

УДК 531.7.068

## МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЇ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ

С. В. Окоча

Національний авіаційний університет

OSV\_82@mail.ru

*Запропоновано новий підхід до отримання узагальненої математичної моделі розподілених цифрових волоконно-оптичних вимірювальних систем інтерферометричного типу. На основі даного підходу одержані узагальнені рівняння перетворення волоконно-оптичних цифрових перетворювачів геометричних координат точок вимірюваного об'єкта, об'єднуючі всі приватні математичні моделі енергоінформаційних процесів, що протікають в їх аналогових, аналого-цифрових і цифрових структурних блоках під час роботи в статичному і динамічному режимах.*

**Ключові слова:** оптичне волокно, волоконно-оптичні вимірювальні системи, інтерферометр, геометричні координати точок, статичний, динамічний режими.

*New approach to get generalized mathematical model of divided digital fibre optic interferometric type measuring system has been proposed. Based on given approach generalized equations of conversion for digital fibre optic converters of measured object's geographical coordinates have been obtained, joining all private mathematical models of information processes which conducts in analogue, analogue-digital and digital structural blocks while static and dynamic working conditions.*

**Keywords:** fibre optical, fibre optic measurements systems, interferometers, geometrical co-ordinates of points, static, dynamic modes.

### Вступ

У волоконно-оптичних датчиках оптичне волокно може бути застосовано як лінія передачі, а також може виконувати роль чутливого елемента датчика. В нашому випадку ці методи використання оптичного волокна об'єднані.

Оптичні системи контролю та якості геометричних розмірів об'єктів порівняно з електромеханічними мають більш високу швидкодію. Для контролю виробів з точністю, порівняно з довжиною хвилі світла, схиляються до використання явищ інтерференції та дифракції світла. Більшість із них використовують інтерферометричні методи. Інтерференційні методи дозволяють з високою точністю визначати величину лінійних розмірів деталей. Постійно існує необхідність в інтерферометрах, котрі були б прості у виготовленні та одночасно стійкі до зовнішніх завад, таких як вібрації, зміна температури оточуючого середовища та ін. Такі властивості притаманні дифракційним інтерферометрам із суміщеними гілками та спільним ходом інтерференційних променів.

**Мета** статті — визначення оптимального методу обробки сигналу для високоточного безконтактного контролю геометричних розмірів поверхонь деталей.

### Аналіз досліджень та публікацій

Розроблені теоретичні методи аналізу і синтезу [1–6] відіграють важливу роль при створенні широкої номенклатури волоконно-оптичних цифрових перетворювачів геометричних координат

точок вимірюваного об'єкта (ВОЦПК), заснованих на різноманітних фізичних принципах. Традиційні теоретичні методи дослідження не забезпечують необхідної відповідності між реальними енергоінформаційними процесами, які протікають у вимірювальних каналах ВОЦПК, і їх математичними моделями. Це обумовлено тим, що функція перетворення аналого-цифрового перетворювача замінюється приватною математичною моделлю його аналогового блоку. При цьому без достатнього обґрунтування робиться припущення про те, що вид логічного алгоритму формування вихідного коду не впливає на метрологічні характеристики перетворювача в цілому. Крім того, не враховується характер трансформації законів розподілу вхідного сигналу й окремих складових випадкової похибки під час проходження формованих сигналів через нелінійний багатоканальний вимірювальний тракт ВОЦПК. У результаті інформація про властивості перетворювачів, що розробляються з використанням відомих підходів, містить недостатню достовірність, що призводить до неоптимальних структурно-функціональних рішень і невиправданих економічних витрат на етапах розробки технічного завдання, макетування і виробництва ВОЦПК.

### Узагальнена математична модель волоконно-оптичних перетворювачів

Суть запропонованого підходу заснована на представленні характеристики «координата точки (переміщення) — код» у вигляді рівняння іде-

ального цифро-аналогового перетворення вихідного коду, процеси зміни розрядних кодів якого задані у вигляді логічних функцій від вхідного переміщення і точок дійсних багатовимірних просторових параметрів вимірювального тракту ВОЦПК.

