

## РОЗПОДІЛЕНА КОМПЮТЕРИЗОВАНА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ

**С.В. Окоча**

*Національний авіаційний університет, вул Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, тел.  
(044) 406-74-35, e-mail: nau\_307@ukr.net*

*Запропоновано використання багатоканального прийому сигналів волоконно-оптичного міжмодового інтерферометра (МВІ) з метою підвищення точності вимірювань. Розроблена розгалужена вимірювальна схема на основі МВІ для оптичного контролю поверхні.*

*Ключові слова: контроль, волоконно-оптична система, геометрична форма, поверхня деталі, інтерферометр.*

*Предложено использование многоканального приема сигналов волоконно-оптического межмодового интерферометра (МВИ) с целью повышения точности измерений. Разработанная разветвленная измерительная схема на основе МВИ для оптического контроля поверхности.*

*Ключевые слова: контроль, волоконно-оптическая система, геометрическая форма, поверхность детали, интерферометр.*

*There is offered the use of multichannel reception of signals of fibro-optical intermode interferometer with the purpose of increase of exactness of measuring. The developed is ramified measuring chart on the basis of interferometer for optical control of surface.*

*Keywords: control, fibre optical system, geometrical form, surface of detail, interferometer.*

Оптичні системи контролю геометричних розмірів об'єктів у порівнянні з електромеханічними мають більш високу швидкодію. Для контролю виробів з точністю, порівняної з довжиною хвилі світла, надають перевагу використанню явищ інтерференції та дифракції світла.

Високою чутливістю відрізняються датчики інтерферометричного типу, які досліджуються найбільш активно. Одна з особливостей інтерферометричних датчиків використання характеристик напівпровідникового лазера.

У випадку впливу дестабілізуючих факторів на багатомодовий світловід довжиною  $L$  когерентним джерелом із частотою  $\omega$ , на виході світловода виникає плямиста (спекл) картина – як результат інтерференції багатьох мод. Якщо на приймач надходить лише частина випромінювання (плямистої картини) площею  $S$ , то інтенсивність  $I(L, S)$  реєстрованого ним випромінювання можна записати у вигляді [1]:

$$I(L, S) = I_0(1 + \rho_0 + \rho_1), \quad (1)$$

де  $I_0 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N A_i^2 \int_S E_i^2 ds$ ;  $\rho_0 = \frac{1}{I_0} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \cos \psi_{ik}^0$   
при  $i \neq k$  - постійна складова;

$$\rho_1 = \frac{1}{I_0} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \cos \psi_{ik}^0 \delta \psi_{ik} \quad \text{при}$$

$i \neq k$  – сигнальна складова.

У формулі (1) різниці фаз інтерферуючих мод  $\psi_{ik}$  представлені у вигляді двох, що складаються  $\psi_{ik} = \psi_{ik}^0 + \delta \psi_{ik}$ . Доданок  $\psi_{ik}^0$  – аквазістатична частина різниць фаз мод, пов'язана з параметрами мод і зовнішніх умов світловода (температура, тиск і т.д.), зміни яких визначають фединг сигналу міжмодового волоконного інтерферометра (МВІ). Величини  $\delta \psi_{ik}$  визначаються швидкодіючими впливами на волокно  $i$ , як правило, є незначними ( $\delta \psi_{ik} \ll 1$ ).

Розглянемо лише складову  $\rho_1$ , оскільки вона містить інформацію про впливи й може бути легко виділена із сигналу (1) за допомогою фільтрації в діапазоні робочих частот.

Складова  $\delta \psi_{ik}$  обумовлена двома причинами:

- 1) сигнальними впливами, які необхідно виміряти;
- 2) паразитними збурюваннями волокна, що попадають у частотний діапазон корисних сигналів.

Таким чином, отримуємо:  $\delta\psi_{ik} = \delta\psi_{ik}^S + \delta\psi_{ik}^n$ .

Величину сигнального впливу позначимо через  $S$ , а сукупну величину впливів завод через  $n$ . Тоді складову  $\rho_1$  сигналу МБІ можна представити у вигляді двох доданків:

$$\rho_1 = K_S S + K_n n = \rho_S + \rho_n, \quad (2)$$

де коефіцієнти  $K_S$  та  $K_n$  обчислюються за формулами:

$$K_S = \frac{1}{l_0} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \left( A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \sin \psi_{ik}^0 \cdot K_{ik}^S \right), \quad (3)$$

$$K_n = \frac{1}{l_0} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \left( A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \sin \psi_{ik}^0 \cdot K_{ik}^n \right).$$

У формулах (3) введені коефіцієнти чутливості різниці фаз мод до впливів:  $K_{ik}^S = (S\psi_{ik}^S / S)$ ,  $K_{ik}^n = (S\psi_{ik}^n / n)$ .

