

ДЕГРАДАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ СЕНСОРІВ

BIOSENSORS NANOSENSORS (PHYSICS, MATERIALS, TECHNOLOGY)

УДК 681.7.055

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2019.2.171244>

МЕТОД ІМІТАЦІЇ РІВНОМІРНОГО РУХУ ОПТИКО-ЛОКАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ

В. І. Сантоній, І. О. Іванченко, Л. М. Будіянська, Я. І. Лепіх

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при ОНУ
імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, Одеса, Україна, 65082,
тел. 723-34-61, e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua, dirsony@ukr.net

МЕТОД ІМІТАЦІЇ РІВНОМІРНОГО РУХУ ОПТИКО-ЛОКАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ

В. І. Сантоній, І. О. Іванченко, Л. М. Будіянська, Я. І. Лепіх

Анотація. Запропоновано і розроблено метод фізичного моделювання переміщення оптико-локаційного пристрою (ОЛП), заснований на імітації руху ОЛП щодо досліджуваного об'єкта шляхом сканування його поля зору по нерухомій поверхні. Обґрунтовано застосування моделюючої поверхні (МП) об'єкта, вигнутої по формі спіралі Архімеда. Визначено базове рівняння імітаційного методу. Проведено порівняльну характеристику трьох методів сканування випромінювання за спіралевидною МП за критеріями складності і області застосування різних типів ОЛП. Розроблено математичну модель імітаційного процесу, що враховує кутовий розподіл випромінювання, відбитого від дифузійної МП. Розглянуто залежність точності імітаційного процесу від кута падіння випромінювання ОЛП на МП. Визначено кутову поправку амплітуди відбитого випромінювання, що склала основу розрахункового методу компенсації кутової похибки. Проведено порівняння результатів натурних та імітаційних вимірювань дистанційних характеристик (ДХ) макета базового ОЛП з розрахунковою ДХ.

Ключові слова: оптико-локаційний пристрій, що моделює поверхню, імітація, сканування

METHOD OF IMITATION OF THE OPTICAL LOCATION DEVICE UNIFORM MOTION

V. I. Santonii, I. A. Ivanchenko, L. M. Budiianska, Ya. I. Lepikh

Abstract. A method of physical modeling of an optical-location device (OLD) movement, based on simulating the movement of the OLD relative to the object under investigation by scanning its field of view on a fixed surface, has been proposed and developed. The application of an object modeling surface (MS) bent according to the shape of the Archimedes spiral is substantiated. The basic equation of the imitation method is determined. A comparative characteristic of three methods of scanning radiation by a spiral MS according to the criteria of complexity and scope of various OLD types has been carried out. A mathematical model of the simulation process is developed, taking into account the angular distribution of the radiation reflected from the diffuse magnetic field. The dependence of the imitation process accuracy on the OLD angle of incidence of the radiation on the MP is considered. The angular correction of the reflected radiation amplitude was determined, which formed the calculation method basis for compensating the angular error. A comparison of the field and simulation measurements results of the distance characteristics (DC) of the basic OLD layout with the calculated DC was made.

Keywords: optical-location device, simulating surface, imitation, scanning

МЕТОД ИМИТАЦИИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

В. И. Сантоний, И. А. Иванченко, Л. М. Будиянская, Я. И. Лепих

Аннотация. Предложен и разработан метод физического моделирования перемещения оптико-локационного устройства (ОЛУ), основанный на имитации движения ОЛУ относительно исследуемого объекта путем сканирования его поля зрения по неподвижной поверхности. Обосновано применение моделирующей поверхности (МП) объекта, изогнутой по форме спирали Архимеда. Определено базовое уравнение имитационного метода. Проведена сравнительная характеристика трех методов сканирования излучения по спиралевидной МП по критериям сложности и области применения различных типов ОЛУ. Разработана математическая модель имитационного процесса, учитывающая угловое распределение излучения, отраженного от диффузной МП. Рассмотрена зависимость точности имитационного процесса от угла падения излучения ОЛУ на МП. Определена угловая поправка амплитуды отраженного излучения, составившая основу расчетного метода компенсации угловой погрешности. Проведено сравнение результатов натуральных и имитационных измерений дистанционных характеристик (ДХ) макета базового ОЛУ с расчетной ДХ.

Ключевые слова: оптико-локационное устройство, моделирующая поверхность, имитация, сканирование

Вступ

Основною функціональною задачею ОЛП є вимір дальності до об'єкта локації, який при швидкості його руху ~ 100 м / с не може проводитися без урахування динаміки процесу з наступних причин.