Розглянемо методику отримання узагальненої математичної моделі волоконно-оптичних цифрових перетворювачів геометричних координат точок вимірюваного об'єкта. Як видно зі струк-

турних схем перетворювачів (рис. 1, 2), що працюють у режимах випромінювання, та передачі пройденого і відбитого світлового потоку, ВОЦПК можна розділити на три окремі функціональні блоки: 1 — блок формування і перетворення оптичних сигналів багатоканального волоконно-оптичного інтерферометра; 2 — блок компараторів (БК), що реалізує аналого-дискретне перетворення вихідних сигналів; 3 — блок перетворення цифрових сигналів (БПЦС).

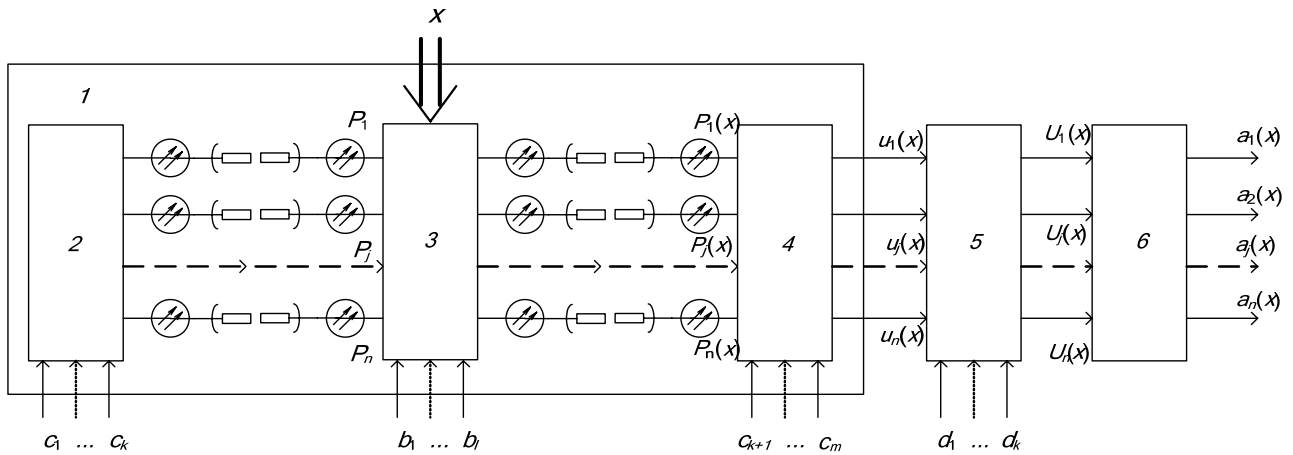


Рис. 1. Узагальнена структурна схема екранного типу:

1 — блок формування та перетворення оптичних сигналів; 2 — блок випромінювання; 3 — оптико-механічний блок; 4 — блок фотопідсилювачів;  $\{c_i\}$ ,  $\{b_i\}$ ,  $\{d_i\}$  — множини конструктивних та зовнішніх факторів; 5 — блок компараторів; 6 — блок перетворення сигналу

