

ОПТИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

УДК 681.518

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХОНЬ РЕФЛЕКТОРІВ АНТЕН

© Паламар Михайло, Зелінський Ігор, Яворська Мирослава, 2015

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя,
кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем, вул. Текстильна, 28, м. Тернопіль, 46016, Україна

Запропоновано схему приладу та оптичної системи для дистанційного вимірювання координат поверхні рефлектора за принципом суміщення світлових марок від монохромних джгутів. Наведено формули для обчислення координат точок сканованої поверхні за значеннями параметрів приладу. Подано оцінки точності значень вимірюваних величин.

Ключові слова: поверхня рефлектора, дистанційне вимірювання, оптична вимірювальна система, інструментальні похибки.

Предложена схема прибора и оптической системы для дистанционного измерения координат поверхности рефлектора путем совмещения световых марок от монохромных пучков. Приведены формулы для вычисления координат точек сканированной поверхности, исходя из значений параметров прибора. Даны оценки точности значений измеряемых величин.

Ключевые слова: поверхность рефлектора, дистанционные измерения, оптическая измерительная система, инструментальные погрешности.

The scheme of the device and the optical system for reflector surface measurement is proposed. The device implements a triangulation principle in the determination of distance to a remote point. The optical system forms two coaxial light beams of equal intensity. One beam directed at a right angle to the base. At the initial stage of the measurements second beam is direct in a manner to provide beams tracks juxtaposition on the beginning of the Cartesian coordinate system tied to the scanned surface. The displacement of the light beams tracks on a surface implemented by means of turning of the base around the point of its fixing, and the basis length changing in a neighborhood of its initial length value. The values of the point coordinates are determined through the base displacement and the angle of the base rotation, provided the juxtaposition of both beams. It should be noted that beam track on the surface is observed as a diffraction pattern on the ring diaphragm in the far zone with a clear expressed main peak whose diameter at the working distance (about 2–3 m) is approximately 0.2 mm. Visual observation of beams tracks juxtaposition is conduct by means of photographic system, which contains long-focal objective, a set of filters for laser light selection and digital camera. Monitoring is conduct on the computer screen at 50-fold magnifications of main peaks. It allowed us to make a conclusion about main peaks juxtaposition with accuracy ~ 0.1 mm. The formulas to calculate the coordinates of the point on the surface scanned through base rotation angle and base length displacement are given. An analysis of the performance parameters ranges of device depending on the size of the surface scanned is made. Also the sensitivity coefficients of measured values to device parameters are assessed. It is established that the instrumental errors of the device in the range of angle changing within $(-5^\circ, 5^\circ)$ and the range of base displacement changing within $(-12\text{ cm}, 12\text{ cm})$ do not exceed fractions of tenths of a millimeter. To light beams displacement vertically there is a possibility in the device to rotate the optical system in the plane perpendicular to the base. A map of the surface deviation from the shape is formed with regard to assessments of instrumental errors in a defined range of the device settings change.

Key words: reflector surface, distance measurements, optical measurement system, instrumental errors.

Вступ. Вимоги дотримання робочого рельєфу поверхні в межах заданої точності є важливим технологічним завданням машинобудівного виробництва. Зокрема, у ракетно-космічному машинобудуванні особ-

ливою гостротою відрізняється технологічна задача регулювання форми поверхні великих розкривних антен для космічного зв'язку, коли за габаритних розмірів антени 3–20 м необхідно обмежити відхилення точок

поверхні рефлектора від теоретичного контуру рівнем $\pm 0,3$ мм. Вимірювання актуальні як під час виготовлення антени та її монтажу, так і під час періодичного контролю поверхні рефлектора в процесі роботи [1, 2].

Використовувані підходи до вимірювання поверхні рефлектора можна розділити на контактні й безконтактні. До контактних належать методи контролю, основані на використанні контрольних шаблонів і мікрометричних вимірювальних засобів (вимірювання за допомогою щупів і датчиків переміщення) [3]. Основними вадами контактних методів контролю форми є вплив процесу вимірювання на поверхневий шар досліджуваної поверхні, а також низькі точність та швидкодія, що ускладнює використання їх в інформаційно-вимірювальних системах.

