

СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

UDC 528.021.7:681.78

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235205

ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ

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

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України
при Одеському Національному університеті імені І. І. Мечникова
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ

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

Анотація. Описано метод формування діаграми спрямованості (ДС) оптико-електронної системи (ОЕС) з можливістю керування нею у просторі. Обґрунтовано та створено спосіб формування зони виявлення об'єкта локації складної форми у приймально-передавальній оптичній системі за допомогою оптоволоконних кабелів (ОВК). Вирішена задача по створенню кругової зони огляду багатоканальної ОЕС, призначеної для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях.

За результатами лабораторних випробувань розробленої 6-канальної ОЕС встановлено, що в робочому діапазоні дистанцій локації 0,5...10,0 м досягнуто надійне виявлення швидкісної цілі та високоточна реєстрація об'єкта у всіх напрямках ДС.

Ключові слова: оптико-електронна система, діаграма спрямованості, об'єкт локації, випромінювач, фотоприймач, оптоволоконний кабель, моделювання

FORMATION OF THE OPTOELECTRONIC SYSTEM DIRECTIONAL DIAGRAM USING FIBER-OPTIC CABLE

V. I. Santoniy, Ya. I. Lepikh, V. I. Yanko, I. A. Ivanchenko, L. M. Budiynskaya

Abstract. The method of forming directional diagrams (RD) with the possibility of controlling it in space is described. The method of forming of the object location detection zone of complex shape in the transmitter-receiver optical system with the help of fiber-optic cables (OIC) is substantiated

and created. The problem of a circular field of view of a multi-channel optoelectronic system (ECO) creating, designed for advanced high-speed objects at short distance detection has been solved.

According to the results of laboratory tests of the developed ECO model is established that in the working range of distances of a location of 0,5 ... 10,0 m reliable detection of the target high-speed and high-precision registration of object in all DS directions is reached.

Keywords: optoelectronic system, directional diagram, object of location, emitter, photodetector, fiber-optic cable, modeling

ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЯ

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

Аннотация. Описан метод формирования диаграммы направленности (ДН) оптико-электронной системы (ОЭС) с возможностью управления ею в пространстве. Обосновано и создан способ формирования зоны обнаружения объекта локации сложной формы в приемо-передающей оптической системе с помощью оптоволоконных кабелей (ОВК). Решена задача по созданию круговой зоны обзора многоканальной ОЭС, предназначенной для опережающего выявления высокоскоростных объектов на малых расстояниях.

По результатам лабораторных испытаний разработанной 6-канальной ОЭС установлено, что в рабочем диапазоне дистанций локации 0,5 ... 10,0 м достигнуто надежное обнаружение скоростной цели и высокоточная регистрация объекта во всех направлениях ДН.

Ключевые слова: оптико-электронная система, диаграмма направленности, объект локации, излучатель, фотоприемник, оптоволоконный кабель, моделирование

Вступ

Досягнення високого рівня розпізнавання об'єкта локації на малих відстанях оптико-електронними засобами пов'язане з необхідністю визначення стійких ознак відбитого сигналу в умовах завад і значних часових обмежень. Час поширення випромінювання на відстані декількох метрів становить порядку наносекундних значень, що істотно ускладнює виявлення та розпізнавання високошвидкісних об'єктів методами оптичної локації.

В [1] описані наносекундні оптико-електронні триканальні вимірювачі відстані для орієнтації літальних апаратів при горизонтальній посадці, що забезпечують достовірний вимір відстані до перешкод в нижній півсфері та в бічній області простору. Також відоме застосування наносекундних далекомірних датчиків в оптико-електронних системах (ОЕС) для розпізнавання тривимірних зображень [2, 3].

Однак, відсутні в них рішення по створенню кругової зони огляду наносекундних ОЕС, призначених для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях, актуалізує проблему формування у приймально-передавальній оптичній системі ДС складної форми – задача, вирішенню якої присвячена дана робота.

Метод формування ДС ОЕС

Важливою характеристикою ОЕС кругового огляду є кутове просторове розрізнення, котре визначає кутову точність показання координат об'єктів. Багатоканальний принцип побудови оптичної системи ОЕС дозволяє досягти точності визначення кутових координат не гірше однієї кутової хвилини [4]. Виходячи з цього основою розробленої ОЕС є 6-канальна схема, кожний канал якої містить приймально-передавальні оптико-електронні модулі (ОЕМ) зі сформованими протяжними зонами реєстрації об'єкта локації (рисунок 1).

