

---

# СЕНСОРИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

---

## PHYSICAL SENSORS

---

УДК 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2019.3.179349>

### КОМП'ЮТЕРНИЙ СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ШИРОКОКУТНОГО ПРИЙМАЛЬНОГО ПРИЛАДУ ОПТИЧНОГО ЛОКАТОРА

*Я. І. Лепіх, В. В. Янко, В. І. Сантоній*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при  
Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова  
вул. Дворянська 2, Одеса, 65082, Україна,  
тел. 723-34-61, e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### КОМП'ЮТЕРНИЙ СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ШИРОКОКУТНОГО ПРИЙМАЛЬНОГО ПРИЛАДУ ОПТИЧНОГО ЛОКАТОРА

*Я. І. Лепіх, В. В. Янко, В. І. Сантоній*

**Анотація.** Проведено аналіз проблематики в специфічній області оптико-електронного приладобудування. Описано розроблений оптичний прилад, який забезпечує діаграму спрямованості оптичного локатора (ОЛ), за його використанням, втричі ширше, ніж в разі застосування стандартної лінзи. Описано технологію його розробки в програмному середовищі 3D моделювання. Описана сутність і ціль комп'ютерного трасування променів в аспекті поставленого завдання, обробка і оцінка отриманих даних.

**Ключові слова:** оптична локація, 3D моделювання, трасування променів, лінза

## COMPUTER SYNTHESIS AND ANALYSIS OF WIDE-WIDE OPTICAL LOCAL RECEIVER

*Ya. I. Lepikh, V. V. Yanko, V. I. Santoniy*

**Abstract.** The analysis of problems in the specific area of optoelectronic instrumentation is conducted. Describes the developed optical device, which provides the radiation pattern of the optical locator (OL), using it, three times wider than in the case of using a standard lens. The technology of its development in the 3D modeling software environment is described. The essence and purpose of computer ray tracing in the aspect of the task, processing and evaluation of the received data are described.

**Keywords:** optical location, 3D modeling, ray tracing, lens

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ШИРОКОУГОЛЬНОГО ПРИЕМНОГО ПРИБОРА ОПТИЧЕСКОГО ЛОКАТОРА

*Я. И. Лепих, В. В. Янко, В. И. Сантоний*

**Аннотация.** Проведен анализ проблематики в специфической области оптико-электронного приборостроения. Описан разработанный оптический прибор, который обеспечивает диаграмму направленности оптического локатора (ОЛ), с его использованием, втрое шире, чем в случае применения стандартной линзы. Описана технология его разработки в программной среде 3d моделирования. Описана сущность и цель компьютерной трассировки лучей в аспекте поставленного задания, обработка и оценка полученных данных.

**Ключевые слова:** оптическая локация, 3d моделирование, трассировка лучей, линза

### Вступ

Для багатьох практичних завдань потрібне широке поле зору ОЛ. Деякі з них:

- визначення цілей;
- охорона периметрів;
- контроль завод.

Досить часто не потрібно навіть визначення напрямку на заваду, а важливий лише сам факт його появи. В цьому випадку прийнятий оптичний сигнал може бути сфокусований на чутливу поверхню одного фотоприймального перетворювача. Сучасні швидкодіючі фотодіоди (наприклад лавинні) мають чутливу поверхню, що не перевищує в діаметрі 1 mm. Це накладає значні обмежен-

ня на вхідну оптику і веде до її ускладнення. Рішення проблеми секторуванням діаграми (застосування більшої кількості фотодіодів) викликає проблеми сполучення секторів та підвищення ціни пристрою.

### Постановка задачі

Якщо ціль (об'єкт) оптичної локації може з'явитися з випадкового азимутального напрямку, доцільно домагатися віялової діаграми спрямованості для приймального та випромінювального оптичних елементів. Для приймального оптичного елемента завдання зводиться до можливості фокусування дуги що світиться, з кутом рівним

необхідному кутку зору ОЛ, в площу чутливої поверхні оптоелектронного перетворювача при відповідному юстируванні. Розглянемо застосування звичайної сферичної лінзи для поставленого завдання.