При вимірюванні дальності порядку декількох метрів час проходження дистанції світловим потоком, при зазначеному порядку швидкості, становить кілька мілісекунд, які визначають тривалість інформаційно-вимірювального процесу в ОЛП. Виходячи з цього, накладаються часові обмеження за часом на алгоритм роботи ОЛП, що включає реєстрацію дистанційної залежності вимірювального сигналу в приймально-передавальному блоці і перетворення її у часову послідовність в схемі обробки.

Крім того, динамічний діапазон зміни входних сигналів фотоприймального тракту ОЛП в залежності від дальності може досягати 100 дБ. Це призводить до виникнення нелінійних спотворень і шумових складових вимірювального сигналу, величина і структура яких визначаються швидкістю руху.

Таким чином, існує необхідність дослідження і налаштування ОЛП в умовах швидкісного руху.

Механічне моделювання руху ОЛП за допомогою складних стендів типу реактивного треку направлено на максимальне наближення до природного процесу, проте, вимагає значних матеріальних витрат [1, 2].

Комп'ютерне моделювання взаємодії ОЛП з рухомими об'єктами включає розробку його математичної моделі і алгоритму обробки вимірювальної інформації, однак обмеження рамками моделі звужує можливості аналізу [3-5]. Звідси впливає актуальність розробки більш простих і менш витратних методів моделювання переміщення ОЛП.

Підвищення рівня імітації реальних умов експлуатації ОЛП досягається в результаті фізико-математичного моделювання геометричних параметрів руху щодо об'єкта з використанням напівнатурних стендів [6, 7], що забезпечують високу точність імітації лінійного переміщення по всьому діапазону зна-

чень. Одним з найбільш ефективних є дальномірний метод моделювання переміщення ОЛП [8, 9].

Постановка задачі

Метою роботи є розробка метода фізико-математичного моделювання умов функціонування оптико-електронних систем, які вирішують проблему зниження витрат часу і коштів на експериментальні дослідження.

Методи імітації рівномірного руху ОЛП

Найбільш прийнятним для імітації рівномірного руху ОЛП являється метод фізичного моделювання, який полягає у відтворенні поверхні об'єкта і взаємодії з нею ОЛП в умовах, близьких до реальних.

Основна ідея методу імітації полягає в заміні рівномірного прямолінійного руху ОЛП відносно досліджуваного об'єкта сканування його поля зору по нерухомій МП.

При русі ОЛП відносно об'єкта змінюється дальність l , пропорційно до якої формується сигнал фотоприймача $U_{\text{фп}}$, що приймає світловий потік випромінювача, відбитий поверхнею об'єкта. Вимірювальне перетворення, здійснюване в ОЛП, має вигляд залежної від l функції f [10]

$$U_{\text{фп}} \approx f(1/l^2) \quad (1)$$

і являє собою один із законів освітленості - закон квадратів відстаней. Таким чином, рівняння (1) є математичною моделлю процесу переміщення ОЛП відносно об'єкта.

Рівномірний рух зі швидкістю v описується лінійною залежністю l від часу t

$$l = vt. \quad (2)$$

Задача імітації рівномірного руху виконується шляхом використання моделі, що представляє поверхню об'єкта вигнутою за формою спіралі Архімеда.

За визначенням спіраль Архімеда - крива, яка описується точкою, що рухається з постійною швидкістю v за радіусом r , що

обертається навколо полюса спіралі O з постійною кутовою швидкістю ω (рис. 1) [11]. Рівняння спіралі Архімеда в полярних координатах має вигляд

$$r = a\varphi, \quad (3)$$

де φ - кут повороту полярного радіуса r , a - коефіцієнт спіралі Архімеда, $a = v/\omega$.

З (3) випливає, що часова залежність r лінійна аналогічно часовій залежності l (2). Це підтверджує можливість імітації рівномірного руху ОЛП шляхом сканування випромінювання, спрямованого уздовж r , по спіралевидній МП. Базовим співвідношенням імітаційного методу є [12, 13]

$$l = a\varphi. \quad (4)$$

Методи сканування випромінювання за МП відрізняються за ступенем складності та придатності для вимірювань різних типів ОЛП [14, 15].

При механічному скануванні ОЛП розміщується в полюсі O спіралевидної МП таким чином, що його поздовжня вісь AB збігається з r (рис. 1) [16].

Імітація руху ОЛП досягається в результаті його обертання відносно поперечної осі, що проходить через полюс спіралевидної МП. Обертання ОЛП супроводжується скануванням поля зору оптичних систем по МП і зміною відстані між ними. При збільшенні φ в діапазоні $0 \dots 180^\circ$ імітується переміщення ОЛП на дальності від мінімального до максимального r в довільному напрямку.