Безконтактні методи контролю поверхні, які побудовані за дистанційним принципом вимірювання і використовують поширення оптичних, ультразвукових чи електромагнітних сигналів, позбавлені цих недоліків, однак, як правило, потребують складної та дорогої апаратури і високоточного виконання використовуваних механічних вузлів вимірювальної системи [6]. Тому питання розроблення спряженого з системою опрацювання даних вимірювального пристрою координат поверхні, який би поєднував переваги дистанційного принципу вимірювання і був доступний у реалізації та застосуванні, залишається актуальним [4, 5].

Метою роботи є розроблення вимірювально-інформаційної системи для отримання карти поверхні рефлектора антени на основі оптичної системи, що реалізує принцип суміщення світлових марок від монохромних джгутів.

Опис установки

Оптичну схему пристрою для дослідження форми поверхні дзеркала антени зображено на рис. 1, а.

Когерентний пучок від He-Ne лазера 1 розширюють системою лінз 2, пропускають через амплітудну кільцеву діафрагму 3 і направляють прямокутною призмою 4 на світлоподілювач 5 (призма – куб). Світлоподілювач утворює два співвісні та протилежно спрямовані пучки W1 і W2. Для вирівнювання інтенсивності обох джгутів за ходом пучка W1 встановлено нейтральний світлофільтр 6. Прямокутною призмою 7 пучок скеровують на дослідну поверхню S. Пучок W2 скеровують на дослідну поверхню S за допомогою дзеркала 8, встановленого під фіксованим кутом до основи. Для суміщення сліду пучка W2 з слідом пучка W1 на поверхні S позицію закріплення дзеркала 8 можна переміщати вздовж основи в межах деякої відстані ΔL .

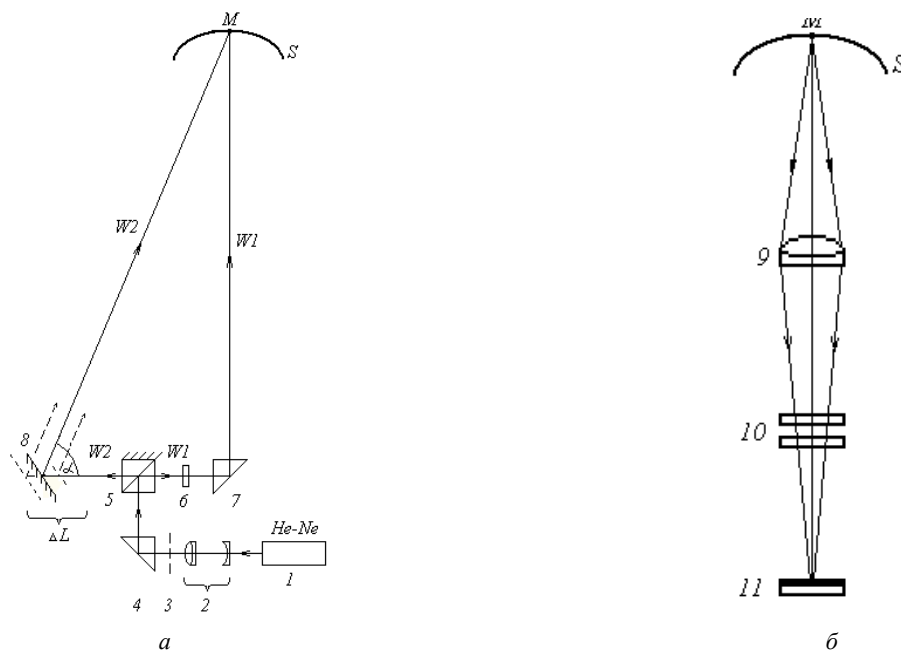


Рис. 1. Оптична схема пристрою

Fig. 1. Optical scheme of the device

Зауважимо, що сліди пучків W1, W2 спостерігають на поверхні S у вигляді картин дифракції світла на

кільцевій діафрагмі 3 в дальній зоні з чітко вираженими головними максимумами на значній

відстані по ходу пучків (~ 2–3 метри). Так, на поверхні S , на відстані від пристрою близько 3 м, діаметр максимумів дифракції досягав ~ 0.2 мм.

Для візуального спостереження та контролю за суміщенням обох пучків використано фотографічну систему (рис. 1, б). Вона складалася з довгофокусного об'єктива 9, набору світлових фільтрів 10 для селекції лазерного випромінювання та цифрової фотокамери 11. Спостереження проводили на моніторі комп'ютера з ~50-кратним збільшенням головного максимуму, що дало змогу отримати картину суміщення центрів пучків з точністю ~0,1 мм.

