

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТУ

Окоча Сергій Васильович

УДК 531.7:004.9

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

Заслужений метролог України,
доктор технічних наук, професор
Квасніков Володимир Павлович,
Національний авіаційний університет,
завідувач кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кучерук Володимир Юрійович,
завідувач кафедри метрології та
промислової автоматики,
Вінницький національний
технічний університет;

кандидат технічних наук, доцент
Бессіда Світлана Валеріївна,
доцент кафедри інформаційних систем та
медичних технологій,
Черкаський національний університет
ім. Богдана Хмельницького.

Захист відбудеться “ 19 ” 11 2015 р. о 10 00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.04 Державного економіко-технологічного університету транспорту за адресою: 03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Державного економіко-технологічного університету транспорту за адресою 03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19.

Автореферат розісланий “ 15 ” 10 2015р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

О.А. Герцій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. На даному етапі розвитку комп'ютерних інформаційно-вимірювальних систем геометричних розмірів об'єктів все більшою стає частка систем, які використовують безконтактні оптичні методи вимірювань. Широке використання вказаних технологій, які призводять до детального вимірювання геометричних параметрів, можливість функціонування в умовах інтенсивних промислових завод, фізичних та механічних впливів, зниження масогабаритних показників, підвищення швидкодії та точності, бездротового обміну даними, тривалої роботи компонентів системи від блоків живлення ставить завдання пошуку нових рішень на методичному, структурному та алгоритмічному рівнях при створенні безконтактних систем вимірювання геометричних параметрів об'єктів.

Одним із перспективних напрямків вирішення даної проблеми є використання оптичних вимірювальних систем інтерферометричного типу, лазерних скануючих систем та систем світлового перетину. Аналіз науково-технічної літератури показує, що питанню використання оптичних вимірювальних систем геометрії об'єктів присвячено багато робіт вітчизняних та закордонних вчених.

Застосування безконтактних методів вимірювання з використанням волоконно-оптичних засобів дає можливість: підвищення швидкодії проведення вимірювань та контролю геометрії об'єктів, отримання тривимірних моделей складних поверхонь та їх розмірних лінійних величин, підвищення заводо захищеності від промислових завод, використання волоконно-оптичних ліній в якості ліній передачі та прийому.

Відповідно, задача розробки та дослідження нових підходів з питань реалізації оптичних вимірювальних комп'ютерних систем і пристроїв, спрямованих на підвищення швидкості, точності та заводо захищеності обміну даними за допомогою волоконно-оптичних систем, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Розробка основних положень дисертаційної роботи проводилася відповідно до плану дослідних робіт Національного авіаційного університету в рамках держбюджетних науково-дослідних тем:

- науково-дослідна робота № 392-ДБ07 "Методологія та системи інтелектуального керування екстремальними робототехнічними комплексами" (№ державної реєстрації 0107U002818), у якій автор співвиконавець першого та другого етапів НДР.

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження полягає в розробці волоконно-оптичних датчиків розподіленої безконтактної комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи геометричних параметрів об'єктів, які підвищують швидкодію та метрологічні характеристики.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- на основі системного аналізу сучасних безконтактних оптичних методів та засобів вимірювання геометричних розмірів об'єктів, окреслити місце волоконно-оптичних датчиків для високоточних вимірювань для вдосконалення компонентів комп'ютеризованих вимірювальних систем;

- уточнити моделі формування розподілу інтенсивності світлового потоку волоконно-оптичних вимірювальних датчиків;
- провести оптимізацію математичних моделей волоконно-оптичних датчиків вимірювання переміщень шляхом введення параметричної моделі функції перетворення з урахуванням впливу конструктивних параметрів;
- удосконалити математичну модель передачі інформаційних потоків комп'ютеризованої вимірювальної системи;
- розробити структурну схему комп'ютеризованої вимірювальної системи з використанням волоконно-оптичних вимірювальних датчиків.

Об'єктом дослідження є процеси, які відбуваються у волоконно-оптичних датчиках при вимірюванні геометричних величин вимірюваних об'єктів волоконно-оптичними датчиками, що використовуються безконтактними інформаційно-вимірювальними системами.

Предметом дослідження є безконтактні оптичні методи та засоби формування і обробки багатопозиційних оптичних вимірювальних сигналів.

Методи дослідження базуються на теорії оптичних безконтактних систем, методів планування експериментів, теорії комп'ютерних систем, теорії комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці й обґрунтуванні моделей комп'ютеризованих систем контролю геометричних параметрів об'єктів зі складною просторовою поверхнею підвищеної точності і продуктивності, що реалізовано в отриманні таких наукових результатів:

вперше застосовано метод вимірювання геометричних параметрів деталей комп'ютеризованою волоконно-оптичною інформаційно-вимірювальною системою, який відрізняється від існуючих врахуванням зміни інтенсивності відбитого лазерного випромінювання від кута падіння променя, що сприяє підвищенню достовірності контролю параметрів деталей в реальному часі;

набула подальшого розвитку математична модель комп'ютеризованих волоконно-оптичних інформаційно-вимірювальних систем, яка, на відміну від традиційних, відрізняється забезпеченням необхідної відповідності між реальними енергоінформаційними процесами, які протікають у вимірювальних каналах волоконно-оптичних систем, і їх математичними моделями, що дозволяє знизити імовірність виникнення спотворень інформаційних сигналів в умовах дії дестабілізуючих факторів;

вдосконалено методи автоматизованого контролю геометричних параметрів високоточних деталей з використанням комп'ютеризованих волоконно-оптичних інформаційно-вимірювальних систем, які, на відміну від існуючих, відрізняються тим, що базуються на врахуванні зміни вектора чутливості та раціональному методі контролю поверхні деталі волоконно-оптичними інтерферометрами і дозволяють отримувати достовірну інформацію про геометричні параметри деталей.

Достовірність отриманих результатів обґрунтована результатами експериментальних досліджень, коректним використанням математичного апарату та моделювання на ПК.

Практичне значення одержаних результатів Отримані результати стали основою для побудови високоефективних розподілених волоконно-оптичних та комбінованих безконтактних комп'ютерних вимірювальних систем геометричних параметрів об'єктів.

Практичну цінність мають такі результати:

розроблено розподілену автоматизовану інформаційно-вимірювальну систему контролю деталей з використанням волоконно-оптичних вимірювальних підсистем;
отримано результати експериментальних досліджень щодо точності вимірювання геометричних параметрів деталей, перевірки аналітичних залежностей похибки вимірювання, що підтвердило ефективність запропонованих методів;

розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему геометричних параметрів об'єктів з використанням волоконно-оптичних вимірювальних датчиків, яка може бути використана як зразкова для вимірювання геометричних параметрів деталей на промислових підприємствах України та дозволяє зменшити час обробки інформації більш як на 32% під час ідентифікації об'єктів вимірювання;

впроваджено в практику математичні моделі волоконно-оптичних датчиків ІВС геометричних параметрів деталей з точністю до 200 нм, які дозволяють здійснювати обробку інформації в реальному часі.

Отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних автором, були впроваджені в ЗАТ «ТЕМіО» (м. Київ Україна), що підтверджено відповідним актом про впровадження.

Результати дисертаційних досліджень використовуються в навчальному процесі Національного авіаційного університету на кафедрі радіоелектронних пристроїв та систем при читанні лекцій з курсу “Оптоелектроніка та фотоніка”, при проведенні лабораторних, практичних і науково-дослідних робіт студентів.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною завершеною роботою здобувача. Наукові результати і практичні розробки, що містяться в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно.

У статтях, написаних у співавторстві, **особистий внесок автора** полягає у наступному: [1] – розроблено структуру комп'ютерної волоконно-інтерферометричної системи контролю геометрії поверхні деталей; [2] – розроблено модель комп'ютеризованої лазерної вимірювальної системи для вимірювання високоточних деталей; [3] – розроблено математичну модель волоконно-оптичного вимірювального датчика; [6] – розроблено модель формування модифікованої інформації в комп'ютерних розподілених волоконно-оптичних вимірювальних системах; [7] – застосовано математичні моделі передачі оптичних інформаційних потоків комп'ютерних вимірювальних систем; [8]– розроблено метод імітації завад лазерним вимірювальним засобам дальнометрії.