Розглянемо розгалужену вимірювальну систему на основі міжмодового волоконно-оптичний інтерферометра для оптико-цифрової системи, яка контролює елементи поверхні деталі, до яких доходить світлова хвиля [1]. Принципова схема системи з використанням міжмодового волоконно-оптичного інтерферометра для оптичного контролю поверхні (рис. 1) включає: 1 – джерело лазерного випромінювання; 2 – волоконно-оптичний розгалужувач; 3 – активне оптичне волокно; 4 – багатомодовий волоконно-оптичний сенсор; 5 – об’єкт, поверхня якого підлягає контролю; 6 – фотоприймальна матриця; 7 – блок обробки сигналів (на основі персонального комп’ютера).

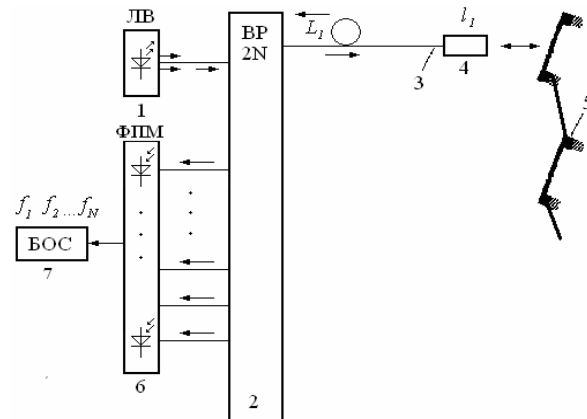
Поле світлового пакета, що розповсюджується в світловоді, представлено в наступному вигляді:

$$E(t, r, z) = \frac{1}{2} \{ eA(t, z)U(r) \times \exp[i(\omega_0 t - \beta' z)] + \text{компл.узгодж.} \},$$

де  $e$  - ортогональна поляризація моди;  $U(r)$  - профільна функція, що описує розподіл поля моди по перетину світловода;  $\omega_0$  - несуча частота введеного хвильового пакету.

Випромінювання лазера накачування за допомогою багатомодового волоконного розгалужувача направляється у відповідний відрізок активного світловоду (на рис. 1 позначено стрілками). У якості дихроїчного дзеркала, що має великий коефіцієнт відбиття

на лінії генерації лазера  $\lambda_S$  і пропускання на довжині хвилі випромінювання лазера накачування  $\lambda_F$ , може застосовуватися Брегівський відбивач, сформований безпосередньо у світловоді. На основі вузькосмугової оптичної фільтрації інтерферометра виконується виділення сигналу [2], після обробки якого визначаються координати точок поверхні.



**Рисунок 1 – Розгалужена вимірювальна система на основі міжмодового волоконно-оптичного інтерферометра для оптичного контролю форми поверхні об’єкта**

Для розгляду переваг багатоканального прийому введемо простий принцип ухвалення рішення про реєстрацію впливу на МБІ: якщо модуль вихідного сигналу (у робочій смузі частот) перевищує деякий заданий рівень  $X_0$ , то фіксується наявність впливу на світловід.

Зміни  $\delta\psi_{ik}^0$  від зовнішніх умов [3] визначаються змінами параметрів світловода, процесами взаємодії мод і подвійного променезаломлення та на практиці в кожний даний момент є фактично непередбаченими, тобто можуть бути представлені як випадкові величини. Тому, використовуючи центральну граничну теорему при великому числі подвійних сум, що складаються в (3), значення  $K_S$  і  $K_n$  у конкретний момент часу можна описати незалежними випадковими величинами, при нормальному законі розподілу з нульовим середнім і деякою дисперсією  $\sigma_K^2$ .

Корисний вплив  $S$  вважається регулярним, а  $n$  у момент виміру також може бути представлено центрованою гаусовою випадковою величиною з дисперсією  $\sigma_n^2$ . Тоді складова  $\rho_S$  в (2) представляється гаусовою

випадковою величиною із середнім квадратичним відхиленням  $\sigma = S\sigma_K$ .

Для спрощення міркувань і більшої їх наочності вважаємо, що  $S$  і  $n$  мають одну розмірність, і введемо параметр  $A^2 = S^2/\sigma_n^2$ , що має сенс у відношенні до потужності віношення сигнал/шум для впливу на міжродовий волоконно-оптичний інтерферометр (МВІ). У протилежному випадку необхідне введення більш складного й менш наочного параметра, що характеризує рівні завад та корисного впливу, але сутність результатів від цього не зміниться. Тоді значення складової  $\rho_n$  представляється добутком незалежних гаусових величин  $n$  і  $K_n$ , а дисперсія  $\sigma = S\sigma_K = A\sigma_n\sigma_K$ .

