

OPTICAL AND OPTOELECTRONIC AND RADIATION SENSORS

ОПТИЧНІ, ОПТОЕЛЕКТРОННІ І РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ

УДК 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212947>

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ РАДАР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШВИДКІСНИХ ОБ'ЄКТІВ

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

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

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ РАДАР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШВИДКІСНИХ ОБ'ЄКТІВ

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

Анотація. В даній роботі розв'язується проблема підвищення точності безконтактних вимірювань параметрів руху швидкісних об'єктів розробкою лазерного радара (ЛР) на основі спеціального лазерного датчика і оптимального алгоритму дистанційного високоточного визначення динамічних характеристик швидкісних об'єктів.

Ключові слова: лазерний радар, фазо-імпульсний метод, швидкісний об'єкт, параметри руху.

OPTOELECTRONIC RADAR FOR THE HIGH-SPEED OBJECTS MOVEMENT PARAMETER DETERMINATION

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

Abstract. This paper solves the problem of increasing the accuracy of non-contact measurements of the high-speed objects motion parameters by developing laser radar (LR) based on a special laser sensor and the optimal algorithm for remote high-precision determination the high-speed objects dynamic characteristics.

Keywords: laser radar, phase-pulse method, high-speed object, motion parameters.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ РАДАР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ

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

Аннотация. В данной работе решается проблема повышения точности бесконтактных измерений параметров движения скоростных объектов разработкой лазерного радара (ЛР) на основе специального лазерного датчика и оптимального алгоритма дистанционного высокоточного определения динамических характеристик скоростных объектов.

Ключевые слова: лазерный радар, фазо-импульсный метод, скоростной объект, параметры движения.

Вступ

Підвищення точності безконтактних вимірювань параметрів руху швидкісних об'єктів є актуальною проблемою сучасної оптичної локації.

Проблема суттєво ускладнюється коли необхідно визначити координати і параметри руху високо швидкісних об'єктів на малих відстанях в умовах жорсткого дефіциту часу обробки сигналів в умовах зовнішніх завад різного типу.

В даній роботі проблема розв'язується розробкою лазерного радара (ЛР) на основі спеціального лазерного датчика і оптимального алгоритму дистанційного високоточного визначення динамічних характеристик швидкісних об'єктів [1-2].

Основна частина

Створено ЛР з високим просторовим дозволом, в якому застосовано сучасну елементну базу.

До складу ЛР входить імпульсний лазерний випромінювач, здатний формувати в інфрачервоному діапазоні світлові імпульси малої тривалості (1-10) нс. Для високоточної роботи ЛР в швидкісному режимі необхідно забезпечити ідентичний імпульсний струм на нелінійному навантаженні, в якості якого використано лазерний діод [3-4]. У генераторі накачування лазерного випромінювача застосовано принцип лавинного пробою. До складу апаратної реалізації генератора увійшли наступні функціональні вузли: підвищувач напруги з п'яти

вольт до ста двадцяти вольт, формувачі синхроімпульсу, ключовий каскад, який за фронтом синхросигналу виробляє потужний наносекундний імпульс струму. При цьому, реалізація схеми накачування напівпровідникового лазерного випромінювача дозволяє сформувати потужний імпульс струмом до ~ 40 А на навантаженні 1,5-2 Ом.

Для забезпечення прийому оптичних імпульсів наносекундної тривалості розроблено схемні рішення з використанням швидкодіючих лавинних фотодіодів. Підсилення амплітуди сигналу фотовідповіді від поверхні об'єкта забезпечено імпульсним підсилювачем. Імпульсні сигнали тривалістю від 1 нс до 15 нс підсилюються за амплітудою, а імпульси поза наведеним діапазоном придушуються амплітудою у співвідношенні 15 дБ на октаву.

Сформована діаграма спрямованості оптичної системи ЛР з можливістю її корекції у просторі. Для формування заданої зони виявлення об'єкта у фокальній площині передавального та приймального об'єктивів ЛР розміщено оптоволоконні світловоди з площинкою необхідної форми і розмірів. Використання світловодів дозволяє одержати підвищення імпульсної світлової потужності за рахунок об'єднання випромінювання з декількох лазерних діодів.