Обчислення координат та аналіз похибок. Для визначення координат контрольних точок у системі координат XOY , прив'язаній до досліджуваної

поверхні, відстань l між призмою K і позицією закріплення дзеркала N і кут повороту дзеркала φ виставляють такими, щоб світлові марки від обох пучків сумістити в початку координат, що розташований на відстані h від позиції $S1$ (рис. 2). Тоді

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{h}{l}. \quad (1)$$

Для визначення координат (x, y) довільної точки M цієї поверхні промінь $S1$ спрямовують у M поворотом шини KN навколо O на кут α , а промінь $S2$ – зміщенням дзеркала N на відстань d вздовж шини KN (рис. 2, б).

З геометричних міркувань

$$x = (l+d)\operatorname{tg} 2\varphi \sin \alpha + r - r \cos \alpha.$$

$$y = h - (l+d)\operatorname{tg} 2\varphi \cos \alpha - r \sin \alpha.$$

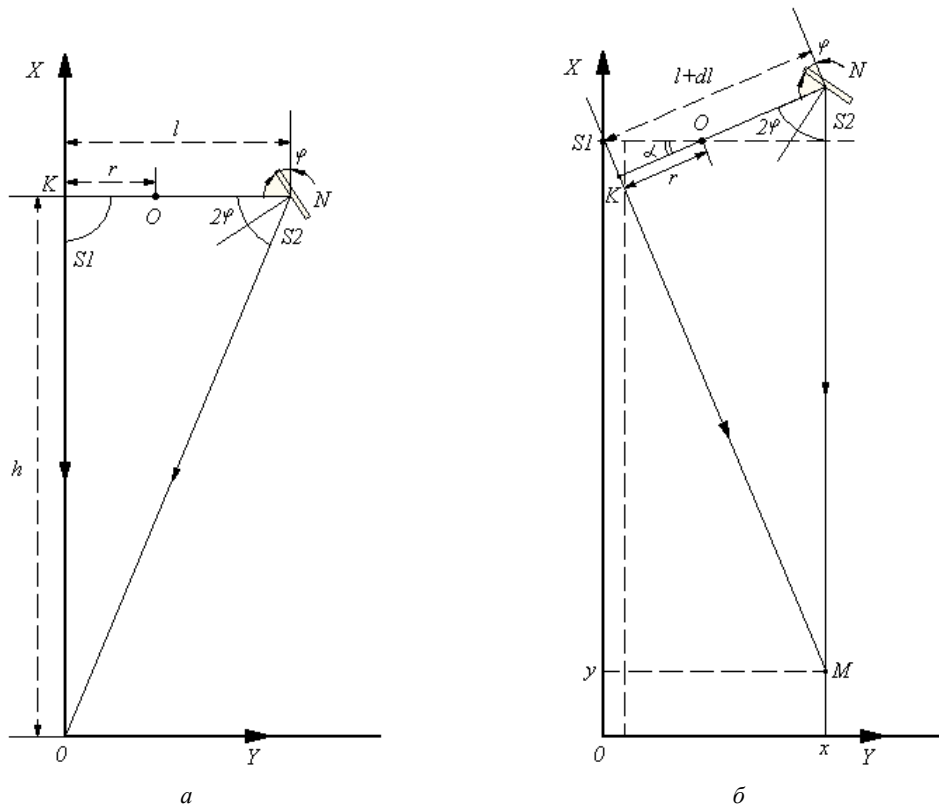


Рис. 2. Геометрична схема пристрою

Fig. 2. Geometrical scheme of the device

з урахуванням (1) отримуємо формули перерахунку координат (x, y) за значеннями l і d , виставленими з накладанням світлових марок обидвох пучків у M :

$$x = \left(\frac{h}{l} \sin \alpha \right) d + h \sin \alpha + r(1 - \cos \alpha).$$

$$y = \left(-\frac{h}{l} \cos \alpha \right) d + h(1 - \cos \alpha) - r \sin \alpha. \quad (2)$$

Згідно з (2) чутливість вимірального засобу до зміщення d становить

$$S_{xd} = \frac{h}{l} \sin \alpha, \quad S_{yd} = \frac{h}{l} \cos \alpha,$$

а до кута повороту α –

$$S_{x\alpha} = \left(h + \frac{hd}{l} + r \right) \cos \alpha, \quad S_{y\alpha} = h \left(1 + \frac{d}{l} \right) \sin \alpha - r \cos \alpha.$$