Механічне сканування без дзеркала придатне для ОЛП з кутом розкриття діаграми спрямованості (ДС) приймально-передавальної системи понад 100° , оскільки будь-яка форма дзеркала, крім напівсферичної, не здатна забезпечити повну передачу світлових потоків.

Більшою механічною стійкістю володіє система з дзеркальним сканатором, що обертається відносно поля зору ОЛП і імітує його рух. При цьому можливі різні модифікації дзеркального сканування, що відрізняються розташуванням і обертанням площини дзеркала відносно ОЛП.

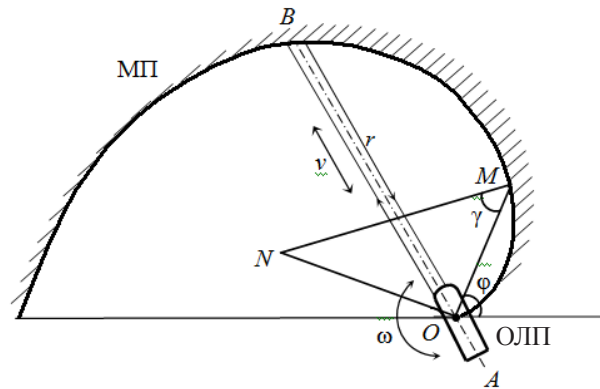


Рис. 1. Схема механічного сканування поля зору оптичних систем ОЛП по спіралевидній МП. ОЛП - оптико-локаційний пристрій, МП - моделююча поверхня, AB - поздовжня вісь ОЛП, O - полюс спіралі, r - полярний радіус, φ - кут повороту r , MN - нормаль до МП, ON - полярна поднормаль.

Вибір методу дзеркального сканування в значній мірі визначається необхідністю узгодження ДС приймально-передавальної системи ОЛП з площею дзеркала сканатора (ДС).

Розміри ДС узгоджуються з діаметром об'єктива D , кутом поля огляду β , положенням ДС - кутом установки θ між оптичною віссю ОЛП і ДС, а також з відстанню $l_{ск}$ від вхідної зони ОЛП до осі обертання. Максимальний розмір ДС характеризується довжиною великої осі еліпса D_{max} , що є перетином світлового пучка площиною ДС [14]

$$D_{max} = (D + l_{ск} \beta) / \sin \theta.$$

В одному типі сканатора площина ДС встановлюється під постійним кутом $\theta \sim 45^\circ$ відносно поздовжньої осі AB ОЛП, що збігається з віссю обертання і проходить через O (рис. 2). Обертання ДС навколо поздовжньої осі ОЛП, перпендикулярній площині розташування МП, призводить до переміщення його поля зору по МП. У процесі сканування площа ДС в поле зору ОЛП не змінюється, чим забезпечується повне перехоплення випромінюваного і відбитого світлових потоків протягом періоду сканування. Виконання умови оптичного узгодження ДС і ОЛП реалізує повну імітацію обертання ОЛП навколо поперечної осі.

Сканування з постійним кутом установки ДС переважно для ОЛП з обмеженою (більше 10°) ДН.

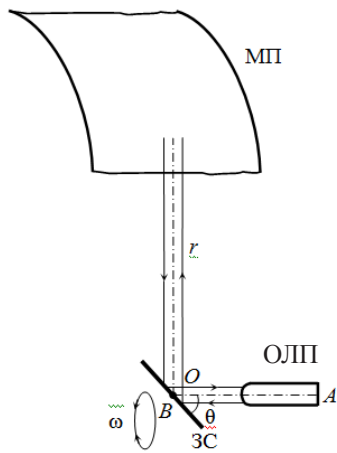


Рис. 2. Схема дзеркального сканування з постійним кутом θ між ДС і поздовжною віссю ОЛП
ОЛП - оптико-локаційний пристрій, МП - моделююча поверхня, АВ - поздовжня вісь ОЛП, ДС - дзеркало сканатора, θ - кут між АВ і ЗС, ω - напрямком обертання ДС.

В іншому типі сканатора вісь обертання ДС проходить через O перпендикулярно поздовжньої осі АВ ОЛП, суміщеної з площиною МП (рис. 3). При обертанні ДС кут θ змінюється, що призводить до зміни площі ДС в полі зору ОЛП.