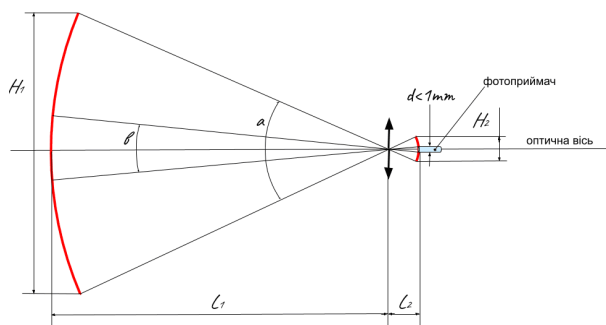


Рис. 1. Оптична схема застосування сферичної лінзи в ОЛ з ширококутним полем зору.

$L_1$  і  $L_2$  – відстані від лінзи до дуги що світиться і її зображення;

$d$  – діаметр чутливої поверхні фотоприймача;

$H_1$  і  $H_2$  габаритні розміри дуги і її зображення;

$\beta$  – реальний кут зору ОЛ;

$\alpha$  – необхідний кут зору ОЛ.

Для підвищення чутливості локатора необхідно збільшувати вхідну апертуру приймального оптичного приладу, в нашому випадку діаметр лінзи -  $D$ . З Рисунка 1 для тонких лінз справедливо

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{L_2}{L_1}. \quad (1)$$

На відстань  $L_2$  можна накласти обмеження

$$L_2 \geq F \geq D, \quad (2)$$

тому що діаметр лінзи не може бути менше своєї фокусної відстані -  $F$ . Тоді

$$H_2 \geq D \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (3)$$

Для кута зору локатора -  $60^\circ$  і вхідній апертурі -  $50 \text{ mm}$  (3) габаритна довжина зображення дуги складе більше  $25 \text{ mm}$ . Без

додаткової оптичної обробки (складний об'єктив з великою кількістю лінз і т.д.) побудувати такий локатор не є можливим. Якщо використовується один фотодіод, чутлива поверхня якого має діаметром  $1 \text{ mm}$ , то кут зору ОЛ з тонкої сферичної лінзою буде менше  $2,3^\circ$ . На практиці отримати кут зору більше  $1,6^\circ$  досить складно. Необхідно розробити оптичний прилад, що дозволяє побудувати ОЛ з максимально широким реальним кутом зору.

### Метод розв'язання задачі

*Технологія розробки оптичного приладу для широкого кута ОЛ*

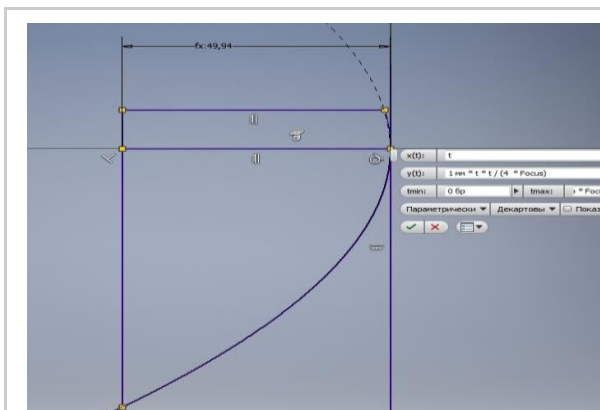
Прилад розроблявся методом ітеративної корекції його 3D моделі з дослідженням оптичних властивостей комп'ютерним трасуванням променів на кожному циклі. Трасування променів проводилась методом інверсного трасування, коли джерелом світла стає опромінений об'єкт. У нашому випадку це дуга що світиться з кутовим розміром  $60^\circ$ . 3D сцена складається з двох об'єктів: дуги що світиться довжиною  $10 \text{ m}$  і досліджуваного оптичного приладу. Здійснюється юстирування системи зміщенням і поворотом приладу таким чином щоб зображення дуги потрапило на спеціальну поверхню. Оцінюється габаритний розмір і сфокусованість зображення. Оскільки в даному випадку досліджується кут діаграми спрямованості, то ми не оцінюємо енергетичні інтегральні параметри прийнятого оптичного сигналу.