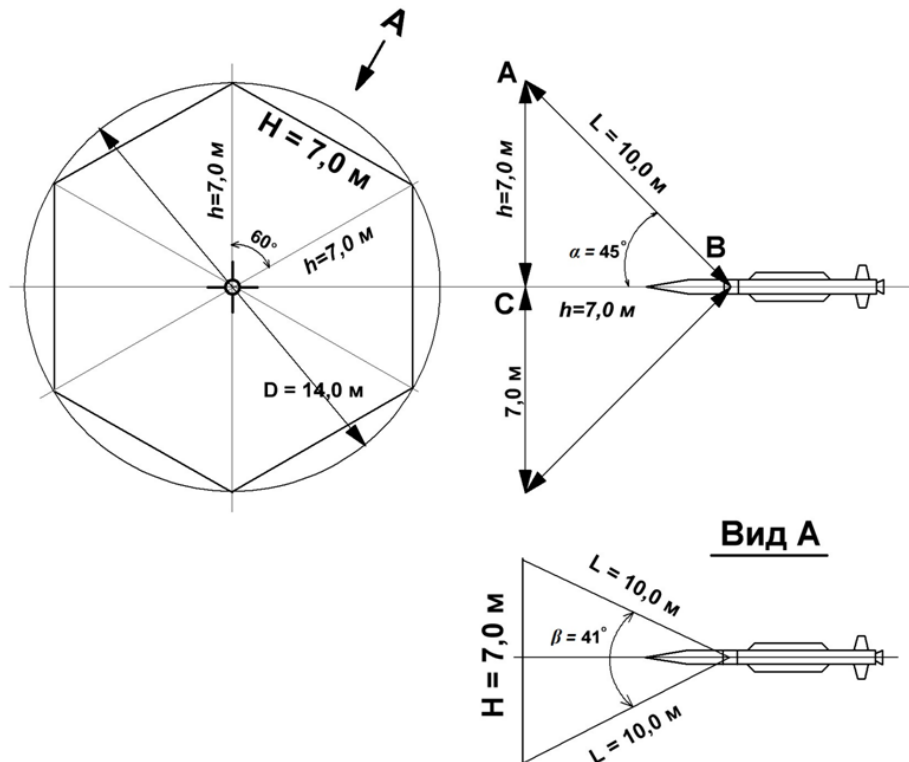


Рис. 1. Зона виявлення ОС.

$L = AB$ – відстань до об'єкта, BC – вісь ОЕС, H – довжина смуги опромінення окремого каналу, α – кут місця каналу, β – кут поля зору каналу

У випадку необхідності виявлення об'єкта на певній відстані, наприклад, $L = AB = 10$ м під кутом місця $\alpha = 45^\circ$, відносно вісі BC 6-канальної ОЕС, довжина смуги опромінення H кожного каналу виходячи з співвідношень трикутника визначається як:

$$H = L \sin \alpha. \quad (1)$$

Відповідно до (1), $H = 7$ м (рисунок 1).

Кут поля зору β одного каналу становить (рисунок 1, вид А)

$$\beta = 2 \arcsin \frac{0,5H}{L}. \quad (2)$$

Відповідно із співвідношеннями (1) та (2) $\beta = 41^\circ$ для значень H та L .

Схема створює у площині, перпендикулярній вісі ОЕС, кругову зону виявлення з азимутальним кутовим полем 360° та з секторним кутом 60° , відповідним полю зору кожного з шести ОЕМ.

Формування складу ОЕМ окремого каналу ОЕС обумовлюється досягненням оптималь-

них енергетичних співвідношень у сполученні з конструктивними обмеженнями. Поле зору оптичної системи кожного з шести ОЕМ формується за допомогою двох об'єктивів – передавального та приймального. Властивості обох об'єктивів залежать від лінійного збільшення збирального елемента, для якого справедливо співвідношення [5-6]

$$H = h \frac{L}{l}, \quad (3)$$

де: H – розмір об'єкта (у даному випадку це смуга опромінення);

h – розмір зображення об'єкта;

L – відстань від об'єкта до збирального елемента;

l – відстань від зображення об'єкта до збирального елемента або фокусна відстань.

Згідно співвідношенню (3) величини тіла світіння випромінювача і чутливого майданчика фотоприймача (ФП) для заданої величини протяжності зони опромінення поверхні об'єкта пропорційні відношенню вимірюва-

ної відстані до фокусної відстані відповідного об'єктива.

Головною вимогою до передавального об'єктива є забезпечення трансляції у напрямку об'єкта всього потоку випромінювання, що поширюється у тілесному куті β . Вимога задовольняється шляхом використання плоскоопуклої або двоопуклої лінзи з мінімальними діаметром і фокусною відстанню.

Приймальний об'єктив, призначений для збирання відбитого від об'єкта випромінювання, передбачає застосування оптичного елемента з максимально можливою, виходячи із конструктивних параметрів, площею поверхні, яка визначає рівень сигналу фотоприймального каналу.

Таким чином, при обмеженій загальній площі поверхні для розміщення передавального і приймального об'єктивів основну її частину повинен займати збиральний оптичний елемент фотоприймального каналу. Стандартне юстирування ОЕС передбачає забезпечення рівності поздовжніх розмірів полів зору передавального та приймального об'єктивів і перевищення вдвічі ширини поля зору приймального об'єктива відносно ширини зони опромінення поверхні об'єкта з метою оптимізації просторово-енергетичного розподілу потужності сигналу, що зондує.

Кругова зона огляду багатоканальної ОЕС створюється шляхом формування у кожному каналі ДС у вигляді смуги. Відповідно співвідношенню (3) довжина смуги опромінення H визначається розмірами тіла світіння випромінювача B і чутливого майданчика ФП при певному відношенні вимірюваної відстані до фокусної відстані відповідного об'єктива.

Конструктивні обмеження, властиві далекомірним ОЕС, які працюють у ближній зоні, а також використання зондуючого випромінювання з тривалістю імпульсів наносекундного діапазону, змушують застосовувати випромінювач та ФП з малорозмірними тілами світіння і фоточутливими майданчиками. Наслідком цього є обмеження у розмірі об'єкта виявлення, які можливо усунути шляхом формування протяжної ДС передавального та приймального об'єктивів ОЕС [7].

Існує декілька методів формування смуги опромінення поверхні об'єкта локації. Один із них полягає у використанні такої кількості випромінювачів та ФП, розташованих лінійно, яка, в результаті підсумовування ДС окремих елементів, утворить на поверхні об'єкта світлову смугу випромінювача та поле зору ФП необхідних розмірів [8]. Така багатоелементна оптична та випромінювальна система не є оптимальною внаслідок ускладнення просторово-енергетичних характеристик ОЕС у частині юстирування оптичної складової та підвищення енергоємності пристрою. Більш оптимальним є застосування циліндричної лінзи, використання якої дає можливість випромінювачу подовжувати смугу опромінення поверхні об'єкта локації. Тим не менш, загальна зона опромінення необхідного розміру та потужності також створюється шляхом поєднання декількох об'єктивів з циліндричними лінзами.

