

УДК 621.363.6

КОМП'ЮТЕРНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА НА ОСНОВІ ОЕІП З ПІДВИЩЕНОЮ ІНФОРМАЦІЙНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ

© Литвин Ігор, 2008

Тернопільський національний економічний університет,
кафедра автоматизованих систем і програмування

Описано результати аналізу розробок і дослідження лазерної системи контролю профілю і розмірів об'єктів складної форми, в якій застосовано первинні перетворювачі оптичного випромінювання на основі інтегральних МНОП-n-p структур.

Описаны результаты анализа разработок и исследования лазерной системы контроля профиля и размеров объектов сложной формы, в которой применены первичные преобразователи оптического излучения на основе интегральных МНОП-n-p структур.

The developments and researches analysis results of profile and sizes laser control system for objects with complicated form are circumscribed in which light sensor on basis of integral MNOS-n-p structures used.

1. Вступ. Оптиелектронні інформаційні пристрої (надалі буде вживатися термін – ОЕІП) призначені для перетворення зображень, поданих за допомогою аналогових або бінарних двовимірних оптичних сигналів, на цифрові електричні сигнали і для їхнього попереднього опрацювання. Розроблення нових теоретичних основ побудови, аналіз і синтез ОЕІП є однією із істотних сучасних тенденцій створення принципово нового та удосконалення наявного апаратно-програмного забезпечення комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем (надалі буде вживатися термін КІВС). У лазерних КІВС для контролю профілю поверхні та розмірів об'єктів складної форми, як правило, розв'язують задачу найповнішого збирання, опрацювання і подання інформації про структуру поля оптичного випромінювання. Оскільки відмінною особливістю завдань контролю, основаних на опрацюванні зображень, є великий обсяг інформації, яку необхідно опрацювати для ідентифікації зображень та для виявлення відмінностей і для прийняття рішень, то до КІВС, які працюють у реальному часі, ставлять підвищені вимоги за пропускну здатністю і за продуктивністю. У зв'язку з цим для таких систем найактуальнішою є проблема досягнення інформаційної сумісності оптичних та електронних блоків. Це зумовлено неузгодженістю високої інформаційної ефективності їхніх оптичних блоків з обмеженою інформаційною ефективністю їхніх електронних блоків реєстрації і первинного опрацювання даних (час виконання складних інтегральних перетворень в

оптичних блоках визначається часом введення зображення в ОЕІП ($\sim 10^{-9}$ с), а час виконання таких перетворень в електронних блоках становить $\sim 10^{-7}$ – 10^{-8} с) [1]. Ефективність вирішення цієї проблеми значною мірою визначає можливість підвищення інформативності та функціональні можливості таких систем. Зокрема, підвищення інформативності ОЕІП дає змогу контроль виробів типу "придатний – непридатний" звести до типу "де і чому", а це дає змогу визначити, що необхідно зробити, щоб відновити відбракований виріб [2]. Виконання цього завдання вимагає розроблення методології використання ОЕІП з підвищеною інформаційною ефективністю на практиці для удосконалення якості розробок КІВС, які працюють у реальному часі.

2. Аналіз досліджень і публікацій. Наявні системи контролю розмірів об'єктів складної форми забезпечують високу точність вимірювань і уможливають контроль великого діапазону лінійних розмірів в реальному часі [3]. Однак вони мають істотні, традиційні для них недоліки: складність апаратури, необхідність застосування відбивних дзеркал, що перебувають в контакт з контрольованою поверхнею, необхідність у додаткових вузлах, що забезпечують неперервність і стабільність лазерного випромінювання, необхідність захисту інтерференційної апаратури від паразитних зовнішніх впливів [4]. Це значною мірою обмежує їхнє застосування у промисловості. Бурхливий розвиток комп'ютерних