У передавальному об'єктиві ЛР замість одного монолітного оптичного елемента застосовані два роздільних: фокусуюча двоопукла сферична лінза і коса призма, яка змінює напрям поширення зондуємого випромінювання. Зображення 3D моделі оптичних елементів наведені на рисунку 1. На ньому показано вза-

емне розташування всіх оптичних елементів приймального і передавального об'єктивів, а також хід променів усередині оптичних елементів і в повітрі.

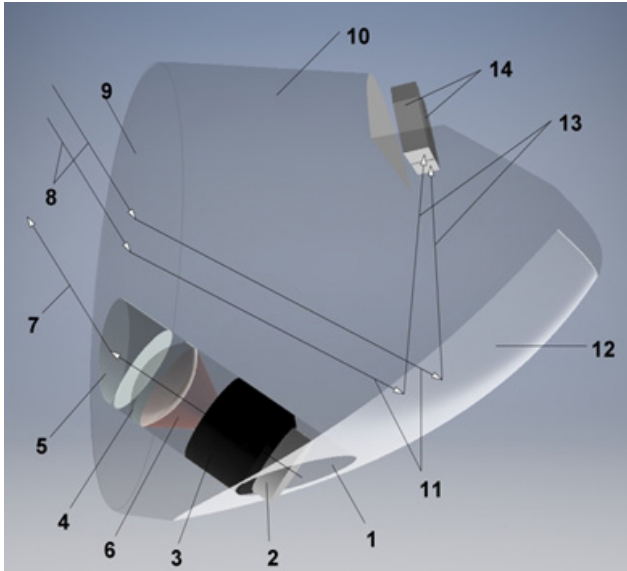


Рис. 1. Структурна схема взаємного розташування оптичних елементів приймального і передавального об'єктивів. → хід променів.

1 - канал для розміщення оптичного елемента передавального об'єктива;

2 - вихідний з'єднувач, що передає випромінювання з оптоволоконного кабелю;

3 - гільза, що фокусує;

4 - двояко опукла сферична лінза;

5 - косої призми;

6 - діаграма поширення променів з майданчика оптоволоконного кабелю;

7 - напрям поширення зондування випромінювання;

8 - проміння, що відбито від поверхні об'єкта;

9 - вхідна циліндрична поверхня приймального оптичного елемента;

10 - тіло приймального оптичного елемента;

11 - траєкторії переломлених променів, які перетинають вхідну поверхню приймального оптичного елемента;

12 - торопараболічне дзеркало;

13 - сфокусовані промені, відбиті від поверхні;

14 - елементи двох вхідних зіниць приймальних оптоволоконних кабелів

На рисунку 2 наведені оптичні елементи передавального об'єктива в площині паралельній його оптичній осі. Рисунок 3 дає уявлення про співвідношення розмірів майданчика оптичних волокон оптиковолоконного кабелю, зображе-

ного у вигляді білої риски, котра фокусує двоопуклу лінзу і змінює напрям випромінювання косої призми.