Зважаючи на технічні можливості установки щодо похибок Δ_d і Δ_a у визначенні d і α , інструментальні похибки у вимірюванні координат контрольних точок поверхні обмежені значеннями:

$$\Delta_x \leq |S_{xd}| \Delta_d + |S_{xa}| \Delta_a$$

$$\Delta_y \leq |S_{yd}| \Delta_d + |S_{ya}| \Delta_a \quad (3)$$

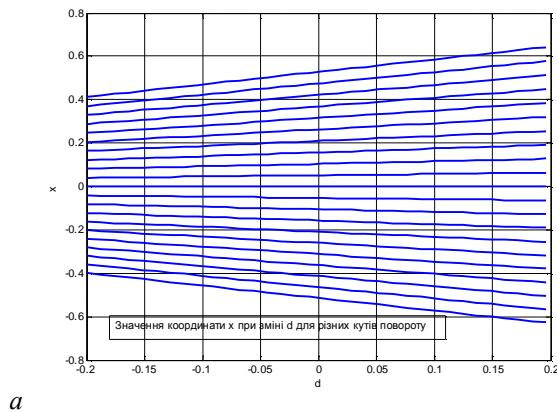
Діапазон зміни d і α попередньо можна оцінити зі співвідношень (2), враховуючи максимальні розміри

досліджуваної поверхні. На рис. 3, а, б наведено графічні залежності для оцінювання області зміни вимірюваних координат у разі зміни параметрів налаштування

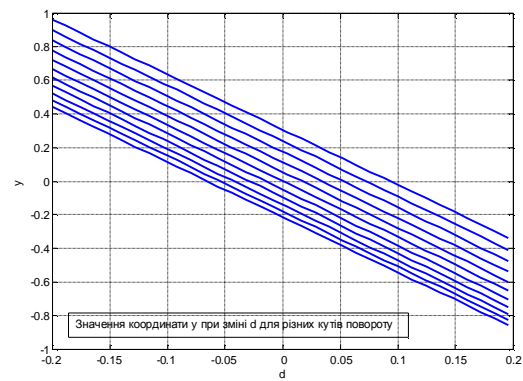
$$d \in (-.2m \div .2m), \quad a \in (-10^0 \div 10^0)$$

Оцінки похибок вимірюваних координат поверхні залежно від комбінації значень параметрів d і α установки подано на рис. 4, а, б за умови, що

$$\Delta_d = 10^{-5} m, \quad \Delta_a = 1'$$



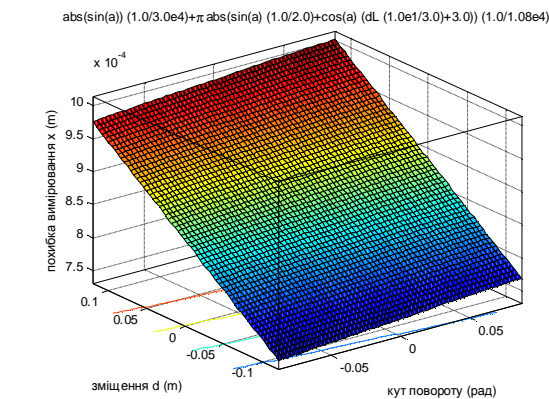
а



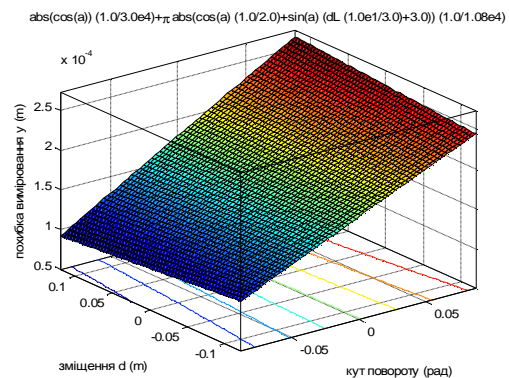
б

Рис. 3. Область зміни координат x (а), y (б) у разі зміщення d для кутів повороту $\alpha = [-10^\circ, +10^\circ]$

Fig. 3. Coordinates x (а), y (б) change region depending on d at angles $\alpha = [-10^\circ, +10^\circ]$



а



б

Рис. 4. Область зміни похибок у визначенні координат x (а), y (б) за зміщення $d = [-12 \text{ см}, +12 \text{ см}]$ і кутів повороту $\alpha = [-10^\circ, +10^\circ]$

Fig. 4. The range of errors x (а), y (б) determination changes at $d = [-12 \text{ cm} + 12 \text{ cm}]$ and angles $\alpha = [-10^\circ, +10^\circ]$

Для зміщення світлових пучків по вертикалі в пристрої забезпечена можливість повороту описаної системи на деякий кут β у площині, перпендикулярній до основи KN . Карту відхилень поверхні від заданої форми будуюмо з урахуванням оцінок (3) у визначеному діапазоні зміни d , α і β .