технологій дав потужний поштовх розвитку суміжних галузей, зокрема, прикладного телебачення і систем дистанційного контролю різних об'єктів [5–6]. Проблемі підвищення інформаційної ефективності оптоелектронних блоків реєстрації і первинного опрацювання даних при цьому приділяється першочергова увага. Зокрема, у [6] розглянуто принципи побудови цифрового кусково-нелінійного гамма-коректора відеосигналу для підвищення ефективності перетворення зображень. У наш час ведуться активні пошукові роботи у напрямку поєднання досягнень мікроелектронної технології з перевагами оптичних методів опрацювання інформації з метою створення оптоелектронних інформаційних пристроїв, в яких дані про об'єкт управління або дослідження переносяться оптичним випромінюванням (містяться в оптичних сигналах), а їхня реєстрація і первинне опрацювання супроводжується перетворенням цього випромінювання (оптичного сигналу) в електричну енергію (електричний сигнал) в первинних перетворювачах оптичного випромінювання, які можуть виконувати, окрім зчитування просторового розподілу інтенсивності випромінювання, ще і функції, що застосовуються при попередньому опрацюванні оптичних зображень. Для підвищення ефективності опрацювання оптичної інформації в лазерних системах контролю профілю поверхні та розмірів об'єктів складної форми є перспективним підхід, оснований на безпосередньому опрацюванні інформації в оптоелектронних перетворювачах використанням функціональних властивостей первинних перетворювачів оптичного випромінювання на основі інтегральних МНОП-п-р структур.

Мета роботи: Метою подальших досліджень є доведення можливості створення комп'ютерної інформаційно-вимірювальної системи контролю профілю поверхні при вимірюванні зміни відстані до об'єкта тріангуляцією з використанням функціональних можливостей таких первинних перетворювачів.

3. Забезпечення комп'ютерної інформаційно-вимірювальної системи. Для досягнення поставленої мети розроблена комп'ютерна інформаційно-вимірювальна система (рис. 1) на основі напівпровідникових лазерів ЛД1 і ЛД2, оснащених проєкційними об'єктивами ПО1 і ПО2, що забезпечують фокусування лазерного випромінювання на поверхні об'єкта у точки, що світяться, з характерними розмірами ε

$\sim 100\div 300$ мкм. Залежно від профілю контрольованої поверхні і від відстані до неї точки можуть частково перекриватись, повністю перекриватись або зовсім не перекриватись. Уся система змонтована на вимірювальному столі – СВ, переміщення системи по якому здійснюється за допомогою крокових двигунів КДЗ і КДХ, які керуються від комп'ютера (ПК). Вимірюють зміну відстані до поверхні об'єкта переміщенням вимірювального стола доти, доки промені не перетнуться на поверхні (точки, що світяться, повністю перекриваються). За величиною зміщення стола оцінюється величина вимірюваної відстані. Фокусування лазерного випромінювання (для $\lambda = 0,85$ мкм) і візуальний контроль положення точок, що світяться, на поверхні об'єкта зручно здійснювати за допомогою малогабаритної телекамери, під'єднаної до комп'ютера.

Похибка вимірювань зміни відстаней цим методом визначається, насамперед, можливостями системи з реєстрації ступеня перекриття точок, що світяться, на контрольованій поверхні. Тому точне положення точок, що світяться, на поверхні реєструється за допомогою оптоелектронного первинного перетворювача на основі лінійки інтегральних МНОП-п-р структур. У такому перетворювачі випромінювання, відбите від поверхні, перетворюється на електричний сигнал, амплітуда якого пропорційна до потужності випромінювання і зміщення точки, що світиться, відносно фіксованого положення, що відповідає "нульовій" відстані до поверхні. Оскільки для контролю профілю поверхні "нульову" відстань до неї необхідно вибрати, то на першому етапі здійснюється настроювання системи так: вузькоспрямований промінь лазера, наприклад, від ЛД1, фокусується на поверхні об'єкта, встановленого у "нульове" положення, в точку, зображення якої $E_1(x, y, t)$ формується за допомогою телескопічного об'єктива – ТО на поверхні оптоелектронного первинного перетворювача. Діаметр точки, що світиться, ε_0 у наближенні геометричної оптики [7] визначається відстанню L , від контрольованої поверхні до головної площини проєкційного об'єктива ПО1, фокусною відстанню проєкційного об'єктива $f_{\text{по}}$ і кутом α між головною оптичною віссю об'єктива ПО1 і контрольованою поверхнею:

$$\varepsilon_0 = \frac{L - f_{\text{по}}}{f_{\text{по}}} \cdot \frac{e}{\sin \alpha}, \quad (1)$$

де $\epsilon_0 = 10^{-3}$ см – діаметр області, що світиться, напівпровідникового лазера ЛД1 (типу 32ЛД101В).