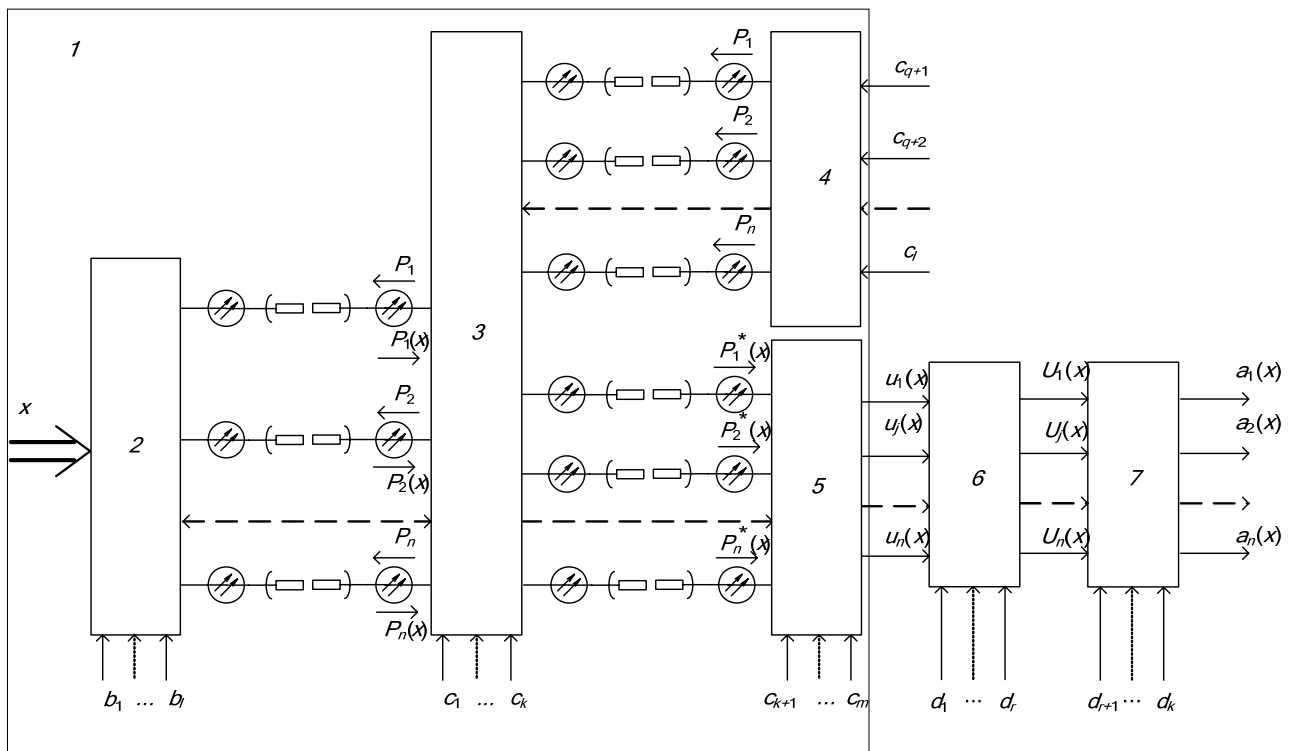


Рис. 2. Узагальнена структурна схема волоконно-оптичного перетворювача відбиваючого типу:

1 — блок формування та перетворення оптичних сигналів; 2 — оптико-механічний блок; 3 — блок пристроїв двонаправленого оптичного зв'язку; 4 — блок випромінювача; 5 — блок фотопідсилювачів;  $\{c_i\}$ ,  $\{b_i\}$ ,  $\{d_i\}$  — множини конструктивних та зовнішніх факторів; 6 — блок компараторів; 7 — блок перетворення сигналу

У перетворювачі на рис. 1 вимірюване переміщення 4 впливає на рухомий кодовий елемент (КЕ), розташований в оптико-механічному блоці (ОМБ). Оптичне випромінювання  $P_1, P_n$  від блоку випромінювача (БВ) за допомогою передавальних волоконно-оптичних ліній зв'язку підводиться до точок зчитування інформації з КЕ. Функції зчитувальних елементів ЗЕ виконують вхідні торці світловодів ВОЛП<sub>пр</sub>, за допомогою яких промодульовані оптичні сигнали  $P_1(x), P_n(x)$  передаються в блок фотопідсилювачів БФП. Вихідні сигнали БФП  $u_{1(x)}, u_{n(x)}$  в блоці компараторів 5 перетворюються в логічні сигнали  $U_1(x), U_n(x)$ , які в блоці формування і перетворення коду 6 перетворюються в цифровий еквівалент координати точки вимірюваного об'єкта.