Формування зони фоточутливості приймального каналу зі значними поздовжніми і мінімальними поперечними розмірами також являє собою складну задачу. Відбита протяжна смуга опромінення поверхні об'єкта локації на вході приймального об'єктива перетворюється у фокальній площині приймального об'єктива у її протяжне зображення, яке регламентує протяжність зони чутливості ФП. Формування зони фоточутливості можливе шляхом створення лінійки ФП [9, 10].

Точність вимірювання безперервного сигналу збільшується зі зростанням числа елементів лінійки ФП, що досягається зменшенням розміру елемента і ширини розділового проміжку. Досягнутий дозвіл в лінійці становить 10 ... 15 мкм при загальній кількості елементів порядку 10^3 , для діапазону відстаней ближньої локації забезпечує дискретизацію з координування з міліметровою точністю. При цьому наявність значних проміжків між фоточутливими майданчиками, визначуваних розмірами корпусу ФП, викликає переривання чутливості у межах всієї зони. Межа точності вимірювання відстані в 1 мм досягнута також шляхом введення в оптичну систему ФП раstra, який є носієм апріорної інформації про становище об'єкта у вигляді коду, що дозволяє оптичним

методом вирішити задачу його вимірювання [8, 11, 12].

Найбільш ефективним являється пропонуванний засіб формування з мінімальними втратами ДС передавальних та приймальних об'єктивів ОЕС за допомогою оптоволоконних кабелів (ОВК), які забезпечують рівномірність розподілу потужності випромінювання та фотоприйому у площині перетину відповідних ОВК. Головним призначенням ОВК є формування у передавальному об'єктиві тіла світіння, а в приймальному – фоточутливого майданчика необхідної форми та площі. Схема приймально-передавальної оптичної системи ОЕС наведена на рисунку 2.

У передавальному ОВК кінець 2 прямокутного перетину розташовується перед вихідним вікном випромінювача 1 та сполучається з ним геометрично за допомогою плоско-опуклої лінзи з метою повного введення випромінювання в ОВК. Кінець 3 передавального ОВК, перетин якого відповідає необхідній формі та площі тіла світіння випромінювача, поєднується з фокальною площиною передавального

об'єктива 4. Випромінювання лазера (випромінювача) спрямовується за допомогою передавального об'єктива 4 на поверхню об'єкта 5 у вигляді смуги 6 необхідного розміру, відбивається та з частковою потужністю захоплюється приймальним об'єктивом 7 і фокусується на поверхні чутливого майданчика ФП 10 [13].

Приймальний ОВК формується дзеркально передавальному. Кінець 8 приймального ОВК, розміри і форма якого співпадають з параметрами зображення відбитого потоку випромінювання, розташовується у фокальній площині приймального об'єктива 7. Кінець 9 круглого перетину з'єднується з вхідним вікном ФП 10, забезпечуючи передачу вхідного потоку випромінювання на фоточутливий майданчик.

У відповідності з рівнянням (3) для одержання на поверхні об'єкта, розташованого на відстані L , смуги опромінення протяжністю H необхідно встановити у передавальному об'єктиві на фокусній відстані l тіло світіння довжиною h

$$h = H \frac{l}{L}. \quad (4)$$

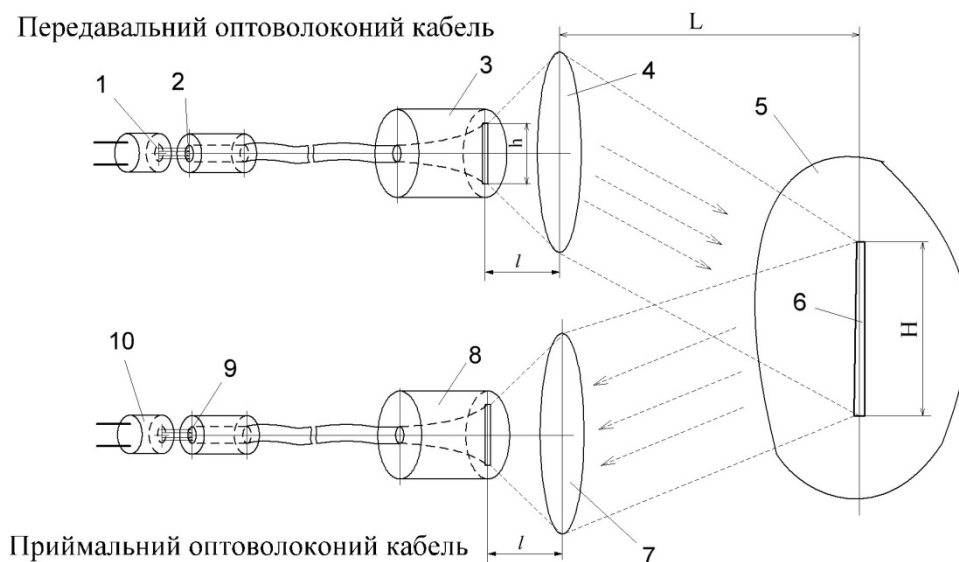


Рис. 2. Оптична схема ОЕС

1 – вихідне вікно випромінювача, 2 – кінець прямокутного перетину передавального ОВК, 3 – кінець передавального ОВК з перетином, пов'язаним з формою та площею тіла світіння випромінювача, 4 – передавальний об'єктив, 5 – поверхня об'єкта локації, 6 – смуга опромінення, 7 – приймальний об'єктив, 8 – кінець приймального ОВК з перетином, пов'язаним з формою та площею зображення відбитого випромінювання, 9 – кінець круглого перетину приймального ОВК, 10 – вхідне вікно ФП