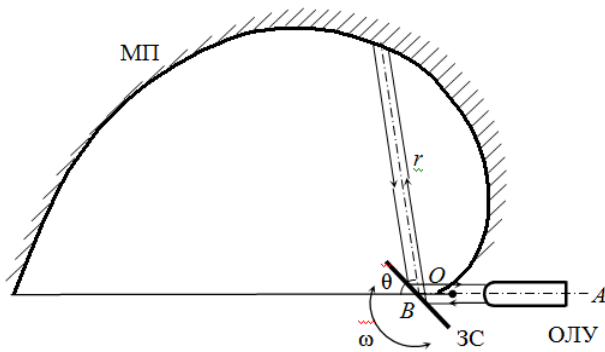


Рис. 3. Схема дзеркального сканування зі змінним кутом θ між ДС і поздовжною віссю ОЛП
ОЛП - оптико-локаційний пристрій, МП - моделююча поверхня, АВ - поздовжня вісь ОЛП, ДС - дзеркало сканатора, θ - кут між АВ і ДС, ω - напрямком обертання ДС.

В даній схемі сканування поворот ДС на деякий кут θ призводить до повороту відбитого променя на кут 2θ [14]. Таким чином, відповідно до (3), швидкість зміни r подвоюється, що створює переваги для імітації великих швидкостей руху ОЛП.

Застосування сканування оптичного випромінювання по спіралевидній МП для імітації руху ОЛП щодо об'єкта вимагає оцінки точності імітаційного процесу.

Кут падіння γ оптичного випромінювання, спрямованого уздовж полярного радіуса r , в процесі сканування по спіралі Архімеда визначається наступним чином.

Кут γ утворюється полярним радіусом $r = OM$ і нормаллю MN в точці M (рис. 1). У трикутнику OMN кут NOM становить 90° , а сторона ON - полярна поднормаль, яка у спіралі Архімеда постійна у всіх точках кривої і дорівнює коефіцієнту a (3) [17]. З трикутника OMN слідує

$$MN = \sqrt{OM^2 + ON^2} = \sqrt{r^2 + a^2}, \quad \cos \gamma = \frac{OM}{MN} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + a^2}} \quad (5)$$

Відповідно до (5)

$$\gamma = \arccos \frac{r}{\sqrt{r^2 + a^2}} \quad (6)$$

або, після підстановки (3) в (6),

$$\gamma = \arccos \frac{\varphi}{\sqrt{\varphi^2 + 1}} \quad (7)$$

Розрахункова залежність γ (φ) в діапазоні $0 < \varphi < \pi$ наведена на рис. 4, крива 1.

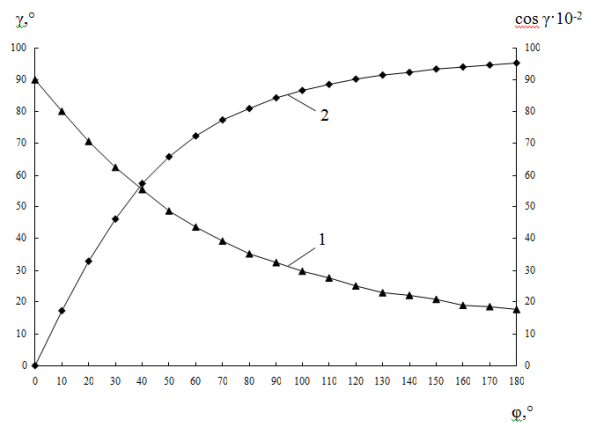


Рис. 4. Розрахункові залежності γ (φ) і $\cos \gamma$ (φ)
1 - γ (φ), 2 - $\cos \gamma$ (φ).

Поворот r навколо O в діапазоні $0 \dots 180^\circ$ супроводжується зменшенням γ від 90° на початку діапазону φ до 18° - в кінці.

Відповідно до закону Ламберта амплітуда відбитого світлового потоку пропорційна

косинусу кута відхилення від нормалі, тобто $\cos \gamma$

$$\Phi = \Phi_0 \cos \gamma, \quad (8)$$

де Φ - світловий потік, відбитий від поверхні під кутом γ ,

Φ_0 - світловий потік, відбитий від поверхні в нормальному напрямку.

З (7) випливає, що

$$\cos \gamma = \frac{\varphi}{\sqrt{\varphi^2 + 1}}. \quad (9)$$

Для ламбертової поверхні $\cos \gamma$ визначає дифузну складову відбитого випромінювання і зростає від 0 до $\sim 0,95$ в кутовому діапазоні $0 < \varphi < \pi$ (рис. 4, крива 2). При цьому властива спіралі Архімеда зміна γ вносить похибку у вимір відстані в межах одного порядку. Залежність $\cos \gamma$ (φ) визначає область найбільших відхилень Φ_0 від закону I / l^2 при $\varphi < 80^\circ$, де відносна похибка δ вимірювання Φ_0 перевищує 20%. В межах $80^\circ < \varphi < 180^\circ$ величина похибки зменшується до 9%.