Автору належать викладення основних аналітичних співвідношень, розробка структури складних моделей, опис алгоритмів функціонування основних блоків та методика їх використання. Задача побудови розподіленої оптичної вимірювальної системи, побудови стійкої до завад волоконно-оптичної лінії передачі та прийому

даних у якості каналу зв'язку, підвищення швидкодії та точності вирішена автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи і основні наукові положення доповідались на 14 міжнародних науково-технічних конференціях: науково-технічна конференція студентів та молодих вчених «Політ 2006» (НАУ, 2006, Київ); V міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи» (НТУУ «КПІ», 2006), VII міжнародної науково-технічної конференції «Авіа – 2006» (НАУ, 2006, Київ); V міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія та вимірювальна техніка» (ННЦ „Інститут метрології”, Метрологія – 2006, м. Харків); VIII міжнародної науково-технічної конференції «Авіа – 2007» (НАУ, 2007, Київ); науково-практичній конференції молодих учених та аспірантів «Інтегровані інформаційні технології та системи» (НАУ, 2007, Київ); міжнародної науково-технічної конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (ХАІ, 2007, Харків), VII міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи» (НТУУ «КПІ», 2008), II міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негауссівських процесів» (ЧДТУ, 2009, Черкаси); II міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (НАУ, 2009, Київ); IX міжнародної науково-технічної конференції «Авіа – 2009» (НАУ, 2009, Київ); науково практичній конференції «Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах» (НАУ, 2010, Київ); III міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негауссівських процесів» (ЧДТУ, 2011, Черкаси); IV міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (НАУ, 2011, Київ).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 24 наукових працях, серед яких 9 – у фахових наукових виданнях України, серед яких одна стаття у фаховому науковому виданні України “Наукоємні технології”, яке включено до міжнародних наукометричних баз: Simle Search Metadata (SSM), Research Bible, Citefactor, Sjournals Index, Universal Impact Factor, Directory of Research Journal Indexing (DRJI), Ulrichsweb global serials directory, 1 патент України на користну модель, та 14 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, що містять основні результати дослідження, списку використаних джерел із 158 найменувань, 4 додатків, 47 рисунків та 5 таблиць – всього на 156 сторінках. Основний текст дисертації викладено на 120 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета та завдання наукового дослідження, визначено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів роботи, зв'язок її з науковими програмами та планами НДР, здійснено огляд використаних методів досліджень, визначено особистий внесок здобувача у надрукованих роботах, представлена інформація щодо апробації та публікації результатів дисертації, наводяться результати реалізації та впровадження основних положень роботи.

У **першому розділі** виконано аналітичний огляд робіт в області систем

контролю геометричних параметрів об'єктів зі складною просторовою поверхнею.

В промисловій практиці сьогодення широко використовуються комп'ютерні інформаційно-вимірювальні системи контролю та вимірювання геометричних розмірів об'єктів, що представляють собою ряд як наукових, так і інженерно-технічних задач. Подальший розвиток оптичної техніки дозволяє замінити контактні методи вимірювання об'єктів в промисловості.

Питанням підвищення точності координатно-вимірювальних систем, оптимізації процесу вимірювання дослідження точності, компенсації систематичних похибок і адаптації в робототехніці швидкодії та точності в умовах дії дестабілізуючих факторів зовнішнього та внутрішнього середовища системи присвячено цілий ряд наукових робіт. Задачі, що виникають в сучасних безконтактних вимірювальних системах, у зв'язку із підвищенням вимог до роботи в реальному часі, розв'язуються за допомогою обчислювальних систем із використанням ПК, тому перспективним напрямком підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем для вимірювання деталей є використання волоконно-оптичних датчиків інтерферометричного типу.

У зв'язку з цим, в даному розділі проведено аналітичний огляд методів вимірювання об'єктів, обґрунтовано актуальність науково-технічної задачі та сформульовані напрямки дослідження даного дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** проведено комплексний аналіз та синтез методів побудови волоконно-оптичних вимірювальних датчиків, досліджені питання теорії побудови і їх технічної реалізації. На основі принципів роботи волоконно-оптичних датчиків побудовано графічні моделі розподілу інтенсивності світлового потоку. Проведено оптимізацію основних критеріїв конструктивних параметрів волоконно-оптичних датчиків (ВОД), визначено функції перетворення лінійного та ступінчатого виду. Виконано геометричну побудову аналітичних залежностей і структурних схем диференційного та компенсаційного типів ВОД.

При проектуванні ВОД на метрологічні характеристики суттєво впливають геометричні параметри оптичного каналу відповідно на функцію перетворення, яка, в свою чергу, повинна бути максимально лінійною. Недоліками моделей, основаних на апроксимації експериментальних даних, є вплив конструктивних параметрів на функцію перетворення, які аналізуються повним перебором значень конструктивних параметрів та неможливість створення ФП із заданими параметрами, внаслідок чого метрологічні характеристики мають емпіричний характер.

Для усунення вказаних недоліків необхідно використовувати параметричну модель функції перетворення виду $f_i(X, U)$ (U – вектор параметрів оптичної системи ВОД), яка дозволяє синтезувати функцію перетворення з заданими параметрами, враховуючи конструктивні особливості.

Модель розподілу інтенсивності світлового потоку (СП) в просторі оптичної системи ВОД в дальній зоні дифракції в якості базової застосовано модель Д.В.Кізеветтера у вигляді полого усіченого конуса.

Інтенсивність випромінювання та поляризаційні характеристики випромінювання визначаються виразом $I(x, y) \propto \langle E_x E_x^* \rangle \propto \langle E_y E_y^* \rangle$.

Для ефективного вводу СП в зону перетворення оптичного сигналу ВОД побудовано структуру променя, сформованого випромінюючим торцем підвідного оптичного волокна (ПОВ). Поперечний переріз променя має кругову та кільцеві зони. При проходженні СП по оптичному волокну потік стає симетричним відносно оптичної осі, при цьому кожна точка торця ОВ випромінює світловий потік у вигляді пологого конусу, кут при вершині якого рівний $2\Theta_{NA}$.

Графічна модель розподілу інтенсивності СП в різних перерізах в залежності від X_i (рис. 1) матиме вигляд: а) в перерізі А–А при $0 < X_1 < \tau_{кр}$, б) в перерізі Б–Б при $X_2 = \tau_{кр}$, в) в перерізі В–В $X_3 > \tau_{кр}$ (рис. 2).

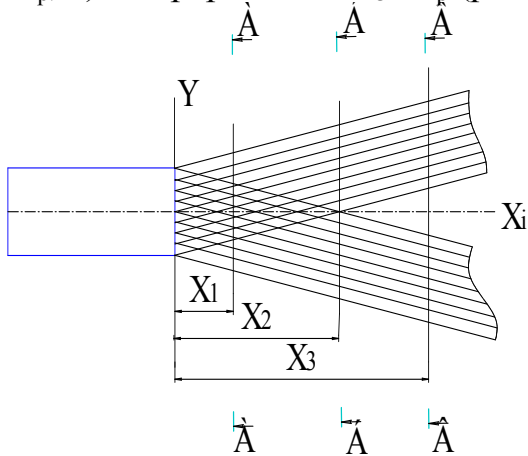


Рис. 1. графічна модель формування світлового потоку

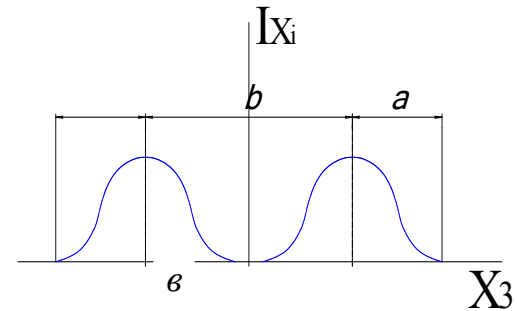
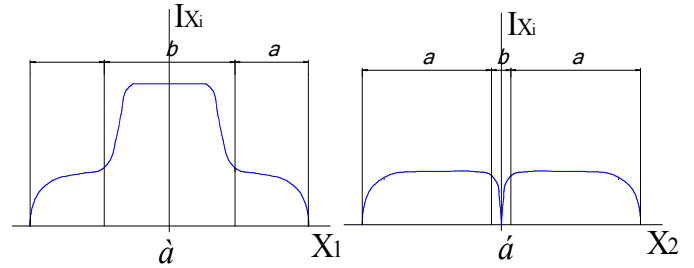


Рис. 2. Розподіл інтенсивності світлового потоку в різних перерізах

Основні критерії оптимізації конструктивних параметрів ВОД для визначення функції перетворення, вектор критеріїв має вигляд $\vec{\mu} = [\mu_1, \mu_2, \mu_3] \in T$, де μ_1 — умовні лінійності або умова функції індикатора; μ_2 — умова чутливості; μ_3 — умова модуляції.

Умовна лінійність μ_1 визначає загальний вигляд функції перетворення двох видів: а) лінійна функція перетворення $\hat{O}(X) = kX + b$, тобто коефіцієнт кореляції $\rho_{\hat{O}, X}$ між значеннями вимірюваної фізичної X величини та значеннями вихідного

сигналу \hat{O} визначається виразом $|\rho_{\hat{O}, X}| = \left| \frac{\rho_{\hat{O}, X}}{\sigma_{\hat{O}} \sigma_X} \right| = 1$, де $\rho_{\hat{O}, X}$, $\sigma_{\hat{O}}$, σ_X — коефіцієнт

коваріації, середньоквадратичні відхилення двох числових послідовностей відповідно; б) функція перетворення ступінчатого виду

$$\left\{ \begin{array}{l} \lim_{\square \rightarrow 0} \left| \frac{\lim_{X \rightarrow X_{\hat{\square}}} \square (X)}{\lim_{X \rightarrow X_{\hat{\square}}} \square (X)} \right| \square \tilde{n} \neq 1, \tilde{n} \equiv \text{const} \neq 0, \\ \frac{d\square}{dX} \equiv 0, X \neq X_{\hat{\square}}, \end{array} \right.$$

де $X_{\hat{\square}}$ критичне значення вимірюваної величини, при якому спрацьовує ВОД та являється точкою розриву першого роду зі стрибком c .

