

СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 620.179:531.7

¹В.П. Бабак, чл.-кор. НАН України²В.М. Шмаров, канд. техн. наук

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНОГО ФАКТОРА НА ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СВІТЛОДАЛЕКОМІРІВ

¹Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail: iidsu@ukrpost.net²Аерокосмічний інститут НАУ

Проаналізовано можливості визначення координат точок поверхні великогабаритних виробів за допомогою світлодалекомірів. На прикладі вимірювальної системи з двома фазовими світлодалекомірами розглянуто вплив геометричного фактора на розрізняльну здатність визначення координат точок поверхні. Розглянуто можливі конструкційні особливості вимірювальних систем, які спрямовані на зменшення дії геометричного фактора.

Вступ

Проблема експериментального визначення геометричних особливостей поверхонь великогабаритних виробів є дуже складною. Це пов'язано з необхідністю проведення вимірювання координат точок поверхні з достатньою точністю [1]. При цьому, чим точніше виміряні просторові координати поверхні, тим легше розрізнити дві різні точки на ній, і, отже, відтворити і саму форму досліджуваної поверхні.

При визначенні координат точок поверхні вимірювання відстаней до них відносно деякої фіксованої точки необхідно проводити з урахуванням напрямку на вимірювані точки. Щоб підкреслити важливість і значущість розрахунку напрямів відзначимо, що можливі ситуації, коли безліч точок поверхні відносно деякої вихідної точки можуть знаходитися на тій самій відстані від неї.

Очевидно, що їхнє положення на поверхні об'єкта буде різним. Воно визначається саме напрямом, уздовж якого проводиться вимірювання відстані до кожної точки. Таким чином, задача відтворення поверхні шляхом визначення координат її точок вимагає розробки методу вимірювання відстаней до різних точок поверхні при одночасній реєстрації напрямів, уздовж яких вимірюються відстані.

Зазначимо, що розв'язання задачі з визначення геометричних особливостей поверхні великогабаритних виробів і вибір методу залежать, передусім, від лінійних розмірів самих виробів і від геометричної неоднорідності їхньої поверхні. З цієї точки зору найбільш оптимальним (причому найменш трудомістким) є метод, що використовує оптичне когерентне випромінювання від лазерних джерел [2]. У цьому методі обов'язково реєструється та аналізується відбите світло від поверхні. При цьому ділянку відображення світ-

ла від поверхні можна зробити досить малою, так що фіксуватимуться дуже вузькі пучки відбитого світла. Зрозуміло, що такі виділені пучки відбитого світла досить точно задають напрям на досліджувану ділянку поверхні.

Отже, напрям вимірювання в даному методі враховується "тривіально", тоді як у найпростішому методі механічних вимірів визначити напрям дуже складно [3].

У даній статті проведено теоретичне визначення координат точок поверхні великогабаритних виробів з використанням фазового далекоміра та врахуванням впливу геометричного фактора. Зазначимо, що досліджуються поверхні тіл з лінійними масштабами, що приблизно дорівнюють 1 м та більше, і формою, кривизна якої не зазнає різких стрибкоподібних змін, а радіуси її мають той самий порядок (приблизно 1 м).

Визначення відстаней до поверхні з використанням оптичного випромінювання

Розглянемо світлову хвилю, що поширюється від джерела світла (рис. 1, точка *A*) до поверхні, досліджувана область якої (рис. 1, точка *B*) розташована перпендикулярно хвилі. Будемо вважати, що приймач світла також знаходиться в точці *A*.

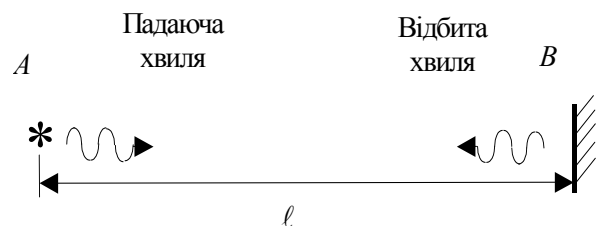


Рис. 1. Поширення світлової хвилі від джерела випромінювання до досліджуваної поверхні:

A – джерело випромінювання світлової хвилі;

B – відбиваюча поверхня;

Світлова хвиля після дзеркального відбиття від поверхні поширюється назад до джерела і через якийсь час τ повернеться до точки A . Величина цієї тимчасової затримки τ визначається з рівняння

$$\tau = 2\ell / c,$$

де ℓ – відстань від джерела світла до відбиваючої поверхні; c – швидкість поширення світлової хвилі.