Висновок. Запропоновано підхід, який дає змогу в низьковитратний спосіб виконувати лабораторні дистанційні вимірювання координат криволінійних поверхонь під час їх виготовлення, монтажу та перевірок у процесі експлуатації. Функціональні можливості установки та способи

підвищення точності вимірювань досліджено експериментально та під час моделювання процесу вимірювання. В роботі наведено формули для обчислення координат точок сканованої поверхні за значеннями кута повороту бази та зміною її довжини. На основі розрахункових співвідношень здійснено оцінки областей зміни робочих характеристик пристрою залежно від розмірів сканованої поверхні. Також дано оцінки коефіцієнтів чутливості вимірюваних значень координат до параметрів пристрою, покладених в основу обчислень. Встановлено, що у разі забезпечення точності вимірювання лінійних розмірів у межах 0.01 мм, а кутових розмірів у межах 1' інструментальні похибки пристрою за зміни кута бази в межах (-5°, 5°) і зміни довжини бази в діапазоні (-12 см, 12 см) не перевищують десятих часток міліметра.

1. Поляк В. С. Прецизионные конструкции зеркальных радиотелескопов: Опыт создания, проблемы

анализа и синтеза / В. С. Поляк, С. Я. Бервалдс. – Рига: Зинатне, 1990. – 526 с. 2. Bolli P., Mazzarella G., Montisci G., Serra G., An Alternative Solution for the Reflector Surface Retrieval Problem // Progress In Electromagnetics Research, PIER 82, 167-188 (2008). 3. Бойко С. В. Автоматизація підготовки виробництва корпусних деталей методом зворотного інжинірингу // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 2(65). – С. 78–85. – (Технічні науки). 4. Паньків Х. В. Системи для безконтактного вимірювання координат точок поверхні стінки вертикальних сталевих резервуарів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 2(51). 5. Зелінський І. М. Схема оптичного пристрою для визначення відхилень поверхні від теоретичної / Зелінський І. М., Яворська М. І. // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 177–181. – (приладобудування та інформаційно-вимірювальні технології). 6. Комплексное применение трехмерного лазерного сканирования и технологий AVEVA для контроля строящихся объектов [Электронный ресурс] // САПР и графика. – 2012. – № 9. – Режим доступа: <http://www.sapr.ru/issue.aspx?iid=1071>.

УДК 681.5, 621.3

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ КУТОВИЙ СЕНСОР ДЛЯ АНТЕННИХ СИСТЕМ ТА ЙОГО МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

© Паламар Михайло¹, Чайковський Андрій¹, Лупенко Анатолій², 2015

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя,

¹кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем, ²кафедра світлотехніки та електротехніки,
вул. Текстильна, 28, м. Тернопіль, 46016, Україна

Запропонована електронно-оптична схема, конструкція та алгоритм функціонування оптоелектронного сенсора абсолютних кутових положень з функціями виявлення та компенсації низки похибок, що виникають у механічних вузлах обертового механізму, за допомогою опрацювання інформації мікроконвертором у самому сенсорі. Виконано метрологічний аналіз сенсора й оцінку джерел похибок за результатами моделювання та експериментальних досліджень. Інтелектуальний сенсор орієнтований на використання у системах керування наведенням антенних комплексів космічного зв'язку.

Ключові слова: кутівий сенсор, антенна система, інструментальні похибки, система керування, дистанційне зондування Землі, оптична лінійка.

Предложена электронно-оптическая схема, конструкция и алгоритм функционирования оптоэлектронного сенсора абсолютных угловых положений с функциями обнаружения и компенсации ряда погрешностей, возникающих в механических узлах вращающегося механизма, путем непосредственной обработки информации микроконвертором в самом сенсоре. Проведен метрологический анализ сенсора и оценка источников погрешностей по результатам моделирования и экспериментальных исследований. Сенсор ориентирован на использование в системах управления наведением антенных комплексов космической связи.