За умови мінімізації ширини смуги опромінення кількість оптоволокон n діаметром d , розташованих у лінійний ряд у кінці 3 передавального ОВК (рисунок 2), розраховується як

$$n = \frac{h}{d}. \quad (5)$$

Смуга опромінення на поверхні об'єкта має вид лінійної послідовності круглих світлових плям. Загальна площа S пучка, що складається із n оптоволокон, дорівнює

$$S = n \frac{\pi d^2}{4}. \quad (6)$$

Діаметр D пучка оптоволокон вхідного кінця 2 круглого перетину передавального ОВК, створеного шляхом спресовування n оптоволокон у циліндричній гільзі, з урахуванням (4) дорівнює

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} = d\sqrt{n}. \quad (7)$$

Для розрахунку макета ОЕС використані рівняння (3...7), як базові при застосуванні однопінкових приймального та передавального об'єктивів. Довжина хвилі випромінювання обраного для ОЕС лазерного діода SPLPL 90 становить 0,905 мкм. Тіло світіння випромінювача є смугою розмірами $a \times b = 200 \times 2$ мкм. Максимум кута розбіжності випромінювання у площині, паралельній р-п-переходу, становить 9° , перпендикулярній – 25° . Виходячи із співвідношення (3) для отримання на поверхні об'єкта локації смуги довжиною 7 м передавальна лінза повинна мати фокусну відстань $l \approx 250$ мкм. Застосування подібних мікролінз неможливо через великі габаритні розміри корпусів лазерних діодів. Відстань від зовнішньої поверхні прозорого вікна корпусу до тіла світіння може сягати величин декількох міліметрів.

Отримання $H = 7$ м у ОЕС досягнуто в результаті подовження h з 0,2 мм до 4,55 мм за допомогою передавального ОВК, розрахованого за співвідношенням (4), з використанням передавальної лінзи з $l = 6,5$ мм та діаметром 9 мм.

Передавальний ОВК сформовано із багатомодових оптоволокон з $d = 50$ мкм, орієнтова-

них для передачі випромінювання з довжиною хвилі 0,9 мкм. Відповідно рівнянню (5) у волоконному світловоді $n = 91$ шт. При цьому світлова смуга на поверхні об'єкта мала розмір $7,0 \times 0,077$ м, у відповідності з співвідношенням (3), та вид лінійної послідовності круглих плям. Площа S вхідного кінця передавального ОВК круглого перетину, який з'єднується з вихідним вікном В, відповідно рівнянню (6) – $0,18$ мм². Вхідний D пучка оптоволокон, згідно з співвідношенням (7), складає $\sim 0,48$ мм. На рисунку 3 наведена оптична схема введення випромінювання лазера 1 у вхідний кінець передавального ОВК.

З метою повного перехоплювання випромінювання лазера та подальшим введенням у вхідний кінець ОВК підібрана плоско-опукла лінза 2 з $l = 1,8$ мм та діаметром 3,5 мм. Розмір майданчика опромінення 3 на плоскій поверхні лінзи дорівнює у горизонтальній площині:

$$c = a + 2(\operatorname{tg}4,5^\circ \times l) = 0,252 \text{ мм},$$

у вертикальній площині:

$$d = 2(\operatorname{tg}12,5^\circ \times l) = 0,716 \text{ мм}.$$

Загальна площа майданчика опромінення складає $\sim 0,18$ мм².

Для узгодження круглої форми пучка оптоволокон ОВК з формою отриманого майданчика опромінення гільза 6 вхідного кінця передавального ОВК виготовляється наступним чином. Оптоволоконам за допомогою спеціального пресування з круглого перетину 5 надається необхідна прямокутна форма 4. При цьому загальна площа усіх оптоволокон зберігається незмінною. Вихідний кінець передавального ОВК, що має розміри та форму подовженого тіла світіння випромінювача розміром 4,55 мм, розташовано у фокальній площині передавального об'єктива.

Спектральний діапазон фоточутливості лавинного фотодіода МТАРD-07-007, який застосовано у розробленій ОЕС, складає 0,4-1,1 мкм з максимумом на довжині хвилі 0,8 мкм. Діаметр кругової області фоточутливості – 0,5 мм.

На засаді попередніх розрахунків для отримання надійного прийому відбитого імпульсного сигналу, що зондує, від поверхні об'єкта локації з коефіцієнтом відбиття у діапазоні 0,1...0,8, з урахуванням складних метеоумов та робочого діапазону дистанцій локації, міні-