Діаметр зображення точки, що світиться ϵ_p , на фоточутливій поверхні первинного перетворювача, встановленого у фокальній площині телескопічного об'єктива ТО з фокусною відстанню f_{TO} , становить величину:

$$e_p = \frac{f_{TO}}{L_0 - f_{TO}} \cdot e_0, \quad (2)$$

де L_0 – відстань від контрольованої поверхні до головної площини телескопічного об'єктива ТО.

За допомогою оптичного керування записом інформації зображення точки, що світиться, діаметром ϵ_p записується в інтегральній МНОН-п-р структурі. Це забезпечує виділення зони на поверхні перетворювача, чутливість до випромінювання в якій $S(\epsilon_p, \lambda, t)$ істотно вища, ніж в інших ділянках. При наступному зчитуванні інформації сигнал (фотострум) ΔI_K буде утворюватись лише в тому разі, коли зображення точки, що світиться, потрапляє у "зону чутливості" перетворювача.

На рис. 2 наведено розрахований графік залежності відношення $(\Delta\Phi/\Phi_0)$ різниці потоків світлової енергії, що потрапляє у "зону чутливості" – $\Delta\Phi$ до потоку світлової енергії, що міститься у зображенні – Φ_0 від переміщення $\Delta\epsilon/\omega$ центра зображення точки, що світиться, відносно центра зони чутливості (ω – відстань від центра променя до місця, в якому інтенсивність світла зменшується в $1/e$ раз). З якого видно, що при відношенні сигнал/шум $\Delta I_K/I_{ш} \approx \Delta\Phi/\Phi_0 \approx 10$ реєстроване зміщення центра зображення точки $\Delta\epsilon$ відносно "зони чутливості" становить величину $\Delta\epsilon = 0,03 \times \omega$. З урахуванням цього отримаємо, що використання в лазерній системі первинного перетворювача на основі інтегральної структури МНОП-п-р і напівпровідникових лазерів типу 32ЛД-101 і телескопічного об'єктива ТО з фокусною відстанню $f_{TO} \sim 200$ мм дасть змогу реєструвати відхилення профілю $(\Delta Z/L_0)$ близько $\sim 10^{-5}$ на відстанях $L_0 \geq 2$ м з точністю ~ 20 мкм.