Таким чином, при даному методі імітації руху амплітуда відбитого випромінювання визначається як законом квадратів відстаней (1), так і законом Ламберта (8). Оскільки $U_{\text{фп}}$ пропорційно Φ , то, з урахуванням (9), об'єднання законів має вигляд

$$U_{\text{фп}} = C \frac{\varphi}{l^2 \sqrt{\varphi^2 + 1}}, \quad (10)$$

де C - постійна, що включає такі енергетичні та оптико-геометричні характеристики ОЛП, як потужність випромінювача, площа вхідної зони оптичної системи приймача і коефіцієнт відбиття поверхні об'єкта, які не залежать від l і γ [10].

Рівняння (10) є математичною моделлю методу імітації руху ОЛП з використанням спіралевидної МП, що враховує похибку від зміни γ . Компенсація похибки, пов'язаної з динамікою γ , може проводитися аналітично.

Розрахунковий метод передбачає множення вимірюваного сигналу ОЛП на величину, зворотну $\cos \gamma$

$$\sec \gamma = \frac{1}{\cos \gamma} = \frac{\sqrt{\varphi^2 + 1}}{\varphi}. \quad (11)$$

Експериментальні результати

Ефективність розрахункового методу компенсації кутової похибки перевірялася експериментально - з використанням макета ОЛП базового типу на основі оптопарі світлодіод АЛ107 - фотодіод ФД155К. У ньому випромінювач і фотоприймач розташовуються на відстані один від одного, що становить вимірну базу b , а осі приймально-випромінювальних оптичних систем перетинаються на відстані $l_{\text{дн}}$ від ОЛП, званому дальністю настройки. В експериментальному макеті ОЛП $b = 75$ мм, $l_{\text{дн}} = 40$ см.

Залежність $U_{\text{фп}}$ від дальності МП, що описується основним енергетичним рівнянням (1) є дистанційною характеристикою (ДХ) ОЛП. Діапазон зміни $U_{\text{фп}}$ з боку великих дистанцій обмежується граничним значенням, визначеним пороговою чутливістю фотоприймача. Максимальне значення $U_{\text{фп}}$ досягається на дистанції $l_{\text{дн}}$, що обмежує область реалізації закону зворотних квадратів відстаней (1) з боку малих дистанцій внаслідок зменшення зони перекриття полів зору приймально-випромінювальних елементів ОЛП.

При вимірюванні експериментальних ДХ макета ОЛП для імітації поверхні об'єкта використовувалися плоский відбивний екран і спіралевидна МП, які володіють коефіцієнтом відбиття $\rho \sim 0,8$ і дифузним розподілом відбитого випромінювання. Перетин МП мало вигляд спіралі Архімеда з постійним коефіцієнтом $a = 0,833$ см / градус.

Натурна ДХ $U_{\text{фп}}$ (1) вимірювалася при переміщенні ОЛП по нормалі до плоского екрану (рис. 5, крива 1). Імітована залежність $U_{\text{фп}}$ (φ) реєструвалася в процесі сканування поля зору ОЛП по МП за схемою рис. 1 (рис. 5, крива 2). Розрахункова залежність $U_{\text{фп}}$ (φ) з компенсацією кутової похибки (рис.5, крива 3) отримана шляхом множення експериментальної функції (крива 2) на кутову поправку, що має вигляд рівняння (9). Для порівняння результатів натурних та імітаційних вимірювань $U_{\text{фп}}$ (φ) представлена в координатах $U_{\text{фп}}$ (1), виходячи з рівняння (4) при зазначеній величині a .

Порівняння натурних та імітаційних результатів вимірювань (рис. 5, криві 1 і 2) по-

казує суттєві розбіжності даних, особливо на малих дальностях. Має місце більш значна розрахункова компенсація кутової похибки імітаційних вимірювань на великих відстанях (рис. 5, криві 1 і 3).

Очевидна тенденція збільшення абсолютної похибки Δ вимірювань $U_{\text{фп}}$ для імітованої залежності $U_{\text{фп}}(\varphi)$ (рис. 5, крива 2) щодо натурної $U_{\text{фп}}(l)$ (рис. 5, крива 1) при зменшенні φ і l відповідно, що пояснюється дистанційною динамікою кута γ . При цьому величина абсолютної похибки Δ значно зменшується в результаті компенсації кутової похибки розрахунковим методом (рис. 5, крива 3).