Якщо взяти відстань між джерелом випромінювання і поверхнею $\ell = 1\text{ м}$, то час цієї затримки буде становити

$$\tau = 2/3 \cdot 10^{-8} \approx 6,7 \cdot 10^{-9} \text{ с.}$$

Однак слід зазначити, що при визначенні відстані до точок поверхні з врахуванням часу затримки важливим є не сам час τ , а величина його змінення при переході до іншої сусідньої точки поверхні. Як приклад на рис. 2 показаний випадок, коли розглядаються дві точки відбиття B і B' поверхні, положення яких зміщене на відстань $\Delta\ell$ на прямій, уздовж якої поширюється падаюча хвиля.

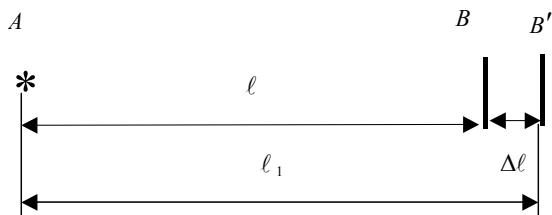


Рис. 2. Положення двох точок відбиття B і B' , розташованих одна від одної на відстані $\Delta\ell$

Якщо світлові хвилі надходять на приймач, розташований у точці A , то час затримок τ і τ' світлових хвиль, відбитих від точок B і B' , буде відрізнятися на величину

$$\Delta\tau = \tau' - \tau,$$

яка пропорційна різниці відстаней $\Delta\ell$, причому

$$\Delta\tau = 2\Delta\ell / c.$$

Для оцінки $\Delta\tau$ будемо вважати, що точки B і B' рознесені на відстань $\Delta\ell = 1\text{ мм}$. Тоді отримаємо, що різниця часу затримки

$$\Delta\tau = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^8 \approx 6,7 \cdot 10^{-12} \text{ с.}$$

Як бачимо, значення $\Delta\tau$ вкрай мале. Вимірювання сьогодні викликає великі труднощі [4].

Отже, за вимірами часу затримки визначити координати точок, що лежать на поверхні, віддаленої на відстань, що приблизно дорівнює 1 м від джерела світла, дуже складно. Однак стосовно застосування цього методу потрібно зробити дуже важливе зауваження.

Проводячи подібні обчислення, можна переконалися, що за допомогою вимірів часу затримки з високою відносною точністю, можна визначити відс-

тані до об'єктів, розташованих на досить великих відстанях від приймача відбитих світлових хвиль, тобто коли $\ell \gg 1\text{ м}$. Подібна вимірювальна система розглянута, наприклад, у праці [5].

Для вимірювання відстаней до об'єкта можна, використовувати і явище інтерференції когерентних хвиль світла [6]. Для цього розглянемо результат накладення двох хвиль світла в точці прийому A після їхнього відображення від двох точок: точки D , положення якої відомо, а відстань L до неї від точки прийому задано з умов проведення експерименту, і точки C , що знаходиться на досліджуваній поверхні (рис. 3).

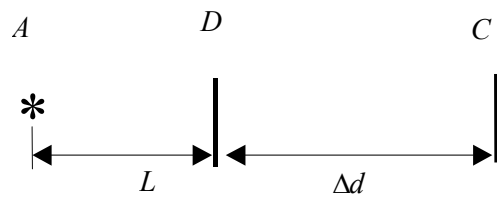


Рис. 3. Розташування джерела світла A і двох відбиваючих поверхонь D і C при використанні інтерференційного методу:

L – відстань, фіксована від точки прийому A

При цьому невідома відстань Δd , що і повинна бути визначена в ході вимірювань.

Для простоти будемо вважати, що амплітуди хвиль, відбитих від точок D і C , однакові і дорівнюють E_0 . Тоді амплітуда результуючого коливання електричного поля чи хвилі після додавання двох відбитих хвиль при поверненні їх до джерела випромінювання (точка A) буде дорівнювати

$$E = 2E_0 \left| \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} 2\Delta d \right) \right|, \tag{1}$$

де $2\Delta d$ – оптична різниця ходу; λ – довжина хвилі світла (наприклад, 0,63 мкм для червоного кольору).