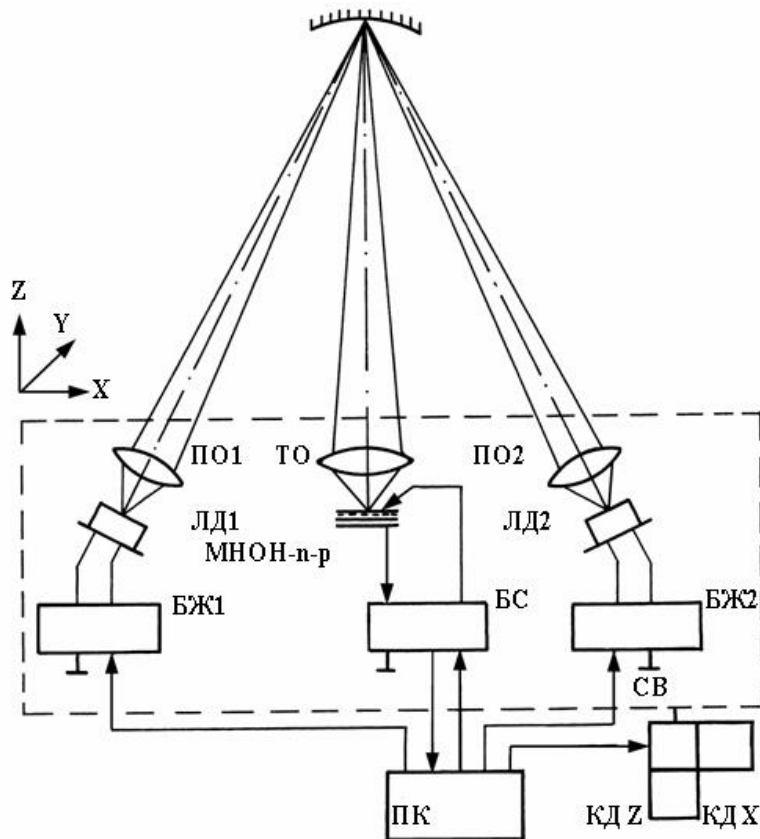


Рис. 1. Блок-схема лазерної системи контролю профілю поверхні: ЛД1, ЛД2 – напівпровідникові лазери; ПО1, ПО2 – проекційні об'єктиви; ТО – телескопічний об'єктив; БЖ1, БЖ2 – блоки живлення напівпровідникових лазерів; БС – блок стикування; КДХ, КДZ – крокові двигуни; СВ – стіл вимірювальний

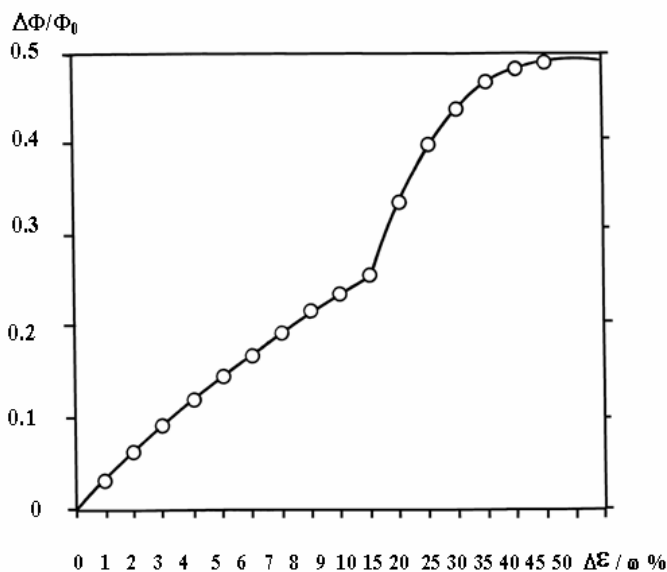


Рис. 2. Залежність зміни потоку лазерного випромінювання $\Delta\Phi/\Phi_0$ від зміщення зображення відносно "зони чутливості" $\Delta\varepsilon/\mu\%$

Залежно від вибору "нульової" відстані до об'єкта розміри зображення точки, що світиться, на поверхні первинного перетворювача будуть змінюватись. Тому у первинному перетворювачі передбачено можливість електричного витирання попередньої "зони чутливості" і запису нової, що відповідає дійсним розмірам зображення на контрольованій поверхні точки, що світиться. Для послаблення впливу орієнтації контрольованої поверхні щодо вимірювальної системи і неоднорідної здатності поверхні до відбивання світла $V(x_0, y_0)$ на точність контролю профілю використовується додатковий канал на напівпровідниковому лазері ЛД2 і проєкційному об'єктиві ПО2, що дає змогу реєструвати "нульове" положення лазерного випромінювання від ЛД2 на контрольованій поверхні.

На другому етапі настроювання системи здійснюють фокусування другого лазерного променя від ЛД2 на поверхні об'єкта, встановленого в "нульове" положення, і зміщення зображення $E_2(x, y, t_2)$ точки, що світиться, від ЛД2 із "зоною чутливості" перетворювача за максимальною амплітудою фотоструму, скануванням лазерним променем від ЛД2 поверхні об'єкта. Встановлення вимірювального стола на третьому етапі у "нульове" положення, при якому зображення точок, що світяться, $E_1(x, y, t_1)$ і $E_2(x, y, t_2)$ від лазерів ЛД1 і ЛД2 збігаються із "зоною чутливості" перетворювача, дає змогу підвищити точність вимірювань за рахунок виключення з вихідного сигналу складової похибки, зумовленої орієнтацією контрольованої поверхні щодо лазерної системи і не-