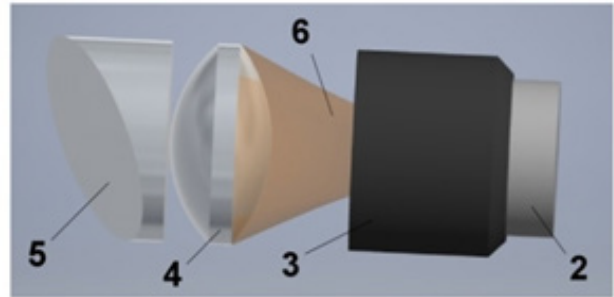


Рис. 2. Оптичні елементи передавального об'єктива

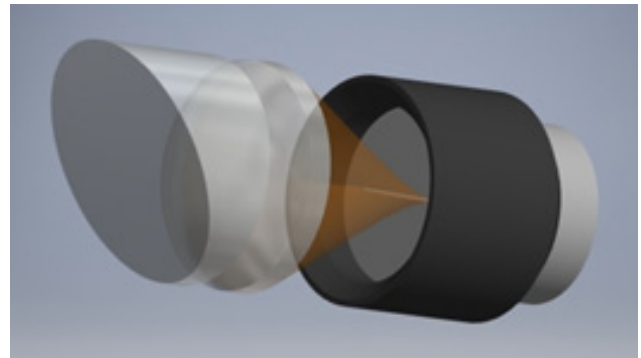


Рис. 3. Майданчики оптичних волокон оптиковолоконного табеля

Поширення випромінювання в приймально-передавальному об'єктиві відбувається в такій послідовності. Випромінювання двох лазерних діодів з блоку управління поступає на вихідний роз'єм передавального оптоволоконного кабелю 2, який закріплений в фокусі гільзи 3. За допомогою двоопуклої сферичної лінзи 4 випромінювання фокусується. Сфокусований пучок променів на поверхні косої призми 5 заломлюється і направляється в бік поверхні об'єкта. Відбиті від ділянки поверхні об'єкта промені 8 потрапляють на циліндричну поверхню 9 приймального оптичного елемента. Переломлене на границі повітря і скла випромінювання 11 під тим же кутом, що і падаюче випромінюване, потрапляє на поверхню торопараболічного увігнутого дзеркала 12. Відбившись від поверхні увігнутого дзеркала, прийняте сфокусоване випромінювання 13 на-

правляється усередину волокон двох вхідних з'єднань прийомних оптоволоконних кабелів 14. Далі (по двом прийомним оптоволоконним кабелям) випромінювання надходить на фотоприймачі, розташовані в прийомних модулях.

Вимірювання шумових характеристик фотоприймального пристрою проводилося за допомогою цифрового осцилографа GDS840С з пропускною здатністю 250 МГц. Ширина шумової доріжки на виході фотоприймача при зміні глибини негативного зворотного зв'язку характеризувалася значеннями в інтервалі від 1,3 до 2,5 мВ.

На основі проведених досліджень розроблено удосконалений фазо-імпульсний метод виміру параметрів відбитого лазерного випромінювання фотоприймачем в режимі прямого фотодетектування.

Структурно-функціональна схема ЛВ наведена на рис. 4.

Алгоритм роботи схеми наступний.

Сигнал тактової частоти із задаючого генератора ЗГ поступає на транзисторний лавинний ключ ТЛК. ТЛК по фронту тактового імпульсу, що прийшов, формує імпульс струму через лазерний діод ЛД амплітудою 40А і три-

валістю 5 нс. Світловий імпульс з лазерного діода за допомогою оптичної системи ОП фокусується і спрямовується паралельно осі корпусу ЛВ у бік поверхні завади. Частина енергії відбитого від поверхні завади світлового імпульсу за допомогою приймального об'єктиву ОП збирається і фокусується на майданчику фотоприймача ФП. Електричний імпульс фотовідповіді з виходу фотоприймача поступає на вхід імпульсного підсилювача ІП. На інший вхід ІП подається сигнал з виходу формувача вимірювального інтервалу ФВІ. ФВІ формує вимірювальний імпульс тривалістю 14,3 нс з фронтом, співпадаючим з фронтом імпульсу тактової частоти. При збігу за часом імпульсу фотовідповіді і сформованого ФВІ вимірювального імпульсу на виході ІП формується імпульсний сигнал, що свідчить про появу поверхні завади на шуканій відстані. Далі сигнал поступає на формувач вихідного імпульсу ФВІ де обробляється по заданому алгоритму.