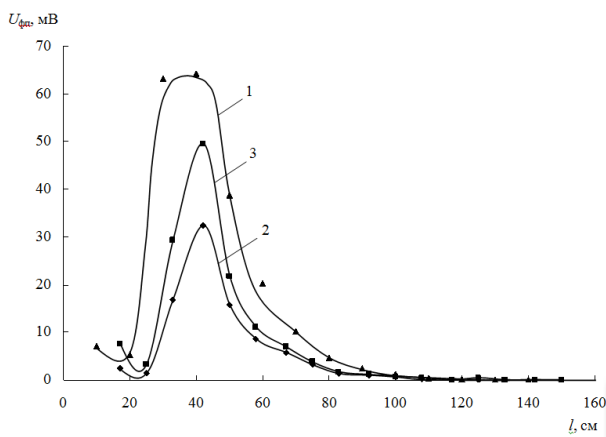


Рис. 5. Дистанційні характеристики макета ОЛП базового типу 1 – натурна, 2 – імітована, 3 – розрахункова.

Відносна похибка δ вимірювання l різними методами визначається як

$$\delta_u = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100\%; \quad \delta_k = \frac{l_1 - l_3}{l_1} \cdot 100\%,$$

де l_1 – натурні вимірювання, l_2 – імітаційні вимірювання, l_3 – з компенсацією кутової похибки. На рис. 6 представлена гістограма δ_u (штрихова заливка) і δ_k (суцільна заливка).

З даних рис. 6 випливає, що $\delta_k < \delta_u$ в діапазоні $l \sim 60 \dots 130$ см. При цьому середня величина $\delta_u \sim 20\%$, а $\delta_k \sim 15\%$. Очевидна тенденція зменшення δ зі збільшенням l і дистанційним зміною $\cos \gamma$.

Досягнутий експериментально рівень точності процесу моделювання з компенсацією кутової похибки поступається розрахованому аналітично. Удосконалення методики іміта-

ційного моделювання пов'язується зі скороченням внесених у вимірювальний процес похибок, які пов'язані з обмеженнями моделі [18]. Одним із шляхів зниження Δ і δ є оптимізація діапазону вимірюваних дистанцій шляхом налагоджування оптичних систем ОЛП.

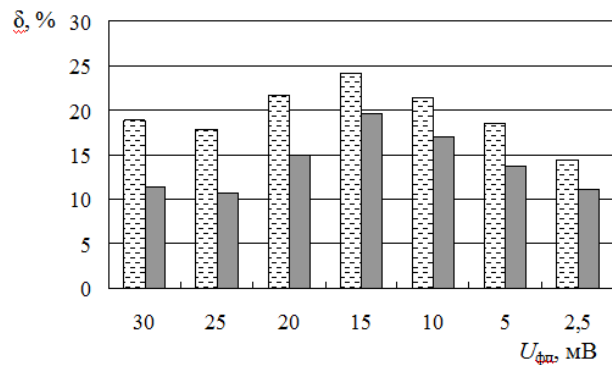


Рис. 6. Гістограма відносної похибки δ вимірювання l . Штрихова заливка – δ_u , суцільна заливка – δ_k .

Висновки

Таким чином, показана можливість імітації рівномірного руху ОЛП відносно об'єкта за допомогою спіралевидної МП, а також запропоновано розрахунковий метод компенсації кутової похибки імітаційного процесу.

Список використаної літератури

- [1]. Pat. 2369853 S1 Rossiiskaya Federaciya_MKI G 01 M 15/00 / S. G. Ryapolov, M. R. Krot, V. M. Nikulin i dr. № 2008101632/06; zayavl. 15.01.2008; opubl. 10.10.2009, Byul. № 28 (in Russian).
- [2]. Balakin V. Raketnie treki // Nauka i jizn, — №2, s. _____ (2006) (in Russian).
- [3]. Bukanov F. F. Kompyuternoe modelirovanie i polunaturnie ispitaniya optiko_elektronnih sistem na avtomatizirovannih stendah / F. F. Bukanov, V. V. Sbrodov, S. G. Safronov // Informacionno_izmeritelnie sistemi, № 6, s. 37-47 (2013) (in Russian).
- [4]. Novoselcev V. N. Dostoinstva i nedostatki matematicheskogo modelirovaniya // Fundamentalnie issledovaniya, № 6, s. 121-122 (2004); URL_ http://www.fundamental_research.ru/ru/article/viewid=6504_data_obrascheniya_11.09.2018 (in Russian).

[5]. McKee D. C. Real-time IR/EO scene simulator (RISS) product improvements / D. C. McKee, O.D. Simmons, R. J. Macar, et al. // Proc. SPIE, Vol. 5092, pp. 259-267 (2003). DOI: 10.1117/12.501200

[6]. Goryachev O. V. Modelirovanie ispitaniy na pomehozaschischennost optiko_elektronnykh sistem / O. V. Goryachev, V. V. Vorobev, N. N. Makarov, A. G. Efromeev, O. O. Morozov, A. A. Ogurcov // Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki, Vip. 12, Ch. 3, s. 27-38 (2017) (in Russian).