Визначимо умови, коли амплітуда обумовлена відповідно до відношення (1) має максимальне значення. Це можливо, коли модуль косинуса дорівнює одиниці, а відстань Δd

$$\Delta d = \pm \frac{k\lambda}{4}, \tag{2}$$

де k – число, яке дорівнює 0, 1, 2, 3,...

Аналогічні співвідношення можна одержати для мінімальної амплітуди результуючих коливань та інших її значень.

Отже, з амплітуди результуючих коливань можна визначити відстань Δd . Однак з відношення (2) випливає, що для цього потрібно проводити розрахунок k , що досить складно.

Інтерференційний метод визначення відстані, заснований на хвильових властивостях світла, що дозволяє вимірювати відстані з дуже великою точністю порівняно з довжиною хвилі і використовується як один з методів контролю якості обробки поверхневих шарів матеріалів [7]. Його реалізація можлива за умови, що поверхні мають гарні відбиваючі властивості.

У задачі відновлення форми складних поверхонь задоволення даних обмежень досягти практично неможливо. Зазначимо також, що при використанні цього методу точні вимірювання відстані можна проводити тільки у строго визначених, заданих напрямках, що викликає додаткові труднощі.

Розглянемо ще один метод, що дозволяє визначити відстані від приблизно 1 м та більше. Він заснований на використанні двомодового лазерного випромінювання [8], коли амплітуда світлового випромінювання лазера промодульована низькочастотною складовою. У цьому випадку амплітуда коливань описується стандартним відношенням

$$E = E_0(1 + \alpha \cos \Omega t),$$

де α – коефіцієнт модуляції (причому $\alpha < 1$); Ω – частота модуляції, яка набагато менша за частоту коливань світлової хвилі.

Провівши розрахунок фази низькочастотних коливань після того, як світлова хвиля відбилася від точки B і повернулася до точки A (рис. 1), робимо висновок, що ця фаза залежить від відстані ℓ

$$\varphi = \Omega \tau = 2 \frac{\Omega \ell}{c},$$

чи

$$\varphi = 4\pi \nu \frac{\ell}{c}, \quad (3)$$

де ν – частота амплітудної модуляції; ℓ – вимірювана відстань; c – швидкість поширення світла.

Відповідно до відношення (3) зміна фази при відображенні світлової хвилі від двох точок B і B' (рис. 2) буде дорівнювати

$$\Delta\varphi = 4\pi \nu \frac{\Delta\ell}{c}. \quad (4)$$

Проведемо оцінку величини $\Delta\varphi$, наприклад, для $\nu_n = 800$ МГц і $\Delta\ell = 1$ мм. Підставивши дані значення у відношення (4), отримаємо, що $\Delta\varphi \approx 34 \cdot 10^{-3}$ рад чи $\Delta\varphi \approx 1,9^\circ$. Вимірювання величин такої різниці фаз не викликає труднощів, а це означає, що точки, відстані до яких відрізняються на $\Delta\ell = 1$ мм, будуть при використанні даного методу помітними. Вимірвальні систе-

ми, робота яких заснована на вимірюванні фази, будемо називати фазовими світлодалекомірами (фазовими далекомірами).

Однією з важливих переваг розглянутого методу оптичної фазової далекометрії є простота визначення напрямку, уздовж якого вимірюються відстані до ділянок досліджуваної поверхні. При цьому напрямки визначаються інструментальним способом. Такі вимірвальні системи часто називають далекомірами.

Вплив кривизни поверхні на вимірювану відстань при використанні фазових далекомірів

Оцінки можливостей методів, наведених вище, отримані за умов, що відбиття світлової хвилі здійснювалося дзеркальною ділянкою поверхні, розташованою перпендикулярно до напрямку падаючого на неї світла. Очевидно, що при визначенні геометричних особливостей поверхні довільної форми ця умова не буде виконуватися.

Розглянемо довільну поверхню, на яку падає світлова хвиля (рис.4).