Умова чутливості ВОД \square_2 має вид:

| | |
|---|---|
| <p>а) для лінійної функції розподілу</p> $k \square \left \frac{d\square}{dX} \right \rightarrow \max;$ | <p>б) для ступінчатої функції розподілу</p> $\lim_{\square \rightarrow 0} \left \frac{\lim_{X \rightarrow X_{\hat{\square}}} \square (X)}{\lim_{X \rightarrow X_{\hat{\square}}} \square (X)} \right \square c \rightarrow \max.$ |
| <p>\square_3 визначає</p> $h \square \frac{ \hat{O}(X_{\square}) \square \hat{O}(X_{\square}) }{\max(\hat{O}(X_{\square}) , \hat{O}(X_{\square}))} \rightarrow \max.$ | <p>глибину модуляції</p> |

При вирішенні задачі моделювання оптичної системи ВОД необхідно визначити конструктивні параметри $U^* (U_1^*, U_2^*, \dots, U_m^*) \in T_U$, які задовольняють систему обмежень

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\square}^{(1)} \leq U_1^* \leq U_{\square}^{(1)} \\ U_{\square}^{(2)} \leq U_2^* \leq U_{\square}^{(2)} \\ \dots \\ U_{\square}^{(m)} \leq U_m^* \leq U_{\square}^{(m)} \end{array} \right.$$

Допустима похибка виготовлення $\square_i \square |U_{\square}^{(i)} \square U_{\square}^{(i)}|, i \square 1, 2, \dots, m$, де $U_{\square}^{(i)}, U_{\square}^{(i)}$ границі довірчих інтервалів для шуканих конструктивних параметрів із заданою надійністю $\square_{U^*}^i, i \square 1, 2, \dots, m$. Відповідно функція перетворення $\hat{O} \square f(X, U)$ повинна задовольняти умовам $\square^* \square [\square_1^*, \square_2^*, \square_3^*]$ які є допустимими значеннями критеріїв оптимізації, які задовольняють систему нерівностей

$$\square_i \square \leq \square_i^* \leq \square_i \square, i \square 1, 2, 3, \text{ або } \left\{ \begin{array}{l} \square_1 \square \leq \square_1^* \leq \square_1 \square \\ \square_2 \square \leq \square_2^* \leq \square_2 \square \\ \square_3 \square \leq \square_3^* \leq \square_3 \square \end{array} \right.$$

Із заданою надійністю $\square_i, i \square 1, 2, 3, \square_i, \square_i, \square_i \square 1, 2, 3$ – довірчі інтервали для відповідних умов.

Узагальнені структурні схеми диференціального та компенсаційного ВОД з відкритим оптичним каналом показано на рис. 3. ПОК – підвідний оптичний канал; ВОК1, ..., ВОКС – відвідні оптичні канали; МЕ – модулюючий елемент; $X(x_1, x_2, \dots, x_4)$ – вектор вимірюваних фізичних величин; $U(u_1, u_2, \dots, u_m)$ – вектор керованих параметрів (конструктивних параметрів ВОД); $f(\cdot)$ – функція перетворення ВОД.

Функція перетворення визначається відношенням $\hat{O} \square \sum_{k \square 1}^S \hat{O}_s$,

де $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s$ – світловий потік на ВОК1, ВОК2, ..., ВОКС відповідно.

Введена функція аналізатор $\phi(\cdot)$, яка визначається із заданої задачі. В загальному випадку вона розглядається як векторна функція $\square \square \square_1, \square_2, \dots, \square_s \square$ де $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_s$ оцінюють власні перетворення над світловими потоками на ВОК1, ВОК2, ..., ВОКС відповідно.

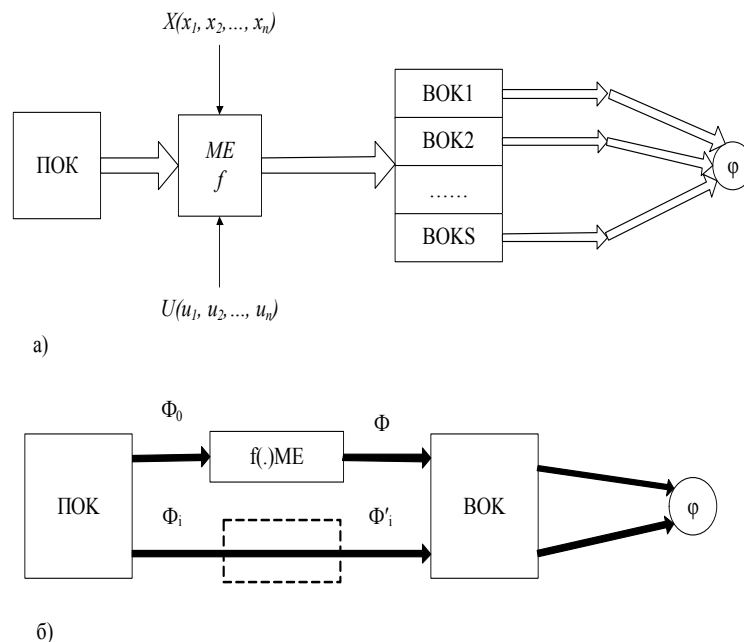


Рис. 3 – Структурні схеми диференційного (а) та компенсаційного (б) типів ВОД з оптичними каналами

У **третьому розділі** вдосконалено і досліджено математичну модель передачі інформаційних потоків комп'ютеризованої вимірювальної системи геометричних параметрів, що забезпечило підвищення точності і продуктивності виконання операції вимірювання складних об'єктів. Розроблено структурну схему комп'ютеризованої вимірювальної системи з використанням волоконно-оптичних датчиків вимірювання форми поверхні об'єктів та системи керування рухом приводу слідкуючого волоконно-оптично датчика.

В дисертаційній запропоновано узагальненої математичної моделі волоконно-оптичних цифрових перетворювачів коду (ВОЦПК). Як видно із структурних схем перетворювачів (рис. 4, 5), що працюють в режимах випромінювання, та передачі пройденого і відбитого світлового потоку, ВОЦПК містить три окремі функціональні блоки: 1–блок формування і перетворення оптичних сигналів

багатоканального волоконно-оптичного інтерферометра (БФПСІ); 2–блок компараторів (БК), що реалізує аналого-дискретне перетворення вихідних сигналів БФПСІ; 3–блок перетворення цифрових сигналів (БПЦС).

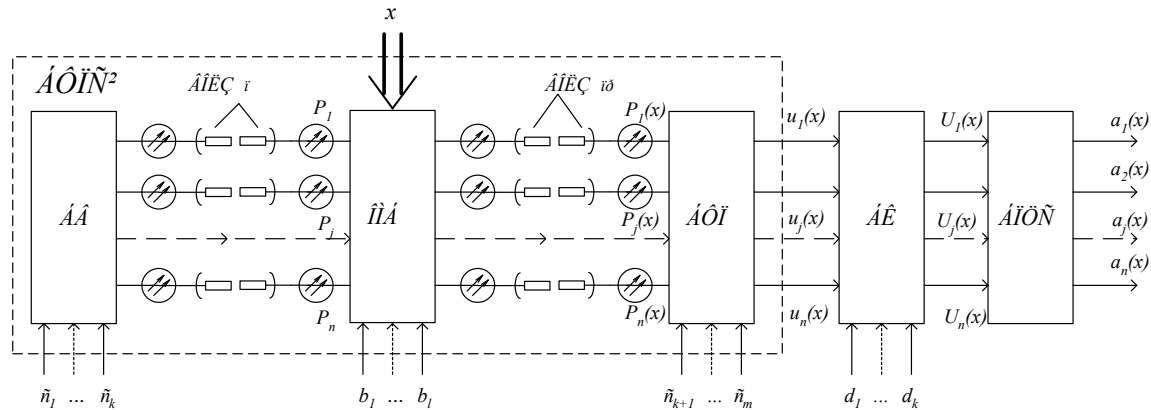


Рис. 4. Узагальнена структурна схема екранного типу: БВ – блок випромінювання; ОМБ – оптико-механічний блок; БФП – блок фотопідсилювачів; $\{c_i\}$, $\{b_i\}$, $\{d_i\}$ – множини конструктивних та зовнішніх факторів; ВОЛЗ_п, ВОЛЗ_{пр} – передавальна та приймальна частини волоконно-оптичної лінії зв’язку