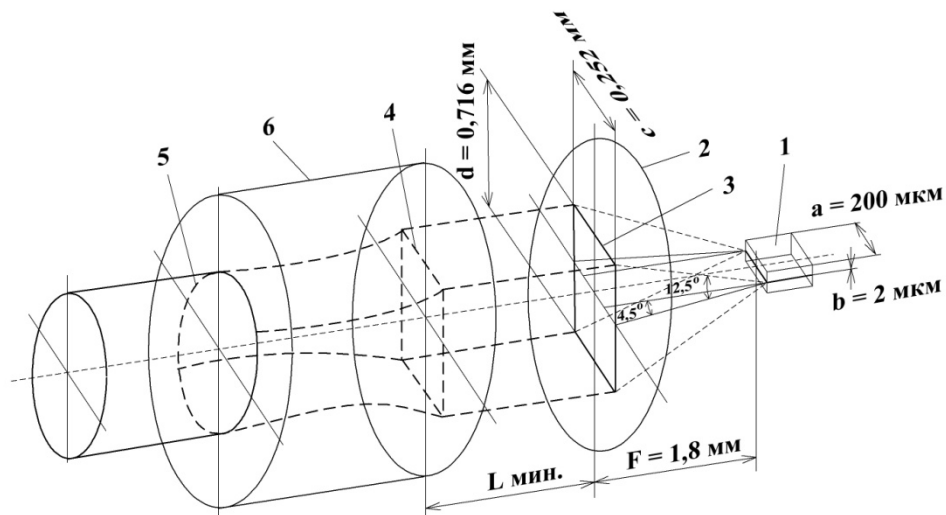


Рис. 3. Оптична схема введення випромінювання випромінювача у вхідний кінець передавального ОВК. 1 – випромінювач (лазер), 2 – плоско-опукла лінза, 3 – майданчик опромінення лінзи 2, 4 – прямокутна форма перетину ОВК, 5 – кругла форма перетину ОВК, 6 – циліндрична гільза;

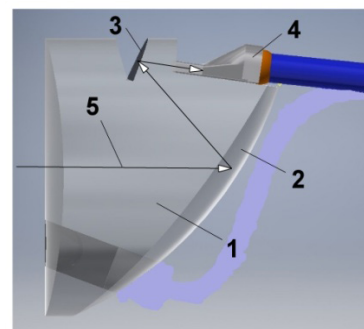
a – горизонтальний розмір тіла світіння випромінювача, b – вертикальний розмір тіла світіння випромінювача, c – горизонтальний розмір майданчика опромінення 3, d – вертикальний розмір майданчика опромінення 3, L – фокусна відстань лінзи 2

мальна площа приймального об'єктива складає 700 мм^2 , що пропорційно концентруючій лінзі діаметром 30 мм. При розмірах зони опромінення на поверхні об'єкта $7,0 \times 0,077 \text{ м}$ її зображення у фокальній площині приймального об'єктива з фокусною відстанню $l = 30 \text{ мм}$, у відповідності з співвідношенням (3), дорівнює $21,0 \times 0,5 \text{ мм}$.

Для узгодження з мінімальними втратами зображення зони опромінення поверхні об'єкта локації з площею зони чутливості ФП використано приймальний ОВК ідентичний передавальному в сукупності з дзеркальним оптичним елементом замість приймальної лінзи, що концентрує, діаметром 30 мм.

На рисунку 4 наведені 3D-модель приймального ОВК з дзеркальним оптичним елементом і схема проходження відбитих від поверхні об'єкта променів (рисунок 4, а) та експериментальний зразок, виконаний з органічного скла (рисунок 4, б).

Дзеркальний оптичний елемент 1 циліндричної форми має вхідне вікно діаметром 30 мм. Задня поверхня 2 виконана у вигляді торопараболічного увігнутого дзеркала. Вхідний кінець приймального ОВК 4 закріплено



а



б

Рис. 4. Приймальний ОВК з оригінальним оптичним елементом/1 – дзеркальний оптичний елемент циліндричної форми, 2 – торопараболічне увігнуто дзеркало, 3 – плоске дзеркало, 4 – вхідний кінець приймального ОВК, 5 – промінь відбитого від поверхні об'єкта випромінювання

за допомогою оптичного клею. Частина відбитого від поверхні об'єкта випромінювання 5 через вхідне вікно надходить до поверхні 2, фокусується та відбивається у напрямку плоского дзеркала 3 і далі до входу 4 приймального ОВК.

Форма елемента 1 розрахована в програмному середовищі Trace Pro Expert і дозволяє отримати на вході 4 форму відбитого сигналу у вигляді смуги з $H = 4,55$ мм. Приймальний ОВК трансформує смугу з розмірами $4,55 \times 0,045$ мм у круглий перетин діаметром $0,48$ мм. Вихідний кінець приймального ОВК сполучається з чутливою площадкою ФП діаметром $0,5$ мм. Таким чином, відбитий від поверхні об'єкта локації сигнал з мінімальними втратами надходить до чутливої поверхні ФП. Експериментальний зразок дзеркального оптичного елемента виконаний з органічного скла 3D-фрезеруванням за засади розробленої моделі. Практичний результат формування смугового тіла світіння на виході передавального ОВК макета ОЕС візуалізований на рисунку 5 у вигляді фото,

одержаного завдяки застосуванню у якості випромінювача джерела випромінювання видимого діапазону.



Рис. 5. Фото дослідного зразка передавального ОВК

Для визначення перетину ДС передавального і приймального об'єктивів, а також оцінки відношення прийнятої потужності до випромінюваної, в програмному середовищі Trace Pro Expert розроблена комп'ютерна модель поширення випромінювання до поверхні об'єкта та назад у діапазоні відстаней $1 \dots 10$ м. До складу моделі входить 3D-модель приймального і передавального об'єктивів, перенесена з конструкторської програми Autodesk Inventor.

Новий спосіб формування діаграми спрямованості смугової форми оптико-електро-

них пристроїв, розроблений нами, включає формування випромінювання від випромінювача і поля зору фотоприймача оптико-електронного пристрою через елементи, що фокусують. Новизна його визначається тим, що у передавальний та приймальний канали розміщені оптоволоконні кабелі, при цьому вхідний кінець круглого перетину передавального оптоволоконного кабелю сполучається з вихідним вікном випромінювача, а вихідний кінець смугової форми поєднується з фокальною площиною передавального об'єктива. Також у фокальній площині приймального об'єктива розташовується вхідний кінець смугової форми приймального оптоволоконного кабелю, а вихідний кінець круглого перетину сполучається з вхідним вікном фотоприймача.