Метод оптико-електронного дальнометрування на базі компенсації фазового зсуву базується на тому, що автоматична система, охоплена петлею негативного зворотного зв'язку, компенсує набіг фази, котрий одержує

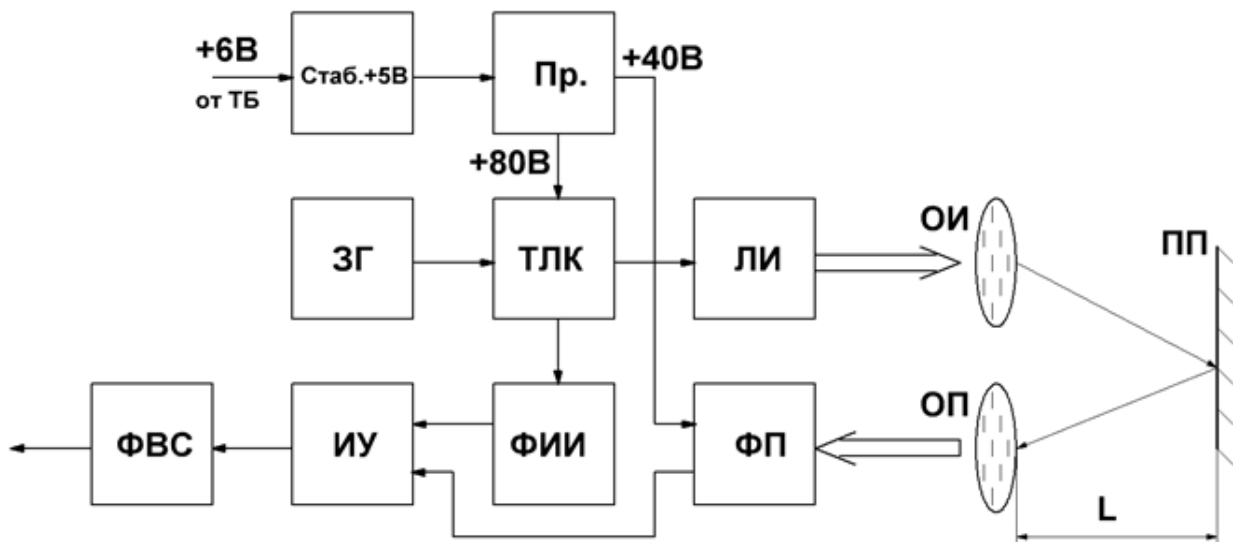


Рис. 4. Структурно-функціональна схема ЛВ.

ЛВ - лазерний випромінювач; ОІ – оптична система лазерного випромінювача;

ФП - фотоприймач; ОФ - оптична система фотоприймача; ПП - поверхня завади;

L - дистанція спрацювання ОДП; ТЛК – транзисторний лавинний ключ;

ЗГ - задаючий генератор; Стаб.+5В - стабілізатор живлення ОДП; Пр. - формувач напруги +40В та +80В; ІП - імпульсний підсилювач; ФІІ – формувач вимірювального часового інтервалу; ФВС - формувач вихідного сигналу

стимулюючий синусоїдальний сигнал у наслідку прольоту оптичним променем подвійної дальності.

Розроблено новий метод обробки прийнятого сигналу, що дозволяє провести високоточне дистанційне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів методом лазерної локації. Удосконалення методу локації досягнуто за рахунок підвищення оптимальності структурно-функціонального ділення між елементами оптоелектронних лазерних систем.

Експериментально показано, що міжканальний фазовий зсув в різних режимах роботи при час-просторовій обробці сигналів не дозволяє повністю понизити завади, що діють на бічні пелюстки діаграми спрямованості антени.

При захисті ЛР використання просторових відмінностей між корисним сигналом і завадою реалізується шляхом рознесеного прийому. У разі, коли обробка сигналів в пристрої фільтрації є пачковою, необхідно оцінити обмеження в придушенні завад.

ЛР випромінює незгасаючі пачки лазерних імпульсів. З огляду на це випромінювання відбивається від навколишніх об'єктів, він отримує можливість значно більш точно визначати відстань до об'єкта, одночасно обчислюючи його швидкість. Відбите випромінювання від незатухаючих пачок лазерних імпульсів дає можливість ЛР працювати в несприятливих погодних умовах.