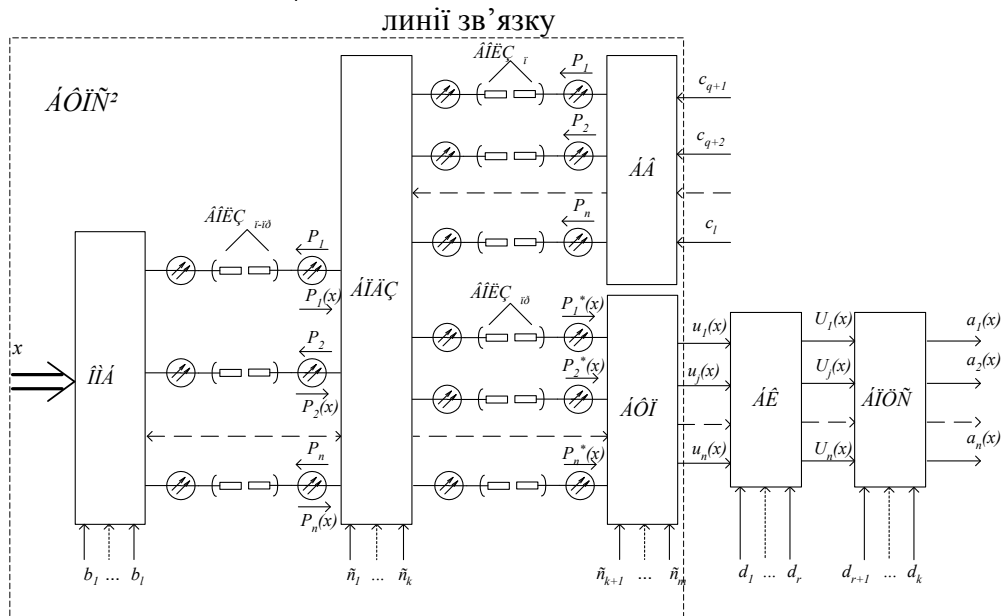


Рис. 5. Узагальнена структурна схема ВОЦПК відбиваючого типу: БВ – блок випромінювача; ОМБ – оптико-механічний блок; БПДЗ – блок пристроїв двонаправленого оптичного зв’язку; БФП – блок фотопідсилювачів; $\{c_i\}$, $\{b_i\}$, $\{d_i\}$ – множини конструктивних та зовнішніх факторів; ВОЛЗ_{п-пр}, ВОЛЗ_п – приймально-передавальна та передавальна частини волоконно-оптичної лінії зв’язку відповідно

Результат аналого-цифрового перетворення, що реалізується у ВОЦПК, можна представити у вигляді кодового вектора розмірності n : $a \square (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \in Ma$, де Ma - безліч таких 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 в результаті підсумовування значень кожного символу a_i з відповідним ваговим коефіцієнтом q_i

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

У реальних перетворювачах символу a_i відповідають певні значення електричної напруги і тому $[a_i] \square u$. Десятковий еквівалент кодової комбінації в реальних ВОЦПК має розмірність електричної напруги, чисельне значення якої визначене в десятковій системі числення

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

При включенні на вихід ВОЦПК лінійного цифроаналогового перетворювача (ЦАП), що перетворює вихідний код ВОЦПК в пропорційний аналоговий квантований сигнал електричної напруги $u_{\hat{e}\hat{a}}$. Вихідний сигнал ЦАП рівний

$$u_{\hat{e}\hat{a}} \square m \sum_{i=0}^n a_i q_i , \quad (3)$$

де m — безрозмірний коефіцієнт пропорційності, що визначається значенням опорної напруги ЦАП. При порівнянні (2) і (3) видно, що при $m \square 1$, $u_{\hat{e}\hat{a}} \square u_N$. Оскільки операція визначення N по (1) є лінійною по відношенню до кодових комбінацій на виході ВОЦПК, то сигнал u_N , а отже, і $u_{\hat{e}\hat{a}}$ відображає вихідний код ВОЦПК. При $a_i \square a_i(x)$ отримуємо вираз

$$u_{\hat{e}\hat{a}}(x) \square \sum_{i=0}^n a_i(x) q_i , \quad (4)$$

який визначає закон зміни вихідного сигналу ЦАП у функції від вхідного переміщення x . Для приведення вихідного сигналу ЦАП до розмірності вхідної величини його необхідно лінійно перетворити з коефіцієнтом пропорційності.

В результаті одержуємо

$$X_{\hat{e}\hat{a}}(x) \square mS \sum_{i=0}^n a_i(x) q_i . \quad (5)$$

Оскільки крутизна нормуючої прямої не впливає на координати зміни значень вихідного коду, то для подальшого аналізу у ряді випадків зручно прийняти $S \square m \square 1$. Якщо значення вагових коефіцієнтів q_i та розрядних кодів a_i задані ідеально точно, то похибка характеристики (5) визначається позиційною точністю формування символів вихідного коду $a_i(x)$.

Відповідна структурна схема комп'ютеризованої вимірювальної системи геометричних параметрів об'єктів з волоконно-оптичними датчиками на основі міжмодового волоконного інтерферометра зображено на рис. 6.

Міжмодовий волоконний інтерферометр (МВІ) використовується як розподілена в просторі вимірювальна система під дією зовнішніх впливів різного характеру, серед яких завжди існують як корисні (сигнальні), так і неінформативні впливи.

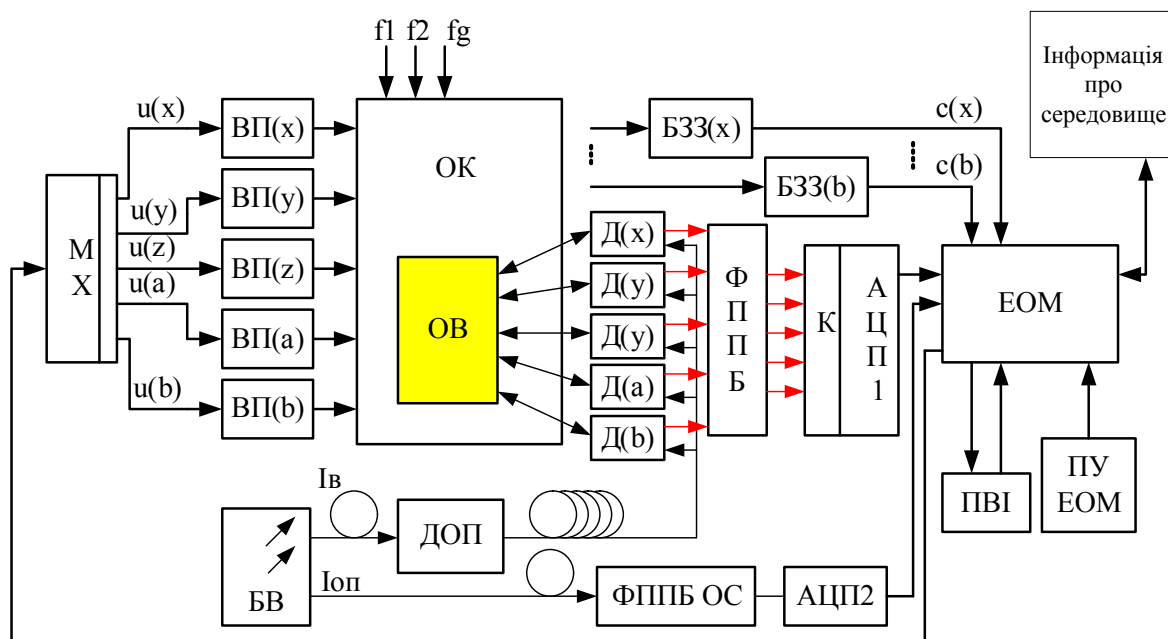


Рис. 6. Структурна схема комп'ютеризованої вимірювальної системи геометричних параметрів об'єктів з волоконно-оптичними датчиками

До складу системи входять наступні елементи: МХ - мультиплексор; $u(x), \dots, u(b)$ - сигнали керування виконуючими пристроями осей (x, y, z, a, b) ; ВП $(x), \dots, ВП(b)$ - виконуючі пристрої осей (x, y, z, a, b) ; БВ - блок випромінювання (оптичного потоку); I_v - оптичний потік випромінювання вимірювального каналу; I_{op} - опорний оптичний потік випромінювання; f_1, f_2, \dots, f_g - сукупність параметрів завод; ОК - об'єкт керування (установочний стіл для об'єкту вимірювання); ОВ - об'єкт вимірювання; ДОП - дільник оптичного потоку; Д $(x), \dots, Д(b)$ - волоконно-оптичні датчики; ФППБ - фотоприймальний підсилювальний блок, ФППБ ОС - фотоприймальний підсилювальний блок опорного сигналу; БЗЗ $(x), \dots, БЗЗ(b)$ - блоки зворотного зв'язку положення осей (x, y, z, a, b) ; $c(x), \dots, c(b)$ - сигнали положення осей (x, y, z, a, b) ; К - комутатор сигналів; АЦП1 - головний аналогоцифровий перетворювач; АЦП2 - аналогоцифровий перетворювач опорного сигналу; ЕОМ - електронно-обчислювальна машина (високо продуктивний персональний комп'ютер); ПВІ - пристрій відображення інформації; пульт управління ЕОМ.