Для розробки та створення оптимальної структури високоточного 6-канального ОЕС було проведено комп'ютерне моделювання [11]. У моделююче програмне середовище введені наступні початкові дані та припущення:

- тіло світіння випромінювача (В) має розміри 200×10 мкм;
- потужність випромінювання випромінювача – 150 Вт;
- поверхня об'єкта є комп'ютерна ламбертовим відбивачем;
- коефіцієнт відбиття поверхні об'єкта дорівнює $0,8$, що відповідає білій матовій поверхні;
- потужність всіх відбитих променів однакова.

Комп'ютерним моделюванням просторово-енергетичних характеристик ОЕС, призначеної для функціонування у діапазоні вимірюваних відстаней $0,5 \dots 10,0$ м з протяжністю діаграми спрямованості рівній 7 м на максимальній відстані, визначена структура макета ОЕС у складі інфрачервоного лазерного діода SPLPL 90-3, лавинного фотодіода МТАРD-07-007, передавального та приймального ОВК розрахункової будови. Результат комп'ютерного моделювання діаграми спрямованості ОЕС у графічному і чисельному поданні для відстані 10 м представлений на рисунку 6, де більш яскравим білим кольором показано зображення тіла світіння випромінювача. Зображення фоточутливого майданчика ФП зі зміненими властивостями показано у вигляді поля точок з меншою яскравістю.

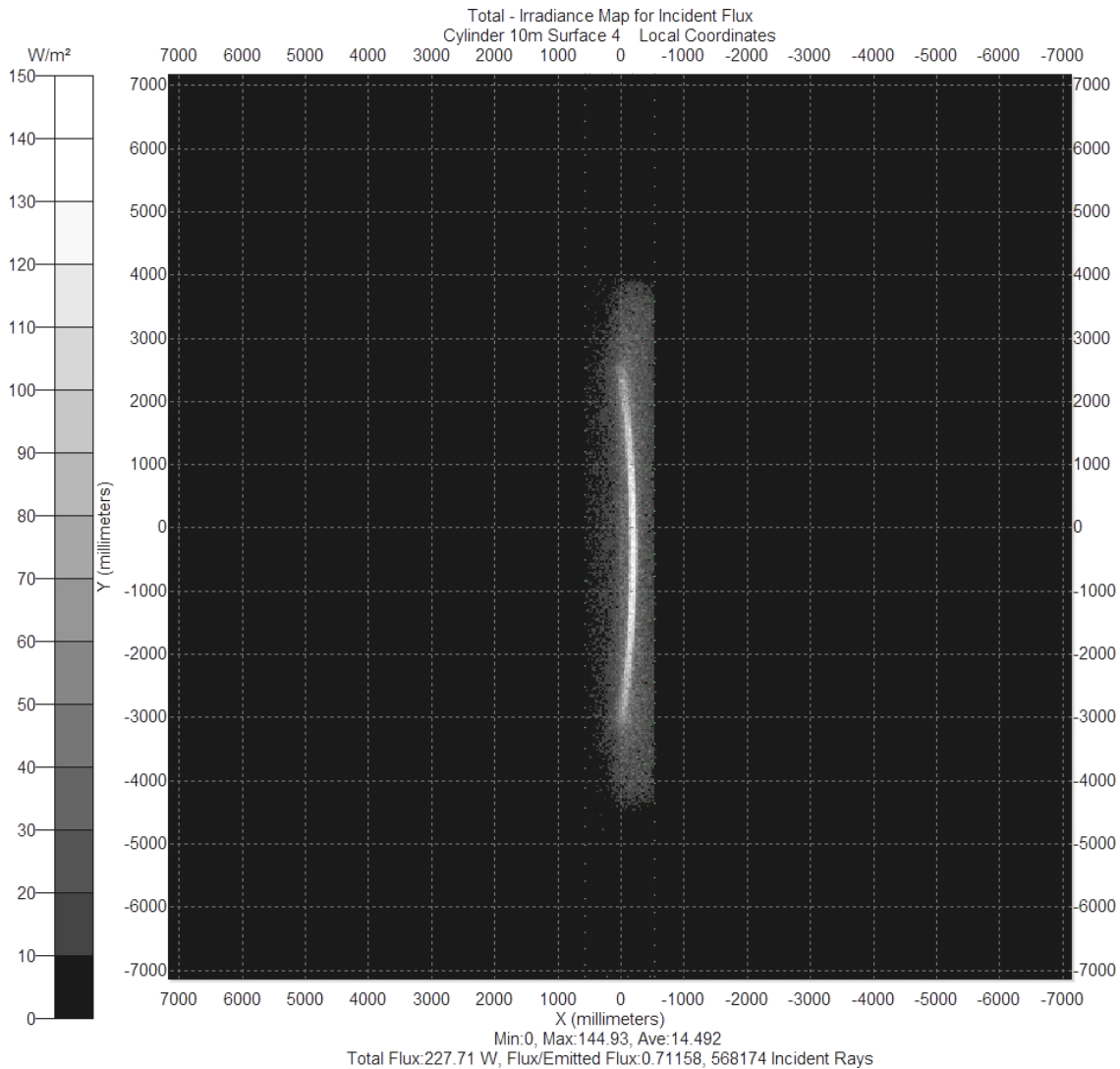


Рис. 6. Перетин діаграм спрямованості випромінювача і ФП в ОЕС

Результати моделювання енергетичних співвідношень між випромінюваним світловим потоком випромінювача та прийнятим ФП наведені у таблиці 1 та на рисунку 7.