[7]. Vorobev V. V. Razrabotka stenda dlya dinamicheskikh ispitaniy navigacionnykh blokov letatelnykh apparatov / V. V. Vorobev, A. G. Efromeev, S. V. Minchuk, O. O. Morozov, A. A. Ogurcov // Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki, Vip. 12, Ch. 4, s. 162-172 (2016) (in Russian).

[8]. Gimpilevich Yu. B. Sovremennoe sostoyaniye i perspektivy razvitiya metodov prostranstvennoy lokalizatsii obektov na osnove tekhnologii radiochastotnoy identifikatsii / Yu. B. Gimpilevich, E. A. Levin, D. A. Savochkin // Radiotekhnika, № 173, s. 69-80 (2013). Rejim dostupa: <http://open-archive.kture.kharkov.ua/handle/123456789/1976> (in Russian).

[9]. Localization technologies for indoor human tracking / Da Zhang, Feng Xia, Lin Yao, Wenhong Zhao // Future Information Technology : 5th Int. Conf., 21-23 May 2010, Busan : proc. — IEEE, 2010. — P. 1-6. DOI : 10.1109/FUTURUETECH.2010.5482731

[10]. Musyakov M. P. Optiko_elektronnyye sistemy blizney dálnometrii / M. P. Musyakov, I.D. Micenko. Radio i svyaz, M. 168 s. (1991) (in Russian).

[11]. Bronshtein I. N. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchasyih vuzov / I. N. Bronshtein, K. A. Semendyaev. Nauka, M. 544 s. (1986) (in Russian).

[12]. Lepikh Ya. I. Metod modelyuvannya umov funkcionuvannya multiparametrichnogo

datchika vidstani u statichnomu ta dinamichnomu rejimah / Ya. I. Lepikh, V. I. Santonii, L. M. Budiyanska, I. O. Ivanchenko // Vimiryuvalna ta obchislyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh procesah_ XII Mijnar. n. tehn. konf. (VOTTP-12-2013), 3-8 chervnya 2013 r. Odesa: materiali konf. s. 42-43 (in Ukrainian).

[13]. Lepikh Ya. I., Santoni V. I., Budyansky L. M., Ivanchenko I. O. Method and installation of motion simulation of opto-location devices - // - Abstracts, V International scientific and practical conference «Problems of coordination of military-technical and defense-industrial policy in Ukraine. Prospects for the Development of Arms and Military Equipment», October 11-12, 2017, Kyiv - S. 277-278.

[14]. Miroshnikov M. M. Teoreticheskie osnovy optiko_elektronnykh priborov. / M.M. Miroshnikov Mashinostroenie, Leningr. otdnie, L. 696 s. (1983) (in Russian).

[15]. Ukraine's Declarative Patent for Utility Model No. 78823 F 41 C 3/00. u 201112480, prior. 24.10.2011, pub. April 10, 2013, Bul. # 7. «Testing stand». Budyans'ka LM, Santoni V.I., Lepikh Ya.I., Ivanchenko I.O.

[16]. Pat. 122768 Ukraïna_ MKI G01D 18/00_ 21/00 / V. I. Santonii, I. O. Ivanchenko, L. M. Budiyanska. № u 201707780; zayavl. 24.07.17; opubl. 25.01.2018, Byul. №2 (in Ukrainian).

[17]. Egorov D. F. Differentsialnaya geometriya / D. F. Egorov. N. _ Novgorod, 289 s. (1923 (in Russian).

[18]. Gimpilevich Yu. B. Simulation of Measuring Data Obtained from RFID-Tags in Systems of Spatial Localization of Objects / Yu. B. Gimpilevich, D. A. Savochkin // Radioelectronics and Communications Systems. — 2016. — Vol. 59, No. 7. — P. 301-308. DOI: 10.3103/S0735272716070037

Стаття надійшла до редакції 03.05.2019 р.

UDC 681.7.055

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2019.2.171244>

OF IMITATION OF THE OPTICAL LOCATION DEVICE UNIFORM MOTION

V. I. Santonii, I. A. Ivanchenko, L. M. Budiianska, Ya. I. Lepikh

Interdepartmental scientific-educational physics and technical center of MES and NAS of Ukraine at Odessa I.I. Mechnikov National University, 2 Dvorianska str., Odesa, Ukraine, 65082, tel. 723-34-61, e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua, dirsony@ukr.net

Summary

The aim of the work is to develop a method of physico-mathematical modeling of optical-electronic systems functioning conditions that solve the problem of reducing the time and cost of experimental studies.