На засаді проведеного комп'ютерного моделювання отримані закономірності розробленого удосконаленого методу дальнометрування, в якому застосовано модуляцію параметрів світлового сигналу, що дозволяє проводити високоточне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів.

На основі результатів моделювання перетину діаграм спрямованості розроблена конструкція приймально-передавального об'єктива ЛР. Розташування приймальних модулів приймально-передавального об'єктива показано на рисунку 5.

Датчик виявляє об'єкт в умовах відсутності видимості, наприклад, крізь такі завади як штучні дими і туман, йому не заважають завади, які створюють світловідбиваючі об'єкти [6]. ЛР здатний виявляти дрібні об'єкти на від-

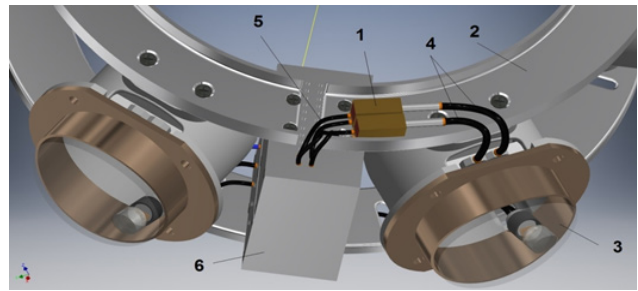


Рис.5. Приймально-передавальний об'єктив ЛР

- 1 - приймальний модуль;
- 2 - верхній елемент кріплення;
- 3 - приймально-передавальний об'єктив;
- 4 - приймальні оптоволоконні кабелі одного каналу ЛР;
- 5 - вхідні екрановані електричні кабелі

станнях до 15 м і його випромінювання може проникати крізь сніг і туман.

Його габарити не перевищують 10x10x5см. ЛР можна підключити до будь-якої системи за допомогою інтерфейсів USB. За допомогою спеціалізованого процесора ЛР може стежити за рухомими об'єктами, вимірюючи їх швидкість і відстань до них [7, 8].

Діаграма спрямованості датчика забезпечує покриття його наглядом достатньо великі площі. Основною областю застосування є установка таких датчиків на вертольоти рятувальних і аварійних служб, які змушені здійснювати посадку в умовах темряви і в поганих погодних умовах, що обмежують отримання візуальної інформації про характер навколишньої місцевості, та інших системах, призначених для точного вимірювання координат і параметрів руху швидкісних об'єктів.

Висновки

Малогабаритний високоточний ЛР може бути використаний як у спеціальній техніці, так і в деяких суто цивільних областях. Він може бути також використаний для широкого застосування в складі систем забезпечення безпеки, в медицині, на транспорті і в інших галузях промисловості і господарства. Особливо в областях, де мають місце несприятливі умови, що унеможливають використання інших пристроїв.