Якщо на приймач надходить лише частина випромінювання площею S , то інтенсивність реєстрованого ним світла має вигляд

$$I(L, S) \approx I_0 (1 \approx \alpha_0 \approx \alpha_1), \quad (6)$$

де $I_0 \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N A_i^2 \int_S E_i^2 ds$, $\alpha_0 \approx \frac{1}{l_0} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \cos \alpha_{ik}^0$ - постійна складова при

$i \neq k$, $\alpha_1 \approx \frac{1}{l_0} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \cos \alpha_{ik}^0 \approx \alpha_{ik}$ при $i \neq k$ сигнальна складова.

Рівняння (6) різниці фаз інтерферуючих мод α_{ik} представлені у вигляді суми двох складових $\alpha_{ik} \approx \alpha_{ik}^0 \approx \alpha_{ik}$. Доданок α_{ik}^0 - квазістатична частина різниць фаз мод, пов'язана з параметрами мод і зовнішніми умовами світловода (температура,

тиск і т.д.), зміни якої визначають фединг сигналу МВІ. Величини σ_{ik} визначаються швидкодіючими впливами на волокно і є незначними ($\sigma_{ik} \ll 1$).

Складова σ_{ik} обумовлена двома причинами: 1) сигнальними впливами, які необхідно виміряти; 2) паразитними збурюваннями волокна, що попадають у частотний діапазон корисних сигналів. Таким чином, отримуємо $\sigma_{ik} = \sigma_{ik}^S + \sigma_{ik}^n$.

Величина сигнального впливу S , а сукупна величина впливів завод n . Тоді складову σ_1 сигналу МВІ можна представити у вигляді двох доданків

$$\sigma_1 = K_S \cdot S + K_n \cdot n \quad (7)$$

де коефіцієнти K_S та K_n обчислюються за формулами

$$K_S = \frac{1}{l_0} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \left(A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \sin^0 \sigma_{ik} \cdot K_{ik}^S \right), \quad (8)$$

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

У формулах (8) введені коефіцієнти чутливості різниці фаз мод до впливів $K_{ik}^S = \sigma_{ik}^S / S$, $K_{ik}^n = \sigma_{ik}^n / n$

Зміни σ_{ik}^0 від зовнішніх умов визначаються змінами параметрів світловода, процесами взаємодії мод і подвійного променезаломлення. Тому, використовуючи центральну граничну теорему при великому числі подвійних сум, що складаються, значення K_S і K_n у конкретний момент часу, можна описати незалежними випадковими величинами, що мають нормальний закон розподілу з нульовим середнім і деякою дисперсією σ_K^2 . Значення складової σ_n представляється добутком незалежних гаусових величин n і K_n , а $\sigma_S = S \cdot \sigma_K = A \cdot \sigma_n \cdot \sigma_K$.

У випадку багатоканального прийому з підсумовуванням модулів сигналів M фотодіодів значення сигналу МВІ описується комбінацією випадкових величин:

$$\begin{cases} S = 0, & x^{[0]} = \sum_{i=1}^M |K_n \cdot n|, \\ & x^{[0]} \langle X_0 = \hat{a}^3 \delta \hat{u}, \quad x^{[0]} \rangle X_0 = \hat{m} \hat{e} \hat{e} \hat{a} \\ S \neq 0, & x^{[S]} = \sum_{i=1}^M |\sigma_S = K_n \cdot n| \\ & x^{[S]} \langle X_0 = \hat{a}^3 \delta \hat{u}, \quad x^{[S]} \rangle X_0 = \hat{m} \hat{e} \hat{e} \hat{a} \end{cases}, \quad (10)$$

де σ_S^i , K_n^i , n — незалежні центровані гаусові випадкові величини із середньоквадратичними відхиленнями σ , σ_K , $\sigma_n = \sigma / A \cdot \sigma_K$ відповідно (при цьому обумовлюється, що умови діафрагмування й рівні коливань інтенсивності для фотоприймачів рівноцінні). На рис. 7 наведений приклад обвідних нормованих гістограм $x^{[0]}$ і $x^{[S]}$ для випадків моделювання сигналів одного ($M = 1$) і шести ($M = 6$) фотодіодів при відношенні сигнал/шум: $A = 5$.

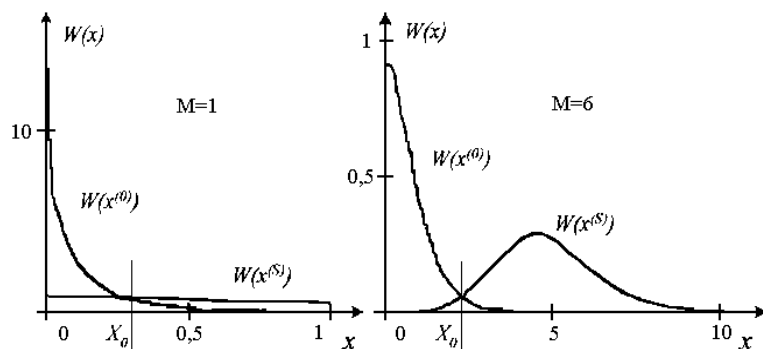


Рис. 7. Приклади розрахунків нормованих величин сигналу МВІ для $A=5$. зліва для одноканального фотоприймача ($M=1$), справа для шестиканального ($M=6$)

Вибір порогу спрацьовування X_0 доцільно здійснювати за принципом аналогічному критерію ідеального спостерігача в системах передачі дискретних повідомлень із паралельними каналами, а саме у точці перетину розподілів $x^{[0]}$ і $x^{[S]}$. Для кожного значення M і A за обвідними гістограм визначається поріг X_0 і далі за допомогою обчислення площі під нормованими обвідними гістограм оцінюється ймовірність помилкового рішення про реєстрацію впливу. На рисунках 8 та 9 наведені оцінки ймовірності помилки, залежно від числа каналів фотоприйому й відношення сигнал/шум.

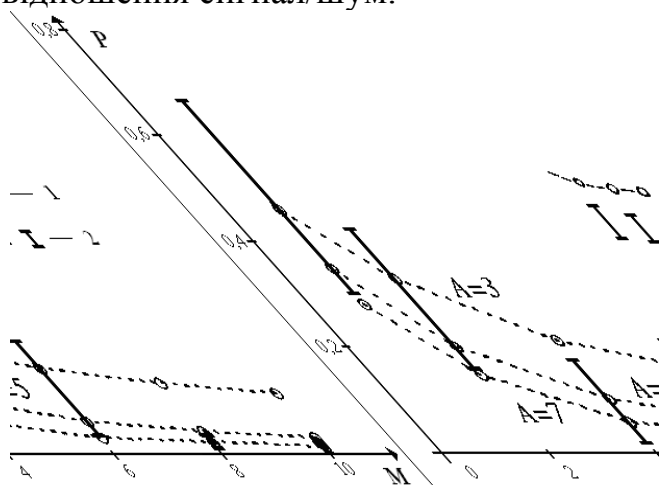


Рис. 8. Ймовірність помилки при реєстрації впливу на МВІ в залежності від числа каналів фотоприймача: 1 - за теоретичними розрахунками, 2 - за експериментом (розкид визначається врахуванням всіх можливих комбінацій із I приймачів при $I \neq 0$)

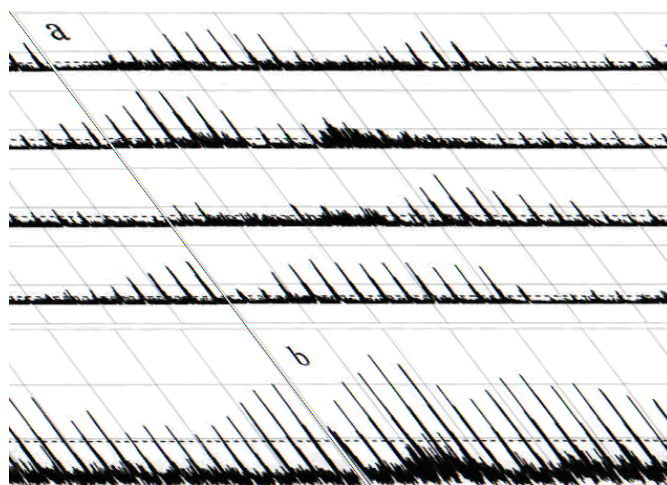


Рис. 9. Фрагмент залежності вихідних сигналів фотоприймача:

а – приклад залежностей модулів вихідних сигналів чотирьох (із 10) фотодіодів; б – залежність сигналу після сумування модулів 10 каналів. Пунктиром показаний оптичний поріг спрацьовування пристрою

Запропоновано систему керування рухом приводу слідкуючого волоконно-оптичного датчика (рис. 10).