Таблиця 1

Результати змодельованих та розрахункових $P_{\text{фп}}$, Вт

$L, \text{ м}$	змодельована $P_{\text{фп}}$, Вт	розрахункова $P_{\text{фп}}$, Вт
1	0,0128	0,0128
2	0,00366	0,0032
3	0,00155	0,0014
5	0,00061	0,00051
10	0,000125	0,000128

Порівняння змодельованої дистанційної залежності потужності сигналу $P_{\text{фп}}$ на вхідному вікні ФП (рисунок 7, крива 1) із розрахованою згідно закону квадратів відстаней (рисунок 7, крива 2), показало їх ідентичність.

$$P_{\text{фп}} = f(1/L^2).$$

Мінімальне значення $P_{\text{фп}}$ на відстані 10 м при використанні лавинного фотодіода МТАРD-07-007 з чутливістю 50 А/Вт призвело до появи в структурі діода фотоструму величиною 6,25 мА. Струм такої величини на диференціальному опорі фотодіода 10 Ом викликав падіння напруги в 62,5 мВ, що на три порядки більше чутливості інтегральних імпульсних підсилювачів, використовуваних на вході ФП.

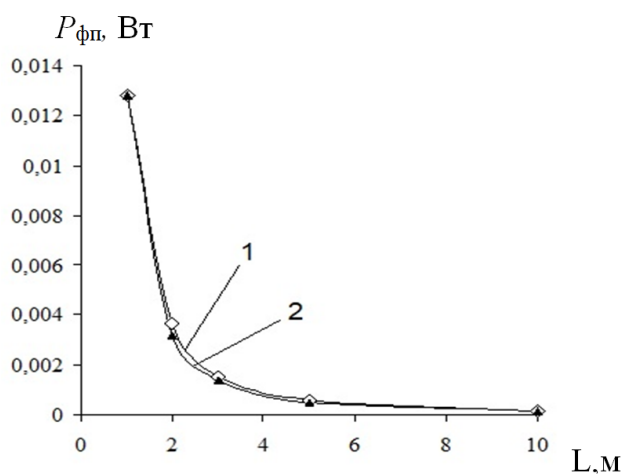


Рис. 7. Залежність потужності сигналу $P_{\text{фп}}$ на вхідному вікні ФП від відстані L

Таким чином отримані практичні результати підтвердили, що використання розробленого способу формування діаграми спрямованості смугової форми ОЕС за допомогою одного випромінювача та одного фотоприймача дозволило подовжити зону опромінення поверхні об'єкта з рівномірним розподілом потужності випромінювання і чутливості фотоприймача, внаслідок чого підвищена точність виявлення об'єкта та виключена можливість його пропуску, без підвищення енергоємності ОЕС.

Висновки

Розроблено метод формування ДС на поверхні об'єкта локації, з можливістю керування нею у просторі. Створена кругова зона огляду багатоканальних ОЕС, призначених для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях. Спосіб формування ДС смугової форми ОЕС реалізовано шляхом використання оптоволоконних кабелів змінної форми перетину у проміжках між приймально-передавальними оптичними елементами та випромінювачем і фотоприймачем. Розроблено елементи конструкції ОВК, що сформували необхідні ДС смугової форми передавальних та приймальних об'єктивів ОЕС з мінімальними енергетичними втратами. Розроблена структура 6-канального ОЕС забезпечила оптимальне відношення прийнятої потужності до випромінюваної у межах діапазону вимірюваних відстаней та ДС опромі-

нення поверхні об'єкта локації без підвищення енергоємності системи.

За результатами лабораторних випробувань макета розробленої ОЕС встановлено, що в робочому діапазоні дистанцій локації 0,5...10,0 м досягнуто надійне виявлення швидкісної цілі та високоточна реєстрація об'єкта у всіх напрямках ДС. Запропонований спосіб формування ДС дозволяє підвищити точність виявлення об'єкта ОЕС в результаті подовження зони опромінення поверхні, що виключає можливість його пропуску.

Робота виконувалась на замовлення МОН України та за підтримкою Державного Підприємства «КБ «Південне» ім. М.К.Янгеля».

Список використаної літератури

- [1]. Legkij V.N., Budnov S.A., Sankov O.V. i dr. Adaptivnye optoelektronnye pribory letatelnykh apparatov // Interekspo/ Mezhdunar. nauch. konf. «SibOptika-2018»: sb. materialov v 2 t. T. 1. – Novosibirsk: SGUGiT, 2018. – 3–11 s. (in Russian).
- [2]. Legkij V.N., Galun B.V., Sankov O.V. Optoelektronnye elementy Ustrojstva sistem specialnogo naznacheniya. – Novosibirsk: NGTU, 2011. – 455 s. (in Russian).
- [3]. Legkij V.N., Yushenko V.P., Shumejko V.A. i dr. Vysokoinformativnye optiko-lokacionnye sistemy s obrabotkoj trehmernykh izobrazhenij // «Doklady AN VSh RF». – Novosibirsk: NGTU, 2017. – No 3 (36). – S. 64–73. (in Russian).
- [4]. Prudnikov N.V., Shlishevskij V.B. Panoramnye optiko-elektronnye ustrojstva krugovogo i sektornogo obzora // Vestnik SGUGiT, vyp. 1 (33), 2016, S. 148–161. (in Russian).
- [5]. Molebnyi V. V. Optyko-lokatsiini systemy. Osnovy funktsionalnoi pobudovy. M., Mashynobuduvannia, 1981 (in Ukrainian).
- [6]. Budiyanskaya L. M., Santonij V. I., Ivanchenko I. A. Metod samoskanirovaniya dlya izmereniya diagrammy napravlenosti optiko-elektronnykh ustrojstv // Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta, 2000, Vyp. 2 (11), Pp. 168–172 (in Russian).
- [7]. Lepikh Ya., Santoniy V., Yanko V. Modeling Method of Optoelectronic Sensors Functioning in Dynamic Mode // The world of science

and innovation. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2020. Pp. 134-139. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-14-16-oktyabrya-2020-goda-london-velikobritaniya-arhiv/>

[8]. Ivanchenko I.A., Santonij V.I., Budiyanskaya L.M. Distancionnyj optiko-elektronnyj datchik s rastroj reshetkoj // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoj apparature. –2005. –No.4. –S. 31–34 (*in Russian*).