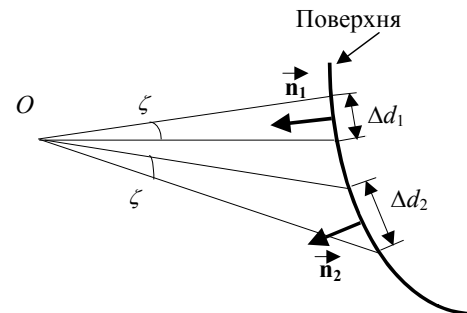


Рис. 4. Відбиття світла від ділянок поверхні довільної форми:

O – точка розташування фотоприймача; Δd_1 , Δd_2 – розміри ділянок відбиваючої поверхні; ζ – тілесний кут, що обмежує пучок світла, який надходить на фотоприймач; \vec{n}_1 , \vec{n}_2 – одиничні вектори нормалі до ділянок відбиваючої поверхні

Будемо вважати, що пучок світла, зареєстрований фотоприймачем далекоміра, що надходить від вільно спрямованої ділянки поверхні, залишається геометрично незмінним, або, іншими словами, обмежуючий його тілесний кут залишається постійним. Зазначимо, що ця умова початково визначена характеристиками фотоприймача, що реєструє випромінювання. Зрозуміло, що для складної поверхні тому самому тілесному куту будуть відповідати за площею та розмірами різні ділянки на даній поверхні.

На рис. 4 показано як промені світла від освітленої поверхні збираються фотоприймачем, розташованим у точці O . При цьому розглянуті дві, обрані довільно, орієнтації фотоприймача.

З рис. 4 видно, що, незважаючи на однакові тілесні кути ζ , що обмежують пучки світла, яке реєструється фотоприймачем, розміри ділянки відбиваючої поверхні, відрізняються один від одного, тобто $\Delta d_1 \neq \Delta d_2$. Така відмінність у розмірах ділянок зв'язана з різними положеннями й орієнтацією розглянутих ділянок поверхні щодо фотоприймача.

Орієнтацію ділянок поверхні на рис. 4 задають одиничні вектори нормалі до них \vec{n}_1 і \vec{n}_2 .

Розглянемо вплив нахилу відбиваючої поверхні на вимірювання відстані до неї за допомогою фазового далекоміра. Для цього візьмемо ділянку поверхні, що складає кут φ з напрямом, уздовж якого проводиться вимірювання відстані.

На рис. 5 даний напрям позначений пунктирною лінією, фотоприймач розташований у точці O , ділянка поверхні, з якої збирається пучок відбитого світла, обмежена кутом ϕ .

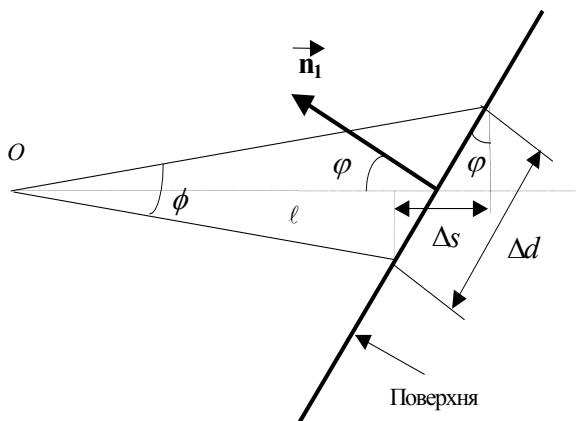


Рис. 5. Розташування відбиваючої поверхні під кутом до напрямку, уздовж якого проводиться вимірювання:

Δd – розмір ділянок відбиваючої поверхні; \vec{n}_1 – одиничний вектор нормалі до ділянки відбиваючої поверхні; ϕ – тілесний кут, що обмежує пучок світла, який надходить на фотоприймач; φ – кут між нормаллю поверхні і напрямом, уздовж якого проводиться вимірювання відстані

З рис. 5 видно, що проекції на напрям вимірювання крайніх точок розглянутої ділянки поверхні, що дають внесок в аналізоване випромінювання та знаходяться на відстані Δs одна від одної.

Відстань Δs визначається з виразу

$$\Delta s = \Delta d \sin \varphi, \quad (5)$$

де Δd – відстань між двома крайніми точками розглянутої ділянки поверхні.

З урахуванням прийнятого позначення для відстані l між ділянкою поверхні і точкою O вираз (5) запишемо у вигляді

$$\Delta s = 2l \sin \frac{\phi}{2} \operatorname{tg} \varphi. \quad (6)$$

У виразі (6) множник перед тангенсом дорівнює поперечному розміру досліджуваного пучка на відстані l від точки розташування фотоприймача O .

Виникнення невизначеності Δs , викликаного відхиленням відбиваючої поверхні від напрямку вимірювання, приведе до того, що положення цієї ділянки не може бути визначено точніше. Таким чином, крім впливу фази, що приводить до помилки Δl при вимірюванні відстані l , виникають додаткові помилки, пов'язані з орієнтацією поверхні.