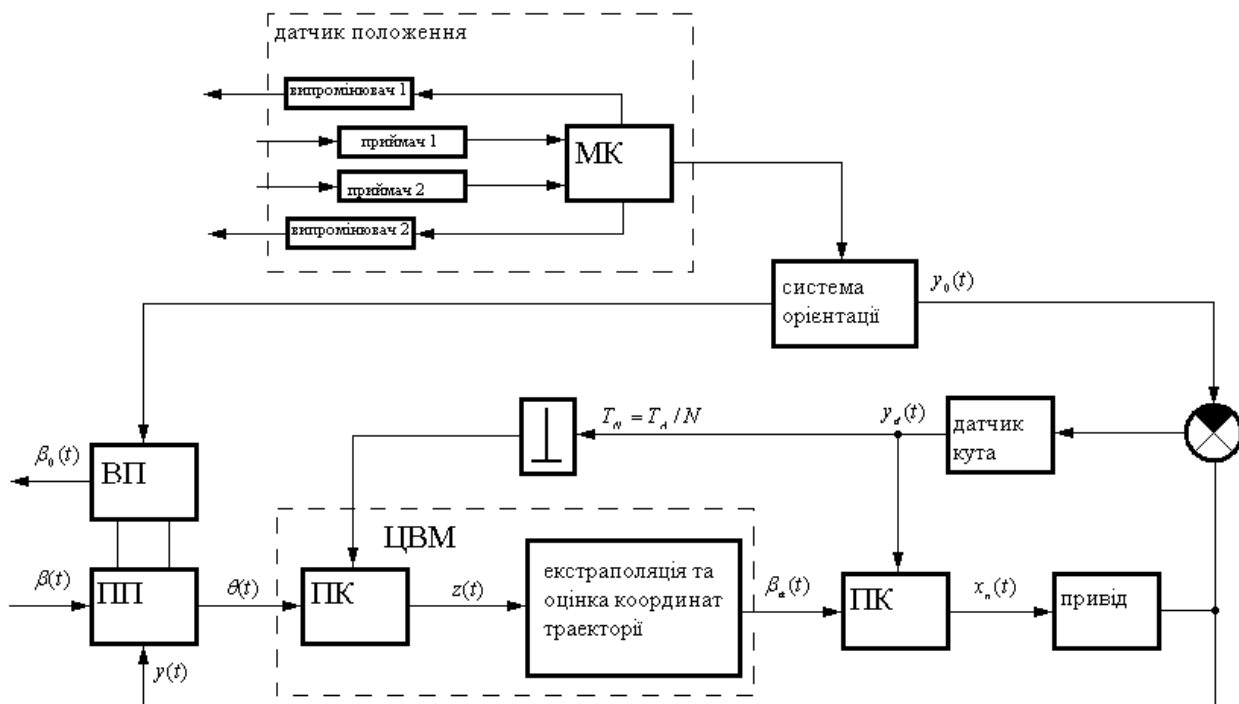


Рис. 10. Цифрова ситема автоматичного керування слідкуючого волоконно-оптичного датчика
 При лінійній апроксимації полярних координат максимальні динамічні помилки визначаються в такий спосіб

$$\sigma_{d \max} \approx \frac{\sqrt{3} T_A^2 \sigma_{\max}^2}{32 L^2_{\min}} \quad (11)$$

Задаючи значення максимальної динамічної помилки $\sigma_{d \max}$, можна розрахувати відповідний їй часовий інтервал апроксимації параметрів траєкторії $T_A \approx \sqrt{18,57 \sigma_{d \max}} / W_{\max}$, де $W_{\max} \approx \sigma_{\max} / L$ – максимальна кутова швидкість об'єкта, σ_{\max} – максимальна лінійна швидкість об'єкта, L – відстань до об'єкта.

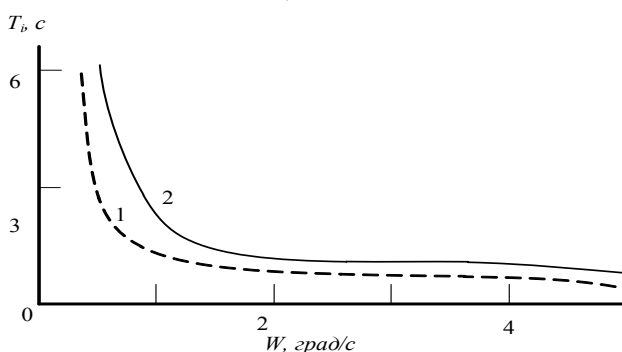


Рис. 11. Залежність інтервалу апроксимації від кутової швидкості об'єкта (для $\sigma_{d \max} \approx 5''(1), 30''(2)$)

Значне збільшення частоти дискретизації F_f створює передумови для поліпшення динамічних характеристик і збільшення ефективного придушення збурення $f(t)$. Просто й ефективно реалізується комбіноване керування, що дозволяє значно знизити динамічну помилку задавального впливу. Для цього разом із задавальним впливом вводиться сигнал корекції, пропорційний оцінкам параметрів траєкторії, які отримані у результаті вторинної обробки.

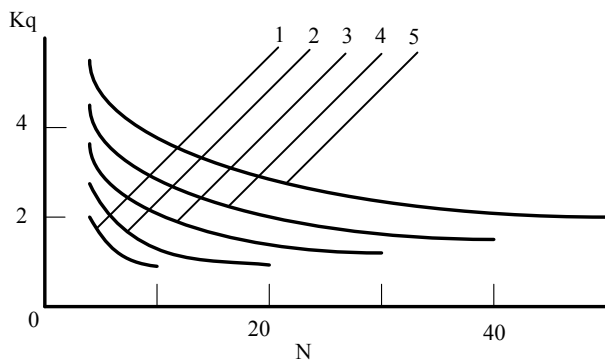


Рис. 12. Відносне покращення сигнал/шум, при $K_q=10$ (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 50 (5)

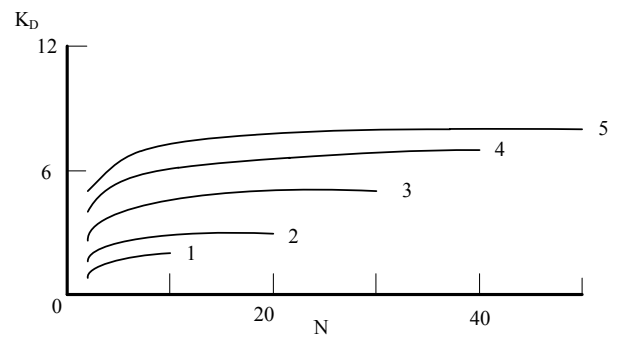


Рис. 13. Відносний виграш в точності оцінки координат. $K_p=10$ (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 50 (5)

Зазначене дозволяє збільшити точність, швидкодiю, завадозахищенiсть, дальнiсть дiї, зменшивши вплив збурення на процеси спостереження й керування. Для цього в структурi системи застосовано: систему орієнтацiї (СО), датчики кута (якi вимiрюють положення осi вiзування), цифровий вимiрювальний модуль (ЦВМ), що керує автономним приводом наведення.

У **четвертому роздiлi** представлено рекомендацiї по iнженерному проектуванню волоконно-оптичних вимiрювальних датчикiв геометричних характеристик об'єктiв зi складною просторовою поверхнею. Одержано практичне пiдтвердження ефективностi використання волоконно-оптичних комп'ютеризованих систем.

Одним з таких засобiв є автоматизований оптичний датчик, створений з використанням комбiнацiї оптичних свiтловодiв, що дає можливiсть замiнити контактнi вимiрювальнi кiнцевики на КВМ (контрольно-вимiрювальних машинах) на бiльш гнучку систему та полегшує контроль вимiрювань. Датчик представляє собою розподiлену iнтерферометричну вимiрювальну систему.

Наведено варіанти взаємного розміщення приймального оптичного волокна (ПОВ) та випромінювального оптичного волокна (ВОВ) у спільному торці волоконно-оптичного каналу (ВОК). Можливі декілька варіантів розміщення оптичних волокон (ОВ) у спільному торці ВОК, наприклад:

I варіант – чотири пiдвiдних оптичних волокон (ПОВ) та три вiдвiдних оптичних волокон (ВОВ) (рис. 10, а); II варіант – три ПОВ i чотири ВОВ (рис. 10, б); III варіант – одне ПОВ i шість ВОВ (рис. 10, в).

На основi математичного моделювання визначається математична модель з точки зору забезпечення максимальної чутливостi перетворення оптичних сигналiв. Найбiльш типові компонування приведенo на рис. 14, а вiдповiднi їм функцiї перетворення – в таблиці.