При відсутності сигнального впливу, тобто  $S = 0$  (присутні тільки завади), значення модуля вихідного сигналу МВІ  $x^{(0)}$  задається тільки модулем від складової завад  $x^{(0)} = |\rho_n|$ . Якщо значення  $x^{(0)}$  перевищить поріг  $X_0$ , відбудеться помилкове спрацювання вирішальної системи – “викид” складової завад прийнятий за результат інформативного впливу. При наявності впливу  $S$  значення сигналу МВІ  $x^{(S)}$  визначається модулем  $x^{(S)} = |\rho_S + \rho_n|$ . У цьому випадку помилкове рішення – “втрата сигналу” – може відбутися, якщо значення  $x^{(S)}$  виявиться меншим від  $X_0$ :

$$\begin{cases} S = 0, & x^{(0)} = |\rho_n| = |K_n n| \\ & x^{(0)} < X_0 - \text{вірно}, \quad x^{(0)} > X_0 - \text{помилка}; \quad (4) \\ S \neq 0, & x^{(S)} = |\rho_S + \rho_n| = |\rho_S + K_n n| \\ & x^{(S)} > X_0 - \text{вірно}, \quad x^{(S)} < X_0 - \text{помилка}. \end{cases}$$

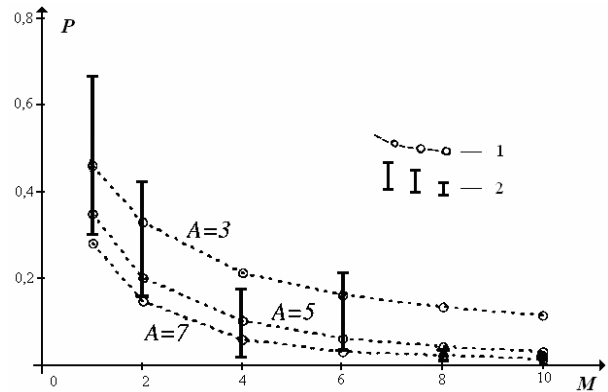
У випадку багатоканального прийому з підсумовуванням модулів сигналів  $M$  фотодіодів ситуація аналогічна, але значення сигналу МВІ тоді описується більш складною комбінацією випадкових величин:

$$\begin{cases} S = 0, & x^{(0)} = \sum_{i=1}^M |K_n n| \\ & x^{(0)} < X_0 - \text{вірно}, \quad x^{(0)} > X_0 - \text{помилка}, \quad (5) \\ S \neq 0, & x^{(S)} = \sum_{i=1}^M |\rho_S + K_n n| \\ & x^{(S)} > X_0 - \text{вірно}, \quad x^{(S)} < X_0 - \text{помилка}, \end{cases}$$

де  $\rho_S^i$ ,  $K_n^i$ ,  $n$  — незалежні центровані гаусові випадкові величини із середніми квадратичними відхиленнями  $\sigma$ ,  $\sigma_K$ ,  $\sigma_n = \sigma/(A \cdot \sigma_K)$  відповід-

но (при цьому обумовлюється, що умови діафрагмування і рівні коливань інтенсивності для фотоприймачів рівноцінні).

Графік залежності імовірності помилки від кількості фотоприймачів представлено на рис. 2.



1 – за теоретичними розрахунками; 2 – за експериментом (розкид визначається урахуванням всіх можливих комбінацій із  $M$  приймачів при  $M \neq 0$ )

**Рисунок 2 – Імовірність  $P$  помилки при реєстрації впливу на МВІ в залежності від числа каналів фотоприймача**

Дані, які отримані від виміральної системи, дозволяють контролювати форму і розміри деталі. Датчики фіксують поверхню об'єкта у вигляді масиву чисел (точок), елементи якого характеризують інтенсивність світлового потоку.

## ВИСНОВКИ

Використання багатоканального методу прийому сигналів міжродового інтерферометра підвищує точність обробки результатів вимірювання за рахунок зниження імовірності похибки розпізнавання сигналів завад інтерферометра як інформаційних.

1. Письма в ЖТФ / [О.И. Котов, Л.Б. Лиокумович, С.И. Марков и др.] // - 1999. - Т. 25. - В. 12. - С. 44-50.
2. Квантовая электроника / Б.А. Усиевич, В.А. Сычугов, О. Парье, Д.Х. Нурлигарев // 33. - №8, (695) - 2003.
3. Письма в ЖТФ / [Л.И. Косарева, О.И. Котов, Л.Б. Лиокумович и др.]. - 2000. - Т. 26. - В. 2. - С. 53-63

Поступила в редакцію 09.12.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Квасніков В.П.