Визначимо кути нахилу відбиваючої поверхні, коли похибки визначення відстані пов'язані з впливом фази та орієнтацією поверхні і будуть порівняні між собою. При цьому вважатимемо, що поперечні розміри пучка на відстані l , яка дорівнює 1 м не більше за 1 см. Спочатку оцінимо величину кута φ , коли виконується рівність внесків у помилку від цих факторів, тобто, припустимо, що $\Delta l = \Delta s$. Як і раніше, вважатимемо, що $\Delta l = 1$ мм. При прийнятих значеннях одержимо, що кут $\varphi = \operatorname{arctg}(0.1) \approx 5,7^\circ$.

Це означає, що для всіх кутів більших ніж $5,7^\circ$ похибка визначення положення ділянки поверхні буде пов'язана переважно з геометричним фактором. Очевидно, що коли кут $\varphi \rightarrow \pi/2$, то виміряти відстань неможливо. Зазначмо також, що, наприклад, при $\varphi = \pi/4$ похибка буде цілком визначатися геометричним фактором, причому її значення буде дорівнювати поперечному розміру пучка.

Отже, проведений аналіз показав, що під час вимірювання координат оптичним методом з використанням фазових далекомірів, похибки при відновленні форми поверхні тіл будуть визначатися не тільки похибками виміру фази, але і геометричним фактором. Зрозуміло, що невизначеність відстані, зв'язана з орієнтацією ділянки поверхні, буде тим меншою, чим менший тілесний кут, що обмежує пучок світла, який реєструється фотоприймачем. Однак звести цей кут до нуля неможливо, тому що при зменшенні перетину пучка відбувається зменшення інтенсивності прийнятого фотоприймачем випромінювання і, як наслідок, зменшення його чутливості.

Вимірювальна система з двома фазовими далекомірами

Вплив геометричного фактора доцільніше розглянути при аналізі роботи вимірювальної системи, що складається з двох фазових далекомірів. Конструктивно така система містить два фотоприймачі, що приймають відбите світло від двох різних ділянок поверхні.

Система з двома фазовими далекомірами дозволяє вимірювати відстані в двох різних напрямках і при цьому визначати координати двох точок досліджуваної поверхні. Схематичне розташування фотоприймачів такої системи показано на рис. 6.

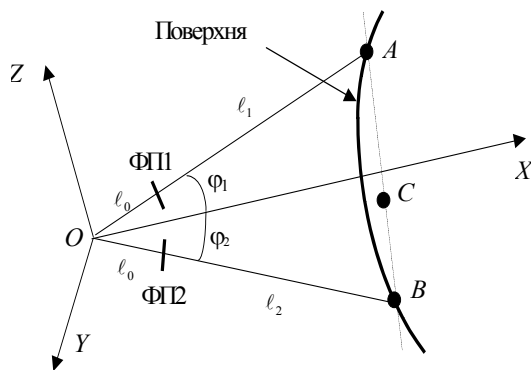


Рис. 6. Схематичне зображення вимірювання положення точок на поверхні системи з двох датчиків:

ФП1, ФП2 – відповідно, фотоприймач 1 та 2; l_0 – відстань від початку координат до фотоприймачів; φ_1, φ_2 – кути між напрямками вимірювань та віссю X ; A, B – точки на поверхні, для якої проводиться вимірювання відстаней

Напрямок вимірювання утворює площина, у якій визначимо координатні осі X та Y . Початок системи координат виберемо в точці перетинання напрямів вимірювань (рис. 6, точка O). Третю вісь Z направимо перпендикулярно до площини вимірювальної системи (площини XY). Напрямок фотоприймачів (напрями, уздовж яких вимірюються відстані) утворять з віссю X кути φ_1 і φ_2 . Фотоприймачі знаходяться на однаковій відстані l_0 від початку розглядуваної системи координат.

При використанні такої вимірювальної системи будуть визначені відстані від точки O до точок A та B , розташованих на досліджуваній поверхні. Саме точки A і B знаходяться на перетинах напрямів вимірювань, що задаються орієнтацією фотоприймачів з поверхнею. Як видно з рис. 6, відстані до точок A і B дорівнюють:

$$|AO| = l_0 + l_1, |BO| = l_0 + l_2.$$

Тоді координати точок A і B можна записати у вигляді

$$A = ((l_0 + l_1)\cos\varphi_1, (l_0 + l_1)\sin\varphi_1, 0); \quad (7)$$

$$B = ((l_0 + l_2)\cos\varphi_2, -(l_0 + l_2)\sin\varphi_2, 0). \quad (8)$$

Зазначимо, що z координати обох точок дорівнюють нулю.