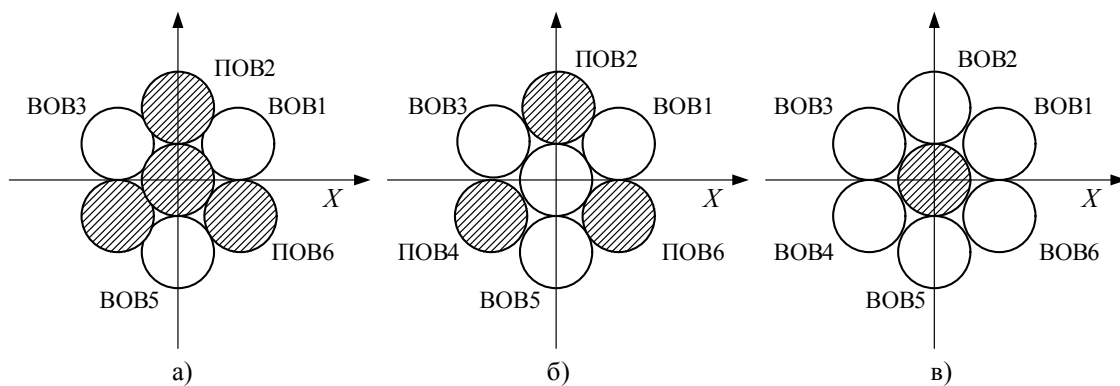


Рис. 14. Геометричні побудови для пояснення взаємного розміщення підвідних та відвідних ОВ в джгуті:

- – серцевина підвідного (випромінюючого) ОВ;
- – серцевина відвідного (приймального) ОВ

Визначення відвідних та підвідних ОВ

| Області ПОВ | Області ВОВ | Значення k, l | Інтенсивність розподілу світлового потоку |
|--|---|---|--|
| Рис. 3,а W ₀ , W ₂ , W ₄ , W ₆ | Рис. 3,а W ₁ , W ₃ , W ₅ | k = 0, 2, 4, 6; l = 1, 3, 5. $D = \prod_{l=1}^3 \prod_{k=0}^3 (\hat{E}_{2l-1} \hat{E}_{2k})$ | $\hat{O}(x) = \sum_{k=0}^3 \iint_D \varphi_{2k}(2x, y, z) dy dz$ |
| Рис. 3,б W ₂ , W ₄ , W ₆ | Рис. 3,б W ₀ , W ₁ , W ₃ , W ₅ | k = 2, 4, 6; l = 0, 1, 3, 5. $D = \prod_{k=1}^3 \prod_{l=1}^3 (\hat{E}_{2k-1} \hat{E}_{2l}) \prod_{l=1}^3 (\hat{E}_{0} \hat{E}_{2l})$ | $\hat{O}(x) = \sum_{k=1}^3 \iint_D \varphi_{2k}(2x, y, z) dy dz$ |
| Рис. 3,в W ₀ | Рис. 3,в W ₁ , W ₂ , W ₃ , W ₄ , W ₅ , W ₆ | $D = \prod_{l=1}^6 (\hat{E}_{0} \hat{E}_{l})$ | $\hat{O}(x) = \sum_{k=1}^3 \iint_D \varphi_{2k}(2x, y, z) dy dz$ |

Приведений розподіл інтенсивності світлового потоку (рис.15) з вивідного торця ОВ вздовж напрямку перпендикулярного поширенню променя для напівпровідникового лазера потужністю 5 мВт, враховуючи, що в освітлювачі з допомогою сферичної лінзи вдається отримати точку 40 мкм (d₀=0,1 мм).

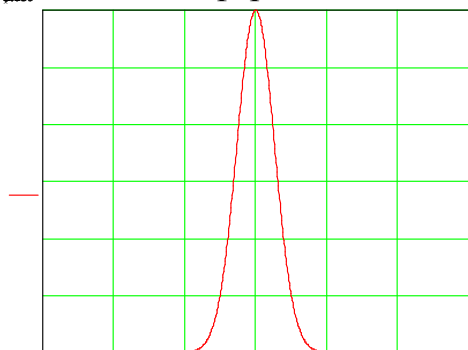


Рис. 15. Інтенсивність вздовж напрямку перпендикулярного поширенню променя з вивідного торця ОВ, потужність напівпровідникового лазера 5 мВт

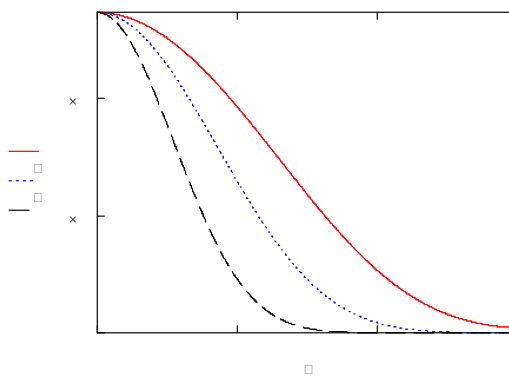


Рис.16. Фур'є образ розподілу інтенсивності лазерного освітлювача в середині променя

Детальний розподіл світла формується освітлювачем на поверхні вимірюваного об'єкта, який спотворюється поверхнею з нерівномірностями при відбитті, а також елементами оптичної системи. Результати приведені на рис.16. Оскільки функція є симетричною відносно вертикальної осі, приведено лише область позитивних просторових частот.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі на основі виконаних досліджень закладено нові та вдосконалено відомі теоретичні та інженерно-технічні методи, за допомогою яких вирішено наукову задачу, яка вимагає нового підходу для комп'ютеризованих систем вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Під час роботи були одержані такі наукові та практичні результати:

1. Вперше запропоновано комплексне використання волоконно-оптичних вимірювальних датчиків для вимірювання профілю поверхні деталі та лінійних переміщень як основи організації комп'ютеризованої вимірювальної системи.

2. Отримано та обгрунтовано функції перетворення волоконно-оптичних вимірювальних датчиків та їх структур, які на відміну від існуючих, відрізняються тим, що базуються на врахуванні зміни вектора чутливості оптичного потоку, що забезпечує відповідність між реальними енерго-інформаційними процесами, які протікають у вимірювальних каналах волоконно-оптичних датчиків і їх математичними моделями, що дозволяє знизити імовірність виникнення спотворень інформаційних сигналів в умовах дії дестабілізуючих факторів.

3. Теоритично визначено доцільність використання волоконно-оптичних міжмодових інтерферометрів з багатоканальною обробкою реєстрованого сигналу при вимірюванні геометричних параметрів високоточних деталей, що дозволило підвищити чутливість датчика при реєстрації корисного вимірюваного сигналу в умовах завод.

4. На основі принципів роботи волоконно-оптичних міжмодових інтерферометрів побудовано графічні моделі розподілу інтенсивності розподілу світлового потоку. Оптимізовано основні критерії конструктивних параметрів для зниження інструментальної похибки та визначено функції перетворення волоконно-оптичних датчиків комп'ютеризованої вимірювальної системи.

5. Розроблено структурну схему та реалізовано комп'ютеризовану вимірювальну систему з використанням волоконно-оптичних компонентів в каналах передачі інформаційних потоків вимірювальних засобів системи.

6. Розроблено та реалізовано міжмодовий волоконно-оптичний інтерферометричний датчик з багатоканальною обробкою сигналу. Отримано результати експериментальних досліджень щодо перевірки математичного розрахунку похибки вимірювання, що підтвердили ефективність запропонованих засобів вимірювання.

7 Розроблена структурна схема комп'ютеризованої вимірювальної системи може бути використана як основа для проектування взірцевих вимірювальних систем геометричних параметрів деталей промисловими підприємствами України та

дозволяє зменшити час обробки інформації під час ідентифікації об'єктів вимірювання.

8 Впроваджено в практику геометричні побудови на основі розроблених моделей волоконно-оптичних датчиків вимірювання геометрії поверхонь деталей з роздільною здатністю до 200 нм.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Окоча С. В., Борковський О. В. Волоконно-інтерферометрична система контролю форми поверхні деталей [Текст] / С. В. Окоча, О. В. Борковський // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2007. – Спецвипуск. – С. 215-217.
2. Окоча С. В., Ильченко В. Н. Математическая модель лазерной измерительной системы измерения высокоточных деталей [Текст] / С. В. Окоча, В. Н. Ильченко // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 2007. – №8(44). – С. 173-175.
3. Окоча С. В., Квасніков В. П. Волоконно-оптичний датчик зі змінним стрибком показника заломлення на границі світловода [Текст] / С. В. Окоча, В. П. Квасніков // Збірник наукових праць Військового інституту київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІ КНУ, 2008. – Вип.12. – С. 38-43
4. Окоча С. В. Розподілена комп'ютеризована волоконно-оптична система контролю геометричної форми поверхні деталей [Текст] / С. В. Окоча // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ: НТУНГ, 2009. – №23. – С. 106-108.
5. Окоча С. В. Математична модель цифрової волоконно-оптичної вимірювальної системи геометричних розмірів об'єктів [Текст] / С. В. Окоча // Вісник інженерної академії України. – К., 2009. – Вип. 3-4. – С.112-114.
6. Окоча С. В., Пепа Ю. В. Обробка модифікованої інформації у волоконно-оптичних системах передачі даних [Текст] / С. В. Окоча, Ю. В. Пепа // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2010. – №. 9 (159) – С. 277-281.
7. Окоча С. В., Пепа Ю. В., Нешта В. Г., Воронов Д. О. Система зв'язку з відкритим оптичним каналом [Текст] / С. В. Окоча, Ю. В. Пепа, В. Г. Нешта, Д. О. Воронов // Защита информации: Сборник трудов НАУ. – Киев, 2010. – Выпуск 17. – С. 71-76.
8. Окоча С. В., Пепа Ю. В. Створення завод лазерним засобам дальнометрії [Текст] / С. В. Окоча, Ю. В. Пепа // Сучасний захист інформації. – К.: ДУІКТ, 2010. – Спецвипуск – С. 98-102.