### Оптичний прилад з розширеною діаграмою спрямованості

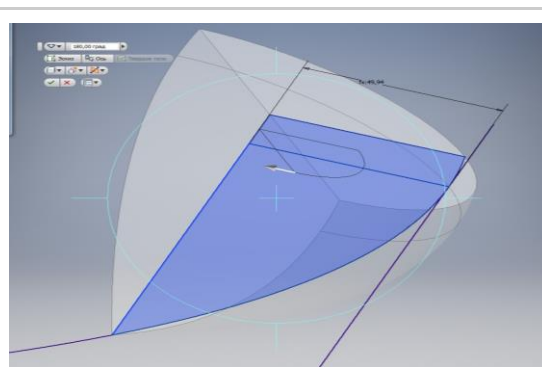
Аналіз варіантів базових типів оптичних приладів показав, що для поставленої задачі оптимальною є призма зі складною дзеркальною поверхнею внутрішнього відбиття. Вхідною поверхнею є круговий сегмент циліндра, що одночасно є вимогою конструкції локатора і служить розширенню діаграми. Для вибору форми поверхні, що відбиває були вивчені рішення для дзеркальних антен НВЧ діапазону. Максимально широкий огляд має тороїдально-параболічний рефлектор.

Він утворюється обертанням утворюючої, що є відрізком параболи, навколо вісі, що перпендикулярна вісі абсцис параболи. Точка фокусу параболи при такому обертанні утворює «фокальну дугу», уздовж якої розташовуються перетворювачі. Такий рефлектор поєднує властивості параболічного і сферичного дзеркал. Використання тороїдально-параболічного рефлектора дозволяє організувати приймання в широкому секторі («вузлі сканування») уздовж фокальної дуги без помітного розфокусування. Використовується офсетний виріз сегмента базової фігури, причому таким чином, щоб площина

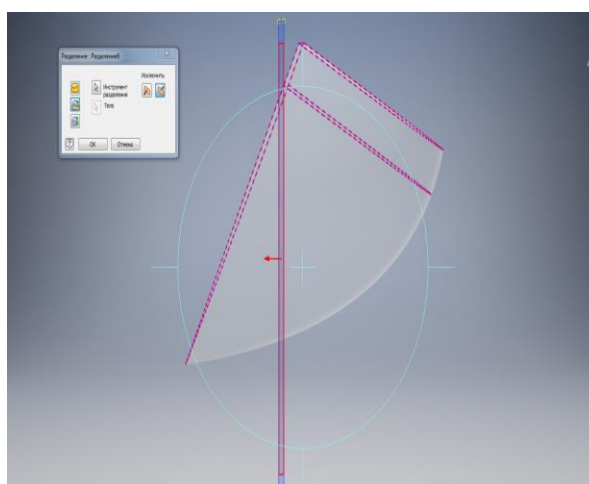
віялової діаграми спрямованості лягла під кутом 45° до вісі обертання (Рис. 2). Поверхня призми, що виконує роль тороїдально-параболічного дзеркала покривається тонким шаром металу. Існує декілька технологій цієї процедури. Добрий результат дає напилення у вакуумі, наприклад, алюмінію. Призма розраховувалась для виготовлення з оптичних марок скла. Та її лабораторний варіант з органічного скла показав практично розраховані оптичні характеристики. Усі поверхні, не задіяні у формуванні зображення, бажано зробити матовими і покрити світло поглинаючим шаром.



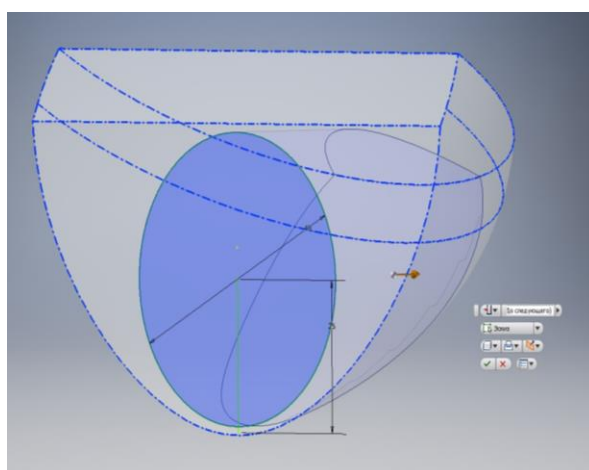
Побудова параболи обертання на базовому ескізі за формулою:  $y = \frac{x^2}{4 \cdot F}$ , де F - фокусна відстань



На відміну від параболоїда обертання, тороїдально-параболічне дзеркало будується обертанням параболи навколо вісі паралельній вісі x на відстань  $F \cdot k$ , де k - варійований параметр