Якщо провести вимірювання координат точок A та B , то можна знайти і відстань між ними.

Дійсно,

$$L = |AB| = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} = \sqrt{((l_0 + l_1)\cos\varphi_1 - (l_0 + l_2)\cos\varphi_2)^2 + ((l_0 + l_1)\sin\varphi_1 + (l_0 + l_2)\sin\varphi_2)^2}, \quad (9)$$

де x_A, y_A, x_B, y_B – відповідно координати точки A – вираз (7) і точки B – вираз (8).

Крім цього, вимірювання координат двох точок поверхні системою з двома фазовими далекомірами дозволяє визначити параметри рівняння лінії, яка з'єднує точки A та B . Визначення рівняння прямої, що проходить по двох точках, важливо при розв'язанні задачі визначення положення довільної точки, яка знаходиться на цій лінії. Наприклад, це може бути середня точка, що на рис. 6 позначена C .

Запишемо рівняння прямої, яка проходить через дві точки A і B , враховуючи, що їх координати задані відношеннями (7) та (8):

$$y = \frac{x - (l_0 + l_1)\cos\varphi_1}{(l_0 + l_2)\cos\varphi_2 - (l_0 + l_1)\cos\varphi_1} \cdot (- (l_0 + l_2)\sin\varphi_2 + (l_0 + l_1)\sin\varphi_1) \quad (10)$$

У рівнянні (10) x та y – це довільні координати точок, що лежать на прямій, яка проходить через точки A і B .

Відношення множника і знаменника в дужках у виразі (10) визначає напрям розглянутої прямої у власній системі координат.

Рівняння прямої (10) визначено у власній системі координат, зв'язаної з вимірювальною системою. Одержати координати точок прямої в будь-якій іншій системі координат, названій лабораторною системою координат, можна тільки після визначення операцій переходу від власної системи до лабораторної.

Отже, вимірювальна система з двома фазовими далекомірами дозволяє визначити відстань між двома точками, рівняння прямої, що з'єднує ці точки, а також орієнтацію цієї прямої в просторі. Це у свою чергу дозволяє знайти також положення всіх точок, що лежать на досліджуваній прямій, відстані до них, а також визначити паралельність чи можливість перетинання вже двох різних прямих.

Розглянута задача визначення відстані між двома точками, розташованими на поверхні вимірювальної системи з двома датчиками важлива з точки зору впливу геометричного фактора на точність методу фазової далекометрії.

На рис. 7 схематично зображені напрями, уздовж яких вимірюються відстані до точок A та B поверхні, і вектори нормалей \vec{n}_1 і \vec{n}_2 до поверхні в цих точках. Кути між розглянутими напрямками і векторами позначені відповідно ψ_1 і ψ_2 .

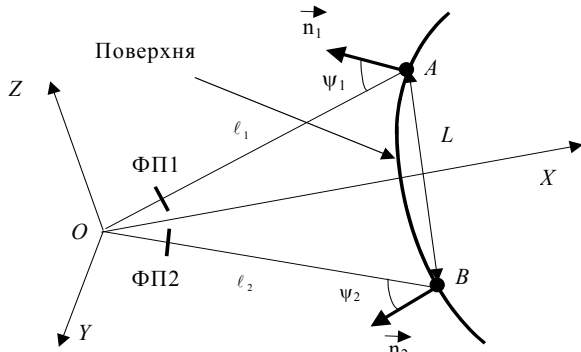


Рис. 7. Взаємне розташування напрямів вимірювання відстаней і векторів нормалей \vec{n}_1 , \vec{n}_2 до досліджуваних точок A і B поверхні ψ_1, ψ_2 – кути між напрямками вимірювань і нормальними до поверхні в точках A і B ; L – відстань між досліджуваними точками поверхні

Нехай кутові характеристики пучків світла, що збираються фотоприймачами, будуть однаковими: мова йде про кути ϕ , які обмежують пучки світла (див. рис. 5). З виразу (6) визначимо поперечні розміри ділянок Δs_1 , Δs_2 поверхні у точках A і B , які будуть дорівнювати відповідно

$$\Delta s_1 = 2\ell_1 \sin \frac{\phi}{2} \operatorname{tg} \psi_1, \quad (11)$$

$$\Delta s_2 = 2\ell_2 \sin \frac{\phi}{2} \operatorname{tg} \psi_2. \quad (12)$$