Список використаної літератури

- [1]. Ya. I. Lepikh, V. I. Santonii, V. V. Yanko, L. M. Budiianska, I. O. Ivanchenko. Priamovidlikovy fazovyi metod vymiriuvannya malykh dystantsii optyko-elektronnym sensorom u dynamichnykh umovakh // Sens. elektron. i mikrosyst. tekhnol. 2015-T. 12, No 4, S. 37-43 (in Ukrainian).
- [2]. Patent Ukrainy na vynakhid No 110140, zaiavka No a 201402716, publ. 25. 09. 2015 “Lazernyi rivnemirnyi prystrii” Smyntyna V. A., Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Ivanchenko I. O., Budiianska L. M. Opubl. Biul. No 22/2015 vid 25.11.2015 (in Ukrainian).
- [3]. Patent Ukrainy na korysnu model No106203 G01N 21/47, 21/55, publ. 25.04.2016, Biul. No8/2016 “Metod vyivlennia infrachervonoho vyprominiuvannya” Ivanchenko I. O., Budiianska L. M., Smyntyna V. A., Santonii V. I. (in Ukrainian).
- [4]. Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Yanko V. V., Budiianska L. M., Ivanchenko I. O. Rozrobka kompiuternykh modelei elementiv optyko-elektronnogo sensora korotkykh tras // Tezy dopovidei 7-oi Mizhnar. n. -tekhn. konf. “Sensorna elektronika ta mikrosystemni tekhnologii (SEMST-7)”, 30 travnia – 3 chervnia 2016 r., Odesa, Ukraina, S. 145. (in Ukrainian).
- [5]. Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Budiianska L. M., Yanko V. V. Metodyka doslidzhennia zavadovoi sytuatsii v optychnomu diapazoni na korotkykh trasakh // Tam zhe, S. 163. (in Ukrainian).
- [6]. Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Yanko V. V., Budiianska L. M., Ivanchenko I. O. Udoskonalenyi metod vysokotochnoho optyko-elektronnogo dalnometruvannya korotkykh tras // Tam zhe, S. 178.
- [7]. Santonii V. I., Ivanchenko I. O., Budiianska L. M. Metod imitatsii shvydkisnogo rivnomirnoho rukhu optyko-lokatsiinykh prystroiv // Patent na korysnu model No122768 vid 25.01.2018, Biul. No2/2018 (in Ukrainian).
- [8]. V. Santoniy, I. Ivanchenko, L. Budiyanskaya. Method of imitation of the motion of optical-location device // Tezy dopovidei III Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia «Perspektyvni napriamky suchasnoi elektroniky, informatsiinykh i kompiuternykh system» (MEICS 2018) Sektsiia V. Fizychni yavlyshcha v materialakh elektronnoi tekhniky ta tekhnologii yikh otrymanna, m. Dnipro, 21-23 lystopada 2018 r., S. 190-191. (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 22.08.2020 р.

UDC 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212947>

OPTOELECTRONIC RADAR FOR THE HIGH-SPEED OBJECTS MOVEMENT PARAMETER DETERMINATION

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

Interdepartmental scientific-educational physical and 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, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Summary

This paper solves the problem of increasing the accuracy of non-contact measurements of the high-speed objects motion parameters by developing laser radar (LR) based on a special laser sensor and the optimal algorithm for remote high-precision determination the high-speed objects dynamic characteristics.

The improved phase-pulse method for the reflected laser radiation parameter measuring by a photodetector in the mode of direct photodetection has been developed. A new method of the received signal processing has been developed, which allows carrying out high-precision remote determination of the fast objects motion parameters by the method of laser location.

The improvement of the location method is achieved by increasing the optimality of structural and functional division between the elements of optoelectronic laser systems.

On the basis of the performed computer simulation, the laws of the developed advanced method of long-range measurement are obtained, in which modulation of light signal parameters is applied, which allows to carry out high-precision determination of the high-speed objects motion parameters.

Keywords: laser radar, phase-pulse method, high-speed object, motion parameters.

УДК 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212947>

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ РАДАР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШВИДКІСНИХ ОБ'ЄКТІВ

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

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

В даній роботі розв'язується проблема підвищення точності безконтактних вимірювань параметрів руху швидкісних об'єктів розробкою лазерного радара (ЛР) на основі спеціального лазерного датчика і оптимального алгоритму дистанційного високоточного визначення динамічних характеристик швидкісних об'єктів.

Розроблено удосконалений фазо-імпульсний метод виміру параметрів відбитого лазерного випромінювання фотоприймачем в режимі прямого фотодетектування. Розроблено новий метод обробки прийнятого сигналу, що дозволяє провести високоточне дистанційне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів методом лазерної локації.

Удосконалення методу локації досягнуто за рахунок підвищення оптимальності структурно-функціонального ділення між елементами оптоелектронних лазерних систем.

На засаді проведеного комп'ютерного моделювання отримані закономірності розробленого удосконаленого методу дальнометрування, в якому застосовано модуляцію параметрів світлового сигналу, що дозволяє проводити високоточне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів.

Ключові слова: лазерний радар, фазо-імпульсний метод, швидкісний об'єкт, параметри руху.