Формування вертикального кута діаграми спрямованості



Формування кругової апертури. Офсетний виріз забезпечує фокусування на спеціальну поверхню у верхній частині приладу

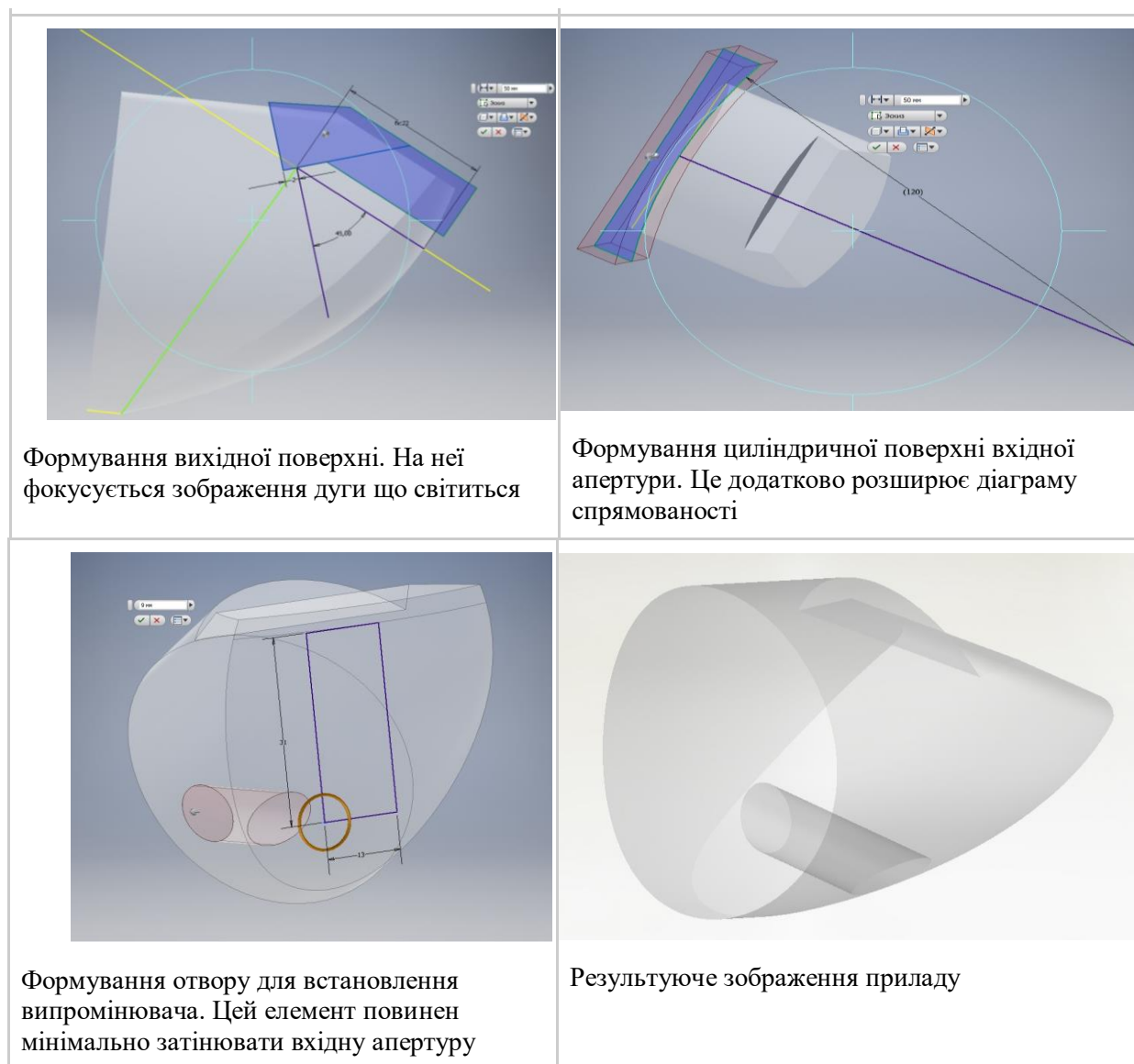


Рис. 2. Послідовність побудови 3D моделі оптичного приладу.

На рис. 2 наведена послідовність синтезу оптичного приладу з розширеною діаграмою спрямованості у програмному середовищі Autodesk Inventor. При кожній корекції 3D моделі проводилося трасування променів в програмі аналізу оптичних об'єктів компанії Lambda Research Corporation - TracePro. На рисунку 3 надані скріншоти такого дослідження. Завдяки аналізу ходу променів вдалося вибрати найбільш оптимальне положення отвору для встановлення лазерного випромінювача.