Тепер можна оцінити інтервал похибки визначення відстані L між точками A і B . При цьому ΔL розраховуємо за формулою

$$\Delta L = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial \ell_1} \Delta s_1\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial \ell_2} \Delta s_2\right)^2} = \frac{\sqrt{\left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \cos \phi_1 - \left(\ell_0 + \ell_2\right) \cos \phi_2\right) \cos \phi_1 + \left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \cos \phi_1 - \left(\ell_0 + \ell_2\right) \cos \phi_2\right)^2 + \left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \sin \phi_1 + \left(\ell_0 + \ell_2\right) \sin \phi_2\right) \sin \phi_1\right)^2 (\Delta s_1)^2 + \left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \sin \phi_1 + \left(\ell_0 + \ell_2\right) \sin \phi_2\right)^2 (\Delta s_2)^2}}{\sqrt{\left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \cos \phi_1 - \left(\ell_0 + \ell_2\right) \cos \phi_2\right) \cos \phi_2 + \left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \cos \phi_1 - \left(\ell_0 + \ell_2\right) \cos \phi_2\right)^2 + \left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \sin \phi_1 + \left(\ell_0 + \ell_2\right) \sin \phi_2\right) \sin \phi_2\right)^2 (\Delta s_2)^2 + \left(\left(\ell_0 + \ell_1\right) \sin \phi_1 + \left(\ell_0 + \ell_2\right) \sin \phi_2\right)^2}} \quad (13)$$

Відношення, подібне формулі (13), можна записати з урахуванням впливу фази. При цьому замість Δs_1 і Δs_2 у формулі (13) необхідно використовувати відповідно

$$\tilde{\Delta s}_1 = \sqrt{(\Delta s_1)^2 + (\Delta \ell_1)^2},$$

$$\tilde{\Delta s}_2 = \sqrt{(\Delta s_2)^2 + (\Delta \ell_2)^2}.$$

З відношень (11), (12) і (13) випливає, що величина ΔL залежить, насамперед, від кута ϕ , що визначає ширину світлового пучка, аналізованого фотоприймачами. Тому зменшення кута ϕ призведе також до зменшення ΔL . Але таке зменшення кута ϕ обмежене чутливістю фотоприймачів. Тому кут ϕ не може бути менше деякого критичного $\phi < \phi_{\min}$. При існуванні такого обмеження на кут ϕ треба оптимізувати спосіб розташування та орієнтації фотоприймачів, щоб зменшити вплив геометричного фактора.

Зменшення впливу геометричного фактора на поверхню (рис. 7), можна досягти в іншій конфігурації розташування фотоприймачів. Розглянемо схему, наведену на рис. 8.

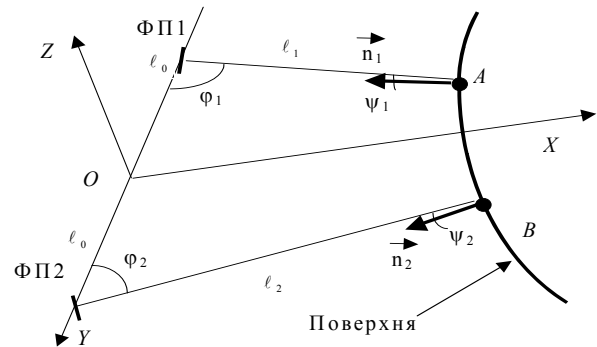


Рис. 8. Взаємне розташування напрямів вимірювання відстаней до точок поверхні A і B у випадку розбіжних пучків світла: ϕ_1, ϕ_2 – направляючі кути

Якщо на рис. 7 напрями вимірювання відстаней до точок поверхні сходилися в точці O – початку системи координат, то у вимірювальній системі, наведеної на рис. 8, ці напрями вже розходяться, хоча лежать в одній площині, що збігається з координатною площиною XY .