Особливістю перетворювача на рис. 2 є те, що ВОЛЗ у ньому використовується в режимі двонаправленої передачі оптичних сигналів у поєднанні з кодовим елементом відбиваючого типу. При цьому функції підведення випромінювання від БВ до точок зчитування інформації з КЕ і передачами промодульованого випромінювання в БФП суміщені в одному світловоді. Просторове розділення оптичних потоків здійснюється в блоці пристроїв двонаправленого оптичного зв'язку (БПДЗ), який у простому випадку є набором волоконно-оптичних  $Y$ -відгалужувачів.

Відповідно до наведених структурних схем найбільш істотними енергоінформаційними перетвореннями, що відбуваються в  $j$ -у вимірювальному каналі ВОЦПК, є: генерація випромінювання  $P_{\text{випр}j}$  за допомогою лазерних або світло-випромінювальних діодів; передача випромінювання по ВОЛЗ, ефективність якої оцінюється енергетичним ККД  $\eta_\phi$ ; просторова модуляція оптичних сигналів, яка задається нормованою функцією модуляції  $f_{mj}$ ; фотоелектричне перетворення на фотоприймачі з чутливістю  $S_{pj}$ , а також операція масштабування  $K_{uj}$  аналогових сигналів; аналого-цифрове  $V_j$  і логічне перетворення електричних сигналів  $F_i$ , використовуваних під час формування розрядних кодів вихідного сигналу [7].

ВОЦПК формує цифровий сигнал у позиційній системі числення з підставленням  $q$ . Результат аналого-цифрового перетворення, що реалізується у ВОЦПК, можна навести у вигляді кодового вектора розмірності  $n$ :  $a = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \in Ma$ , де  $Ma$  — безліч та-

ких векторів. Кожній комбінації складових даного вектора в процесі перетворення ставиться у відповідність певний номер  $N$  рівня квантування координати точки  $x$ . Десятковий еквівалент числа  $N$  може бути знайдений у результаті підсумування значень кожного символу  $a_i$  з відповідним ваговим коефіцієнтом  $q_i$ :

$$N = \sum_{i=0}^n a_i q_i. \quad (1)$$

У цьому виразі  $[N] = [a_i] = 1$ . У реальних перетворювачах символу  $a_i$  відповідають певні значення електричної напруги, а тому  $[a_i] = u$ . Отже, десятковий еквівалент кодової комбінації в реальних ВОЦПК має розмірність електричної напруги, числове значення якої визначене в десятковій системі числення:

$$u_N = \sum_{i=0}^n a_i q_i. \quad (2)$$

Припустимо, що на вихід ВОЦПК увімкнений лінійний цифроаналоговий перетворювач (ЦАП), що перетворює вихідний код ВОЦПК у пропорційний аналоговий квантований сигнал електричної напруги  $u_{\text{кв}}$ . Вихідний сигнал ЦАП дорівнює

$$u_{\text{кв}} = m \sum_{i=0}^n a_i q_i, \quad (3)$$

де  $m$  — безрозмірний коефіцієнт пропорційності, що визначається значенням опорної напруги ЦАП.

З рівнянь (2) і (3) видно, що при  $m = 1$ ,  $u_{\text{кв}} = uN$ . Оскільки операція визначення  $N$  по (1) є лінійною відносно до кодових комбінацій на виході ВОЦПК, то сигнал  $uN$ , а отже, і  $u_{\text{кв}}$  односторонньо відображає вихідний код ВОЦПК.

Вважаючи  $a_i = a_i(x)$ , одержимо вираз

$$u_{\text{кв}}(x) = \sum_{i=0}^n a_i(x) q_i, \quad (4)$$

що визначає закон зміни вихідного сигналу ЦАП у функції від вхідного переміщення  $x$ .

Як правило, в умовах системного застосування ВОЦПК, його вихідна інформація повинна мати розмірність вимірюваного переміщення. Для приведення вихідного сигналу ЦАП до розмірності вхідної величини його необхідно лінійно перетворити з коефіцієнтом пропорційності  $S = X_{\text{max}} / u_{\text{max}}$   $[S] = [x] / B$ , де  $X_{\text{max}}$  — верхня межа діапазону перетворення ВОЦПК;  $u_{\text{max}}$  — максимальне значення вихідного сигналу електричного ЦАП.