однорідною здатністю поверхні до відбивання (рис. 1). Отже, первинний перетворювач на основі інтегральних МНОП-n-p структур дає змогу реалізувати в момент сприйняття зображень операцію додавання двох зображень $E_1(x, y, t) + E_2(x, y, t)$ з перемноженням на еталонну функцію чутливості $T(\varepsilon) \sim S(\varepsilon, \lambda, t)$:

$$\Delta V_k \propto S(\varepsilon, \lambda, t) * E(x_i, y_i, t) \quad \text{при } \{x_i, y_i\} \in e$$

$$\Delta V_k \neq 0 \quad \text{при } \{x_i, y_i\} \notin e$$

Розглянутий підхід до підвищення точності контролю профілю поверхні об'єктів складної форми за допомогою первинного перетворювача на основі інтегральних МНОП-n-p структур є доволі ефективним за рахунок усунення необхідності застосування каліброваних діафрагм і їхньої заміни при зміні відстані до контрольованої поверхні.

4. Обґрунтування отриманих наукових результатів. Експериментальна перевірка результатів розроблення принципів побудови лазерної системи контролю профілю, в якій оптоелектронний первинний перетворювач на основі інтегральних МНОП-n-p структур виконує операцію додавання двох зображень з перемноженням на еталонну функцію чутливості, здійснювалась на експериментальному макеті системи. Переміщення контрольованого профілю замірялось за ноніусом мікрометричних переміщень з точністю до 10 мкм.

Для формування випромінювання на контрольованій поверхні використовувались напівпровідникові

лазери типу 32ЛД-101 з блоками живлення, що керуються сигналами ТТЛ рівнів, і мікроскопічні об'єктиви. Відстань між лазерами (базу) можна було змінювати у межах ≈ 1 м. Формування зображення на чутливій поверхні первинного перетворювача типу МНОП-п-р і здійснювали за допомогою телескопічного об'єктива "Юпітер-21М".

"Нульова" відстань L_0 до поверхні контролювалась інваровою лінійкою у межах від 2 до 5 м. Результати здійснених три рази експериментальних досліджень похибки визначення відстані ΔL_0 наведено у таблиці.

Експериментальні дослідження дослідних зразків первинних перетворювачів на основі МНОП-п-р структур з лінійною густиною fotocутливих елементів 250 1/см і мінімальною площею 30×170 мкм², на макеті лазерної системи дали змогу встановити, що запис і витирання "зони чутливості" можна здійснювати за час $10^{-5} \div 10^{-4}$ с при пороговій енергії випромінювання $10^{-5} \div 10^{-4}$ Дж/см², і при прикладанні імпульсів електричної напруги ± 30 В, зчитування – за час 10^{-5} с при пороговій енергії $10^{-6} \div 10^{-5}$ Дж/см². Кількість циклів запис-витирання "зони чутливості" становить $10^3 \div 10^4$ разів.

Результати експериментальних досліджень похибки визначення відстані ΔL_0

L_0 (м)	2	3	4	5
$\Delta L_0 1$ (мкм)	+10	-10	+20	-25
$\Delta L_0 2$ (мкм)	+10	+20	-10	-10
$\Delta L_0 3$ (мкм)	-10	0	-20	+20
ΔL_0 ср. (мкм)	+3,3	+3,3	-3,3	-5,0

Використання напівпровідникових лазерів ($P_0 \approx 10^{-2}$ Вт, $\lambda = 0,85$ мкм) у розробленій системі сприяє істотному зменшенню ваги, габаритів та споживання енергії і можливості простої часової модуляції випромінювання за рахунок зручного стикування з широко використовуваними елементами мікроелектроніки.

5. Висновки. Обґрунтовано новий науково-методичний підхід для підвищення достовірності та

продуктивності опрацювання інформації у лазерній системі контролю профілю поверхні об'єктів складної форми на основі застосування розроблених ОЕІП з підвищеною інформаційною ефективністю. Підхід дає змогу оптимізувати структурну організацію інформаційно-вимірювального забезпечення КІВС.