Для схеми з розбіжними напрямками вимірювання початок власної системи координат виберемо посередині між фотоприймачами, відстань між якими дорівнює $2\ell_0$. Направляючі кути зручно задавати відносно осі Y . Дані кути на рис. 8, позначені відповідно ϕ_1 і ϕ_2 . У такій вимірювальній системі координати точок A та B досліджуваної поверхні будуть дорівнювати

$$A = (\ell \cos \phi_1, -\ell_0 + \ell_1 \sin \phi_1, 0);$$

$$B = (\ell_2 \cos \phi_2, \ell_0 - \ell_2 \sin \phi_2, 0).$$

Значимо, що z координати обох точок у власній системі дорівнюють нулю. З цього випливає, що зміниться вигляд виразів (9), (10) і (13). При цьому, наприклад, відношення для відстані між точками A і B запишемо у вигляді

$$L = \sqrt{(\ell_1 \cos \varphi_1 - \ell_2 \cos \varphi_2)^2 + (2\ell_0 - \ell_1 \sin \varphi_1 - \ell_2 \sin \varphi_2)^2}. \quad (14)$$

Як видно з рис.8, кути між напрямками вимірів ψ_1 і ψ_2 та векторами нормалей до поверхні \vec{n}_1 і \vec{n}_2 у точках A і B набагато менші порівняно з вимірювальною системою, показаною на рис.7. Це призведе до значного зменшення Δs_1 і Δs_2 . Зменшення Δs_1 і Δs_2 у свою чергу дозволить підвищити чутливість вимірювальних систем у розрізненні точок на поверхні, а значить точніше розв'язувати задачу її відновлення.

Висновки

За допомогою фазових далекомірів, на основі аналізу оптичного випромінювання розв'язуються не тільки задачі визначення відстані до поверхні, але і визначаються координати точок поверхні, що дозволяє вивчати геометричні особливості поверхонь великогабаритних виробів, а також відтворювати геометричну форму поверхні.

Важливо, що крім інструментальної похибки, позначається на результатах визначення координат точок поверхні, необхідно враховувати і вплив геометричного фактора. Його дія при зондуванні поверхні, яка знаходиться під кутом до напрямку випромінювання, призводить до невідповідності в положенні цієї поверхні. Для зменшення похибки вимірювання фотоприймачі далекомірів необхідно розташовувати відповідно до

профілю поверхні, проводити збільшення інтенсивності освітлення поверхні, щоб зменшити перетин відбитих поверхнею пучків світла, які реєструються фотоприймачами, та збільшити чутливість фотоприймачів.

Список літератури

1. *Координатные измерительные машины и их применение* / А.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
2. *Пшельски С.* Лазерная техника в исследовании геометрических параметров инженерных сооружений // *Геодезия и картография.* – №4. 1992. – С.17 – 20
3. *Плотников С.В. Быковская И.В.* Исследование и разработка триангуляционных измерителей и их промышленное применение // *Наука – производству.* – №2. – 2003. – С. 43 – 44.
4. *Лукьянов П.Д.* Лазерные измерительные системы. – М.: Радио и связь, 1981. – 455 с.
5. *Кокурин Ю.Л.* Состояние и перспективы исследований в области лазерной локации луны // *Квантовая электроника.* – Т. 3. – № 36. – 1976. – С.1189 – 1210.
6. *Меркушин Г.В.* Применение дискретных фотоприемников в интерференционных устройствах // *Оптико-механическая промышленность.* – № 6. – 1981. – С. 38 – 41.
7. *Коломийцев Ю.В.* Интерферометры. – М.: Машиностроение, 1976. – 296 с.
8. *Данильченко В.П., Андрусенко А.М., Лукин И.В., Олейник И.С.* Исследования в области метрологического обеспечения дальнометрии. – М.: Из-во НПО ВНИИМ, 1981. – С. 3 – 32.

Стаття надійшла до редакції 21.05.04.

В.П. Бабак, В.Н. Шмаров

Влияние геометрического фактора на восстановление поверхности крупногабаритных изделий с использованием светодальномеров

Проанализированы возможности определения координат точек поверхностей крупногабаритных изделий с помощью светодальномеров. На примере измерительной системы с двумя фазовыми светодальномерами рассмотрено влияние геометрического фактора на разрешающую способность определения координат точек поверхности. Рассмотрены возможные конструкционные особенности измерительных систем, направленные на уменьшения действия геометрического фактора.

V.P. Babak, V.N. Schmarov

Influence the geometrical factor on restoration a surface of large-sized products using the light distance measuring devices

The opportunities of definition points coordinates of surfaces the large-sized products usinf the light LDMD are analysed. On example of measuring system with two phase light LDMD the influence of geometrical factor to resolution of definition the points coordinates of a surface is considered. The possible constructional features of a measuring systems directed on reduction the action of geometrical factor are discussed.