У результаті дістаємо

$$X_{\text{кв}}(x) = mS \sum_{i=0}^n a_i(x)q_i. \quad (5)$$

Оскільки крутизна нормуючої прямої не впливає на координати зміни значень вихідного коду, то для подальшого аналізу у ряді випадків зручно взяти  $S = m = 1$ .

### Висновок

Якщо значення вагових коефіцієнтів  $q_i$  та розрядних кодів  $a_i$  задані ідеально точно (ідеальний ЦАП), то погрішність характеристики (5) визначається позиційною точністю формування символів вихідного коду  $a_i(x)$ . Це дозволяє замінити багаторозрядний вихідний код реального ВОЦПК еквівалентним за інформативністю одним аналоговим квантованим сигналом  $X_{\text{кв}}(x)$ , одержаним у результаті ідеального цифро-аналогового перетворення «код — координата точки (переміщення)», і застосувати для його дослідження розроблені теоретичні методи [7].

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Фотоэлектрические преобразователи информации* / под ред. Л. Н. Преснухина. — М. : Машиностроение, 1974. — 376 с.
2. *Домрачев В. Г. Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория точности, методы контроля* / В. Г. Домрачев, Б. С. Мейко. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 380 с.
3. *Высокоточные угловые измерения* / Д. А. Аникст, К. М. Константинович, И. В. Меськин и др.; под ред. Ю. Г. Якушенкова. — М. : Машиностроение, 1987. — 480 с.
4. *Вострокнутов Н. Н. Цифровые измерительные устройства. Теория погрешностей, испытания, проверка* / Н. Н. Вострокнутов. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 208 с.
5. *Гречишников В. М. Обобщенная математическая модель оптоэлектронных цифровых преобразователей перемещений со встроенными ВОЛС*

(ОЦПП — ВОЛС) // Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления. Автоматизация-97: Тез. докл. 1 междунар. научн.-теорет. и практ. конф. — Ташкент, 1997. — С. 128–131.

6. *Гречишников В. М. Оптоэлектронные цифровые датчики перемещений со встроенными волоконно-оптическими линиями связи* / В. М. Гречишников, Н. Е. Конюхов. — М. : Энергоатомиздат, 1992. — 160 с.

7. *Островский Л. А. Основы общей теории приборов электроизмерений* / Л. А. Островский. — Л. : Энергия, Ленингр. отд-ние, 1984. — 544 с.

### REFERENCES

1. *Fotoelektricheskie data converters* / Ed. L. N. Presnuchina. — M. : Mashinostroyeniye, 1974. — 376 p.
2. *Domrachev V. G. Digital converters angle : Principles of the theory of precision control methods* / V. G. Domrachev, B. S. Meiko. — M. : Energoatomizdat, 1984. — 380 .
3. *Precision angular measurements* / D. A. Anikst, K. M. Konstantinovich, I. V. Meskin and others, ed. : Y. G. Yakushenkova. — M. : Engineering, 1987. — 480 p.
4. *Vostroknutov N. N. Digital measuring device. The theory of errors, testing, testing* / N. N. Vostroknutov. — M. : Energoatomizdat, 1990. — 208 p.
5. *Grechishnikov V. M. Generalized mathematical model optoelektronnih digital displacement transducers with built VOLS (OTSPP — FOL) // Problems and prospects of industrial automation and control. Automation-97: Tez. dokl. 1 int. nauchn.-theor. and Scient. conf. — Tashkent, 1997. — P. 128–131.*
6. *Grechishnikov V. M. Optoelektronnye digital displacement sensors with built-in fiber-optic communication lines* / V. M. Grechishnikov, N. E. Konju-chov. — M. : Energoatomizdat, 1992. — P. 160.
7. *Ostrovsky L. A. The general theory of devices elektroizmereny* / L. A. Ostrovsky. — Leningrad : Energiya, Leningrad. finton, 1984. — P. 544.