Статті у міжнародних виданнях, що входять до наукометричних баз даних

9. Окоча С. В. Модель цифрової волоконно-оптичної вимірювальної системи розмірів об'єктів [Текст] / С. В. Окоча // Наукоємні технології. – К.: НАУ, 2013. – №4. – С. 390-393.

Патенти

10. Пат. 34038 Україна, МПК G01B 11/02 G01B 21/00. Волоконно-оптичний пристрій вимірювання лінійних розмірів [Текст] / Окоча С. В., Харченко В.П., Квасніков В. П., Ільченко В. М., Руднева М. С. - №u2008 02273; заявка 22.02.2008; опубл. 25.07.2008; Бюл. №14. – 5 с.

Тези наукових доповідей

11. Окоча С. В. Особливості використання та розробки волоконно–оптичних датчиків для вимірювання геометричних розмірів об’єктів [Текст] / С. В. Окоча // Політ – 2006: Тези міжнародної наукової конференції студентів і молодих учених. – К.: НАУ, 2006.– С. 73.

12. Окоча С. В. внутрішніх геометричних розмірів об’єктів з використанням опто-волоконного датчика [Текст] / С. В. Окоча // Приладобудування: стан і перспективи: Збірка наукових праць V МНТК . – К.: НТУУ “КПІ”, 2006. – С.139-140.

13. Окоча С. В. Розробка автоматичної розподіленої інформаційно–вимірювальної системи [Текст] / С. В. Окоча // Авіа – 2006: Матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції. – Київ: НАУ, 2006. – Т.1. – С. 11.99–11.102.

14. Окоча С. В., Борковський О.В., Костріков О.Л. Контроль та вимірювання виробів складної форми оптичними методами в складі технологічних систем [Текст] / С. В. Окоча, О. В. Борковський, О.Л.Костріков // Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія –2006): Наукові праці V МНТК. – Харків: ННЦ „Інститут метрології”, 2006. – Т. 2. – С. 128–131.

15. Окоча С. В. Прецизійна волоконно-оптична система контролю геометричної форми об’єктів [Текст] / С. В. Окоча // Авіа-2007: Матеріали VII МНТК. – Київ, 2007. – Т.1. – С. 11.73–11.76.

16. Окоча С. В. Вдосконалений оптоволоконний датчик для вимірювання геометричних розмірів об’єктів [Текст] / С. В. Окоча // Інтегровані інформаційні технології та системи (ІТТС-2007): Наук.-практ. конф. молодих учених та аспірантів. – К.: НАУ, 2007. – С. 31-33.

17. Окоча С. В. Технології використання оптоволоконних датчиків при вимірюванні геометричних розмірів об’єктів [Текст] / С. В. Окоча // Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні (ІКТМ’2007): МНТК. – Харків: ХАІ, 2007.– С. 203-204.

18. Окоча С. В. Розподілена скануюча інформаційно-вимірювальна система [Текст] / С. В. Окоча // Приладобудування: стан і перспективи: Збірка наукових праць VII МНТК. – К.: НТУУ “КПІ”, 2008.– С.93-94.

19. Окоча С. В. Обробка сигналу багатоканального міжродового волоконно-оптичного інтерферометра у складі розподіленої вимірювальної системи геометричних розмірів об’єктів [Текст] / С. В. Окоча // Обробка сигналів і негауссівських процесів: II Міжнар. науково-практична конференція. – Черкаси: ЧДТУ, 2009. – С. 75-77.

20. Окоча С. В. Використання вузькосмугових фільтрів для підвищення контрастності сигналу багатоканального міжмодового волоконно-оптичного

інтерферометра [Текст] / С. В. Окоча // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК–2009): II Міжнар. наук.-практ. конф.– К.: НАУ, 2009. – С.80-82.

21. Окоча С. В. Розробка волоконно-оптичного датчика для ідентифікації типу рідини [Текст] / С. В. Окоча // АВІА-2009: Мат. ІХ Міжнар. НТК. - Т.2. - К.: НАУ, 2009 – С. П.22-П.26.

22. Окоча С. В. Модель волоконно-оптичної вимірювальної системи [Текст] / С. В. Окоча // Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах: Науково-практична конференція. – К.: 2010. – С. 60-62.

23. Окоча С. В. Використання фільтрів для підвищення контрастності сигналу волоконно-оптичного інтерферометра [Текст] / С. В. Окоча // Обробка сигналів і негауссівських процесів: III Міжнар. науково-практична конференція. – Черкаси: ЧДТУ, 2011. – С. 51-54.

24. Окоча С. В., Петренко А. Б. Математична модель волоконно-оптичної вимірювальної системи геометричних розмірів об'єктів [Текст] / С. В. Окоча, А. Б. Петренко // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК–2011): IV Міжнар. наук.-практ. конф.– К.: НАУ, 2011. – С.337-340.

АНОТАЦІЯ

Окоча С.В. Комп'ютеризована система вимірювання геометричних параметрів об'єктів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. Національний авіаційний університет, Київ, 2015.

Дисертацію присвячено вирішенню важливої наукової задачі підвищення точності, надійності і швидкодії комп'ютеризованих вимірювальних систем геометричних параметрів об'єктів складної форми з використанням волоконно-оптичних датчиків. Розроблено і обґрунтовано комп'ютеризовану вимірювальну систему з використанням волоконно-оптичних інтерферометричних датчиків, які забезпечують підвищення точності вимірювання та скорочення часу виконання вимірювальних операцій.

Вдосконалено моделі передачі інформаційних потоків комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем з високими метрологічними характеристиками, які на відміну від відомих відрізняються комплексним використанням волоконно-оптичних датчиків всіх підсистем. Вдосконалено метод обробки сигналу міжмодового волоконно-оптичного інтерферометра, що дало можливість підвищити точність вимірювань та отримувати достовірну інформацію про параметри деталей в умовах завад.

Ключові слова: комп'ютеризована вимірювальна система, волоконно-оптичний датчик, міжмодовий інтерферометр.

АННОТАЦІЯ

Окоча С.В. Компьютеризированная система измерения геометрических параметров объектов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. Национальный авиационный университет, Киев, 2015.

Диссертация посвящена решению важной научной задачи повышения точности, надежности и быстродействия компьютеризированных измерительных систем геометрических параметров объектов сложной формы с использованием волоконно-оптических датчиков. Разработана и обоснована компьютеризированная измерительная система с использованием волоконно-оптических интерферометрических датчиков, которые обеспечивают повышение точности измерения и сокращение времени выполнения измерительных операций.

Усовершенствованы модели передачи информационных потоков компьютеризированных информационно-измерительных систем с высокими метрологическими характеристиками, которые в отличие от известных отличаются комплексным использованием волоконно-оптических датчиков всех подсистем. Усовершенствован метод обработки сигнала межмодового волоконно-оптического интерферометра, что позволило повысить точность измерений и получать достоверную информацию о параметрах деталей в условиях помех.

Ключевые слова: компьютеризированная измерительная система, волоконно-оптический датчик, межмодовый интерферометр.

THE SUMMARY

Okocha S. V. The computerized system for measuring geometric parameters of objects. – Manuscript.

Dissertation for the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on speciality 05.13.05 – computer systems and components. National Aviation University, Kyiv, 2015.

Dissertation is devoted to the fulfillment of the important scientific task of developing the methods and the algorithms for improving the accuracy, the reliability and the speed of the computerized fiber-optic control systems for the geometrical parameters of the complex-shaped objects. The new models of the design of the computerized measuring systems which use the fiber-optic interferometric sensors that, in their turn, provide a significant increase in the accuracy of measuring and reduction of the time used for measurement operations were developed and specified.

For the first time, a method for controlling the profile of the part surface by the laser computerized information-measuring system, which differs from the existing ones by taking into account the changes in the intensity of the reflected laser beam on the angle of the incidence that enhances the reliability of the parts control parameters in real time was invented. The parametric model of the functions of fiber-optic systems transformation, which reckons the influence of the design parameters of brute force values on the conversion function, and provides the ability to create sensors with the desired properties was suggested.

For the first time, the models of the transmission of information streams of the computerized fiber-optic data-measuring systems with the high metrological characteristics were developed; in contrast to the known ones, they use fiber optic sensors of all subsystems in a complex way. The method of signal processing of the intermode

fiber-optic interferometer that provided an opportunity to improve the accuracy of the measurements and to obtain the reliable information about the parameters of parts under the conditions of barriers was improved.

The computerized fiber-optic information-measuring system can be used as an exemplary one for the control of the geometric parameters of the parts at the industrial enterprises; it allows reducing the time for the information processing at more than 32% in the process of the control objects identification.

The mathematical models of the fiber-optic information-measuring systems for the control of the parts surfaces within the accuracy of 200 Nm which allow processing information in the real time were implemented in practice.

The gained results of experimental studies on the accuracy of the control of the parts geometrical parameters confirm the effectiveness of the developed and the improved methods and hardware, as well as the prospects of the use of fiber-optic data-measuring systems.

Keywords: computerized measuring system, fiber optic sensor, intermode interferometer.