerospace University

The paper presents the analysis of a determinate error of an optoelectronic angular shift sensor on multicomponent optronic structures on the basis of the sensitivity theory propositions.

Determinate error, optoelectronic sensor, angular shifts, multicomponent optronic structures.

Информация об авторах

Степанов Максим Владимирович, аспирант кафедры электронных систем и устройств, место работы: ФГУП ГНП РКЦ "ЦСКБ-Прогресс"; e-mail: st_maxim@mail.ru, область научных интересов: элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Матюнин Сергей Александрович, заведующий кафедрой электронных систем и устройств, д.т.н., профессор, место работы: СГАУ; e-mail: mitrea.sgau@rambler.ru, область научных интересов: автоматизация технологических процессов, элементы и устройства систем управления.

Stepanov Maxim Vladimirovitch, science degree claimant, candidate of technical science of the department of electronic systems and devices, Samara Space Rocket Centre "TsSKB-Progress", e-mail: st_maxim@mail.ru. Area of research: elements and devices of computer engineering and control systems.

Matyunin Sergey Alexandrovitch, head of the department of electronic systems and devices, doctor of technical sciences, professor, Samara State Aerospace University, e-mail: mitrea.sgau@rambler.ru. Area of research: automatization of technological processes; elements and devices of control systems.