Вісь циліндричного отвору паралельна променям, заломленим вхідною поверхнею, що забезпечує мінімальне затінення. Крім того, цей отвір розташований в місці з мінімальною щільністю променів що проходять.

Після кожної модифікації 3D моделі оптичного приладу проводився експорт файлу моделі у програмне середовище TracePro. Потім виконується її позиціонування, уточнення параметрів джерел світла, трасування променів і аналіз отриманих результатів.

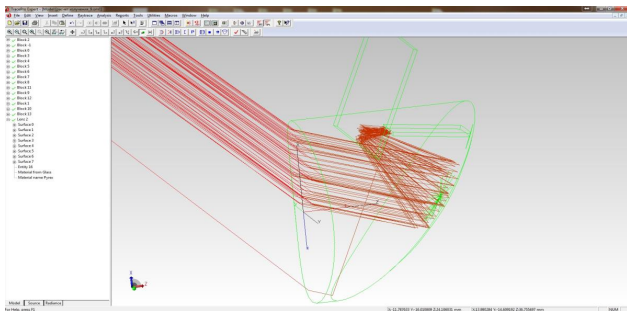
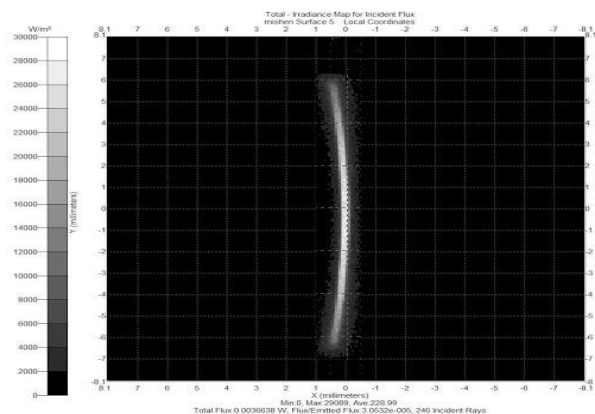
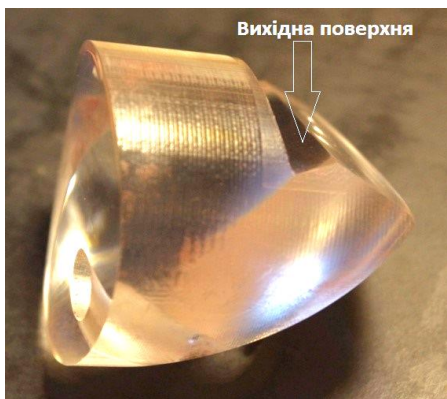


Рис. 3. Трасування променів що виходять з дуги що світиться.



а)



б)

Рис. 4. а) дійсне зображення дуги що світиться у  $60^\circ$  на вихідній поверхні оптичного приладу; б) фото його реалізації з оргскла.

На рисунку 3 а) наведено скріншот програми TracePro з інтегральною оцінкою трасування променів. Кожен промінь, що пройшов через вихідну поверхню залишає крапку, яскравість якої залежить від енергетичних характеристик променя. Фактично це комп'ютерна модель дійсного зображення дуги що світиться в  $60^\circ$  на вихідній поверхні оптичного приладу. Га-

баритний розмір зображення дорівнює **12 мм**. Якщо в ОЛ використовується один фотодіод, який має чутливу поверхню  $1\text{mm}^2$ , то кут зору ОЛ із застосуванням запропонованого приладу складе  $5^\circ$ . Це майже втричі більше, ніж в разі тонкої сферичної лінзи. Однак цього не достатньо для побудови ОЛ з кутами зору в десятки градусів

### Заключення

Існують певні вирішення цієї задачі. Але в будь-якому випадку, розроблений нами прилад суттєво спрощує ці рішення, має кращі технічні характеристики і меншу вартість.