[9]. Lepikh Ya. I., Ivanchenko I. A., Budiyanskaya L. M., Santonij V. I. Puti intellektualizacii optiko-elektronnogo sensora // Sensor Electronics and Microsystem Technologies, 2014, T. 11, No. 2, Pp. 62–64 (*in Russian*).

[10]. High-accurate optico-electronic distance measurement of short distances for moving objects. / Science and Technology Center in Ukraine. Annual Report 1999. Kyiv 2000, p. 43.

[11]. Santoniy V., Yanko V. Lepikh Ya. Modeling Method of Optoelectronic Sensors Functioning in Dynamic Mode// The world of science and innovation. Abstracts of the 3rd International

scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2020. Pp. 134–139. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-14-16-oktyabrya-2020-goda-london-velikobritaniya-arhiv/>

[12]. Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, V. V. Yanko, L. M. Budianskaya, I. O. Ivanchenko

Optoelectronic radar for the high-speed objects movement parameter determination. Sensor Electronics and Microsystem Technologies 2020 – T. 17, No. 3, Pp. 12–19.

[13]. Budiyanska L. Ivanchenko I., Lepikh Ya. Method for detecting aerosol formations with optical location sensor // The world of science and innovation. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2020. Pp. 21–27. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-14-16-oktyabrya-2020-goda-london-velikobritaniya-arhiv/>

Стаття надійшла до редакції 19.04.2021 р.

UDC 528.021.7:681.78

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235205

FORMATION OF THE OPTOELECTRONIC SYSTEM DIRECTIONAL DIAGRAM USING FIBER-OPTIC CABLE

V. I. Santoniy, Ya. I. Lepikh, V. I. Yanko, I. A. Ivanchenko, L. M. Budiyanskaya

Interdepartmental scientific-educational physics and technical center of MES and NAS of Ukraine
at the Odesa I.I. Mechnykov National University
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Summary

The method of forming directional diagrams (RD) with the possibility of controlling it in space is described. The method of forming of the object location detection zone of complex shape in the transmitter-receiver optical system with the help of fiber-optic cables (OIC) is substantiated and created. The problem of a circular field of view of a multi-channel optoelectronic system (ECO) creating, designed for advanced high-speed objects at short distance detection has been solved.

According to the results of laboratory tests of the developed ECO model is established that in the working range of distances of a location of 0,5 ... 10,0 m reliable detection of the target high-speed

and high-precision registration of object in all DS directions is reached. The proposed method of DS forming allows increasing the accuracy of detection of the ECO object as a result of the elongation of the surface irradiation zone eliminates its omission possibility.

The practical value of the study in the field of short-range optical location is due to the fact that it allows detecting objects in different situations and can identify them. The obtained results allow developing new, high-precision ECO, which operation principle will be based on new location methods and techniques and optoelectronics modern element base.

The results of the work can be used in space technology and transport, namely in devices for remote detection of approach / removal, collision prevention and docking of various objects, as well as in the design and construction of a number of modern laser-location detection and recognition systems, range, and for these classes advanced system development.

Keywords: optoelectronic system, directional diagram, object of location, emitter, photodetector, fiber-optic cable, modeling

UDC 528.021.7:681.78

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235205

ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ

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

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України
при Одеському Національному університеті імені І. І. Мечникова
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Реферат

Описано метод формування діаграми спрямованості (ДС) з можливістю керування нею у просторі. Обґрунтовано та створено спосіб формування зони виявлення об'єкта локації складної форми у приймально-передавальній оптичній системі за допомогою оптоволоконних кабелів (ОВК). Вирішена задача по створенню кругової зони огляду багатоканальної оптико-електронної системи (ОЕС), призначеної для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях.

За результатами лабораторних випробувань макета розробленої ОЕС встановлено, що в робочому діапазоні дистанцій локації 0,5...10,0 м досягнуто надійне виявлення швидкісної цілі та високоточна реєстрація об'єкта у всіх напрямках ДС. Запропонований спосіб формування ДС дозволяє підвищити точність виявлення об'єкта ОЕС в результаті подовження зони опромінення поверхні, що виключає можливість його пропуску

Практична цінність проведеного дослідження в області оптичної локації ближньої дії обумовлена тим, що дозволяє виявляти об'єкти в різних ситуаціях і може проводити їх ідентифікацію. Отримані результати дозволяють розробляти нові, високоточні ОЕС, принцип дії яких буде засновано на нових способах і методах локації та сучасної елементної бази оптоелектроніки.

Результати роботи можуть бути використані у космічній техніці та транспорті, а саме у пристроях дистанційного визначення наближення/віддалення, попередження зіткнень та стикування різних об'єктів, а також при проектуванні і створенні ряду сучасних лазерно-локаційних

систем виявлення і розпізнавання, дальнометрії, а також для розробки перспективних систем зазначених класів.

Ключові слова: оптико-електронна система, діаграма спрямованості, об'єкт локації, випромінювач, фотоприймач, оптоволоконний кабель, моделювання