The main idea of the simulation method was to replace the uniform rectilinear motion of an optical-location device (OLD) with respect to the object under investigation by scanning its field of view along a fixed MS.

Physical modeling of the OLD uniform motion was carried out by scanning the radiation along a reflecting surface bent according to the Archimedes' helix shape.

The mechanical and mirror scanning methods schemes of radiation by a spiral MD are presented. The criteria for the suitability of scanning methods for various types of OLD depending on the radiation pattern of the receiving-transmitting unit, the scanner's mirror size and the angle of its installation, as well as the range of simulated driving speeds are indicated.

A mathematical model of the simulation method, which determines the dependence of the OLD amplitude of the reflected radiation on the distance (the law of squares of distances) and the angle of incidence of the radiation on the MD (Lambert's law), was developed.

A functional analysis is carried out and the calculation results of the dependence on the MD radiation angle incidence on the polar radius rotation angle, which determines the simulated range value, are presented. The variation limits of the distance measuring relative error from 20 to 9%, introduced by the variable angle of radiation reflection in the range of the radiation incidence angle of $0 \dots \pi$, respectively, are established. The analytical expression for the angular correction of the reflected radiation amplitude, which compensates for the angular error of the simulation method, is given.

The field and simulation measurements results of the OLD base model distance characteristics based on an optocoupler LED AL107 - FD155K photodiode are presented.

Comparison of the results showed ascent at small distances with a tendency to decrease with increasing distance. In this case, the absolute measurement error is significantly reduced as a result of the calculated angular correction. The average value of the simulation measurements relative error was $\sim 20\%$, and taking into account the angular correction - $\sim 15\%$.

The work results showed the applicability of the method of OLD uniform rectilinear motion imitation using a spiral MS.

Keywords: optical-location device, modeling surface, imitation, scanning

МЕТОД ІМІТАЦІЇ РІВНОМІРНОГО РУХУ ОПТИКО-ЛОКАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ

В. І. Сантоній, І. О. Іванченко, Л. М. Будіянська, Я. І. Лепіх

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при ОНУ
імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, Одеса, Україна, 65082,
тел. 723-34-61, e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua, dirsony@ukr.net

Реферат

Метою роботи є розробка методу фізико-математичного моделювання умов функціонування оптико-електронних систем, які вирішують проблему зниження витрат часу і коштів на експериментальні дослідження.

Основна ідея методу імітації полягала в заміні рівномірного прямолінійного руху оптико-локаційного пристрою (ОЛП) відносно досліджуваного об'єкта скануванням його поля зору по нерухомій МП.

Фізичне моделювання рівномірного руху ОЛП здійснювалося шляхом сканування випромінювання по відбиваючій поверхні вигнутої за формою спіралі Архімеда.

Представлено схеми методів механічного та дзеркального сканування випромінювання по спіралевидній МП. Визначені критерії придатності методів сканування для різних типів ОЛП в залежності від діаграми спрямованості приймально-передавального блоку, розмірів дзеркала сканатора і кут його установки, а також діапазону імітованих швидкостей руху.

Розроблено математичну модель імітаційного методу, що визначає залежність амплітуди відбитого випромінювання ОЛП від дальності (закон квадратів відстаней) і кута падіння випромінювання на МП (закон Ламберта).

Проведено функціональний аналіз і наведені результати розрахунку залежності кута падіння випромінювання на МП від кута повороту полярного радіусу, що визначає величину імітованої дальності. Встановлено межі зміни відносної похибки вимірювання відстані від 20 до 9%, що вноситься змінним кутом відбиття випромінювання в діапазоні кута падіння випромінювання $0 \dots \pi$ відповідно. Наводиться аналітичний вираз кутової поправки амплітуди відбитого випромінювання, що компенсує кутову похибку імітаційного методу.

Наведено результати натурних та імітаційних вимірювань дистанційних характеристик макета базового ОЛП на основі оптопари світлодіод АЛ107 - фотодіод ФД155К.

Порівняння результатів показало розходження на малих дальностях з тенденцією їх зменшення при збільшенні дальності. При цьому абсолютна похибка вимірювань значно зменшується в результаті розрахункової кутової поправки. Середня величина відносної похибки імітаційних вимірювань становила $\sim 20\%$, а з урахуванням кутової поправки - $\sim 15\%$.

Результати роботи показали можливість застосування методу імітації рівномірного прямолінійного руху ОЛП з використанням спіралевидної МП.

Ключові слова: оптико-локаційне пристрій, що моделює поверхню, імітація, сканування