У результаті теретичних та експериментальних досліджень макета лазерної системи контролю профілю поверхні показано, що розглянутий підхід до створення системи дає змогу вимірювати профіль поверхні, яка неперпендикулярна до лазерних променів (крива поверхня) на відстані 5 м з точністю ± 25 мкм і виключає необхідність застосування відбивних дзеркал, а часова модуляція лазерного випромінювання значно підвищує перешкодозахищеність усієї системи. Застосування первинних перетворювачів на основі інтегральних МНОП-п-р структур у цій системі забезпечує такі переваги:

а) функціональні:

- спрощення системи за рахунок усунення необхідності застосування каліброваних діафрагм і їхньої заміни при зміні відстані до вимірюваної поверхні і за рахунок істотного зниження основних вимог до електронних блоків стикування первинних перетворювачів з ПК;

- підвищення гнучкості системи за рахунок зменшення часу настроювання й спрощення її настроювання при переході на другий об'єкт контролю;

- розширення області застосування за рахунок можливості вимірювання профілю поверхні великогабаритних об'єктів складної форми з високою точністю і без застосування відбивних дзеркал;

б) технічні;

- робоча відстань до контрольованої поверхні, при регулюванні оптичної системи, (0,1÷5 м);

- точність вимірювання відхилення профілю на відстані 5 м – ± 25 мкм з швидкодією 10^{-4} с;

- час перенастроювання (переходу) на новий контрольований профіль $10 \div 20$ хв;

- загальний час контролю відхилення профілю поверхні об'єкта середньої складності (кількість замірів ~ 1000) $5 \div 10$ хв;

в) соціальні;

- істотне зменшення частки ручної праці оператора за рахунок можливості управління системою за допомогою ПК.

Для досягнення вказаних переваг лазерної системи комп'ютер повинен мати швидкодію $10^4 \div 10^5$ оп/с і невеликий об'єм оперативної пам'яті за рахунок здійснення операцій опрацювання оптичної інформації безпосередньо у самому первинному перетворювачі у момент її сприйняття.

Розроблено методику використання функціональних можливостей первинних оптоелектронних перетворювачів на основі інтегральних МНОП-п-р структур для підвищення ефективності попереднього опрацювання зображень у лазерній системі контролю профілю поверхні об'єктів складної форми безконтактним методом, яка сумісна з мікропроцесорними засобами керування виконавчими механізмами верстатів і забезпечує здійснення автоматичної корекції, у реальному масштабі часу, технологічного процесу виготовлення об'єктів складної форми. Результатом теоретичних розрахунків основних параметрів запропонованої і розробленої лазерної системи контролю профілю поверхні добре відповідають результати експериментальних досліджень макета системи.

1. Литвин І.С. Інформаційна ефективність блоків оптоелектронних пристроїв // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – Хмельницький, 2001. – № 4. – С.33–37. 2. Накао Э. *Введение в робототехнику*. – М.: Мир, 1988. – 335 с. 3. Гапонюк Я.В. Оптико-електронний пристрій для обчислення параметрів труб еліптичної форми // *Вісник НУ “Львівська політехніка”*. – Львів. – 2006. – № 551. – С. 144 – 150. 4. Кудряшов А.В., Шмальгаузен В.Н. *Стабилизированный интерферометр для исследования плоских оптических поверхностей* // *Материалы семинара “Лазеры в народном хозяйстве”*. – М.: МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1989. – С.7–12. 5. Wojcik W. *Combustion diagnosis using optical method* // *Вісник НУ “Львівська політехніка”*. – Львів. – 2006. – № 569. – С. 141 – 145. 6. Воробель Р.А. *Цифровий кусково-нелінійний гамма-коректор відеосигналу* // *Вісник НУ “Львівська політехніка”*. – Львів. – 2006. – № 420. – С. 52 – 57. 7. Литвин І.С. *Інформаційна ефективність оптичних блоків оптоелектронних інформаційних пристроїв* // *Вісник Технологічного університету Поділля*. – Хмельницький, 2007. – № 5. – С.168–174.