### Список використаної літератури

- [1]. Aksenenko M. D., Baranochnikov M. L. Priemniki opticheskogo izlucheniya. M.: Radio i svyaz', 1987.
- [2]. Ishanin G. G., Pankov E. D., Andreev A. L., Pol'shchikov G. V. Istochniki i priemniki izlucheniya. SPb.: Politekhnik, 1991.
- [3]. Ponomarenko V. P., Filachev A. M. Fotopriemniki i fotopriemnye moduli novogo pokoleniya // Prikladnaya fizika. – 2001. – № 6. – S. 20–38.
- [4]. Windisch R. ta inshi. Mikrolinzovye svetodiody s gigabajtnym bystrodejstviem i vysokoj effektivnost'yu // Electron. Lett. 2000. – T. 36, № 4. – S. 351–352.
- [5]. Kozincev V. I., Belov M. L., Orlov V. M. Osnovy impul'snoj i lazernoj lokacii: Ucheb. posobie dlya vuzov. M.: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2006. – 512.
- [6]. Alyamovskij A. A. SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike. – Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 2008 – S. 698 – 699.
- [7]. Navchalnyi posibnyk TracePro [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.lambdares.com/tracepro> (data zvernennia: 16.01.2017).
- [8]. TracePro, User's Manual, Release 6.0 Revision 03-Nov-2009 Lambda Research Corporation 25 Porter Road Littleton, MA 01460

Стаття надійшла до редакції 12.08.2019 р.

UDC 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2019.3.179349>

## COMPUTER SYNTHESIS AND ANALYSIS OF THE WIDE-ANGLE OPTICAL LOCATOR RECEIVING APPARATUS

*Ya. I. Lepikh, V. V. Yanko, V. I. Santoniy*

Interdepartmental Scientific and Educational Physical - Technical Center of the Ministry of Education and Science and the National Academy of Sciences of Ukraine at the Odesa I. I. Mechnikov National University, 2, Dvoryanskaya st., Odessa, 65082, Ukraine, tel. 723-34-61, e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### Summary

The analysis of the problems in a specific field of optoelectronic instrumentation, namely: the field of application and means of achieving a wide-angle field of view has been made. A comparative calculation of the use of a spherical flat lens for the formation of a wide-angle directional diagram is presented. The technology for the development of optical instruments using computer simulation in Autodesk Inventor 3d synthesis software environment and the Lambda Research Corporation - TracePro program for analyzing optical objects by ray tracing is described. The searching by the classification features of an optical device that is synthesized, by analogy to the microwave range of reflector antennas has been substantiated. The developed optical device is described, which is a prism with a complex mirror surface of internal reflection, which provides the directional diagram of an optical locator (OL) when it is attracted three times wider than in the standard lens case using. Skin windows of program windows are given that explain the sequence of actions with geometric objects during the optical device construction. The essence and purpose of computer ray tracing in the aspect of the task, the processing and evaluation of the data are described.

**Keywords:** optical location, 3d modeling, ray tracing, lens

## КОМП'ЮТЕРНИЙ СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ШИРОКОКУТНОГО ПРИЙМАЛЬНОГО ПРИБОРУ ОПТИЧНОГО ЛОКАТОРА

*Я. І. Лепіх, В. В. Янко, В. І. Сантоній*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при  
Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова  
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна,  
тел. 723-34-61, e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### Реферат

Проведено аналіз проблематики в специфічній області оптико-електронного приладобудування, а саме: сфери застосування та засоби досягнення ширококутного поля зору. Наводиться порівняльний розрахунок застосування сферичної плоскої лінзи задля формування ширококутної віялової діаграми спрямованості. Описано технологію розробки оптичних приладів за допомогою комп'ютерного моделювання в програмному середовищі 3D синтезу Autodesk Inventor та в програмі аналізу оптичних об'єктів трасуванням променів Lambda Research Corporation - TracePro. Обґрунтовується пошук за класифікаційними ознаками оптичного приладу, що синтезується, за аналогією дзеркальних антен НВЧ діапазону. Описано розроблений оптичний прилад що є призмою зі складною дзеркальною поверхнею внутрішнього відбиття, який забезпечує діаграму спрямованості оптичного локатора (ОЛ), за його залученням, втричі ширше, ніж в разі застосування стандартної лінзи. Наводяться скріншоти вікон програм які пояснюють послідовність дій з геометричними об'єктами під час побудови оптичного приладу. Описані сутність і ціль комп'ютерного трасування променів в аспекті поставленого завдання, обробка і оцінка отриманих даних.

**Ключові слова:** оптична локація, 3D моделювання, трасування променів, лінза