

УДК 396.373

А.М. Катунін, Р.Г. Сидоренко, Я.М. Кожушко, Г.В. Рибалка

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

РОЗШИРЕННЯ ОХОРОННИХ ФУНКЦІЙ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Проведений аналіз можливостей реалізації розширених охоронних функцій (вимір положень об'єктів (порушників) та їх переміщень на різних відстанях; вимір швидкості переміщень об'єктів (порушників); вимір (контроль) габаритів об'єктів (порушників)) в лазерних системах сигналізації. Показана перспективність удосконалення лазерних систем сигналізації.

Ключові слова: інфрачервоне випромінювання, лазерні системи сигналізації, охоронні функції.

Вступ

Постановка проблеми, аналіз досліджень та публікацій. Сучасні тенденції розвитку методів боротьби із противником обумовлюють необхідність активного пошуку і локалізації груп противника на значних відстанях до об'єктів, що охороняються [1]. Проведені дослідження свідчать, що результативний пошук і виявлення груп противника із застосуванням відомих способів наземної і повітряної розвідки місцевості неможливо забезпечити за обмежений час в умовах пересіченої місцевості з густою рослинністю та при використанні противником засобів маскування. Успішне вирішення такого завдання може бути забезпечено після створення і прийняття на озброєння спеціальних сигналізаційних засобів контролю місцевості, що об'єднані у систему дистанційного виявлення (систему сигналізації). В свою чергу, ефективне функціонування систем сигналізації вимагає:

- мінімізації кількості технічних засобів забезпечення безпеки об'єкту (ТЗЗБО);
- розширення охоронних функцій ТЗЗБО;
- низьких масогабаритних параметрів ТЗЗБО;
- високої завадостійкості ТЗЗБО;
- малого енергоспоживання комплексу ТЗЗБО;
- простоти установки, підготовки та юстирування ТЗЗБО.

Достатньо повно цим вимогам задовольняють системи сигналізації на основі активних інфрачервоних засобів виявлення – лазерні системи сигналізації. Це обумовлюється тим фактом, що лазерні системи характеризуються безконтактністю дії, високою точністю, малою масою та невеликими габаритами, високою завадостійкістю, простотою установки та юстирування, а також широким спектром потенційних можливостей (охоронних функцій).

Перелік можливих охоронних функцій лазерних систем сигналізації включає:

- вимір положень об'єктів (порушників) та їх переміщень на різних відстанях;

- вимір швидкості переміщень об'єктів (порушників);
- вимір (контроль) габаритів об'єктів (порушників).

Метою статті є аналіз можливостей реалізації наведених розширених охоронних функцій в лазерних системах сигналізації.

Основна частина

Послідовно проаналізуємо можливості реалізації кожної з наведених охоронних функцій в лазерних системах сигналізації.

Для точного виміру положень об'єктів (порушників) та їх переміщень на різних відстанях застосовуються лазерні системи, що працюють в ближньому інфрачервоному спектральному діапазоні. До складу лазерних систем визначення положення об'єкту (порушника) входять випромінюючий діод та позиційно-чутливий детектор (ПЧД) із фотоприймачем [2]. Принцип дії даних систем пояснюється на рис. 1.

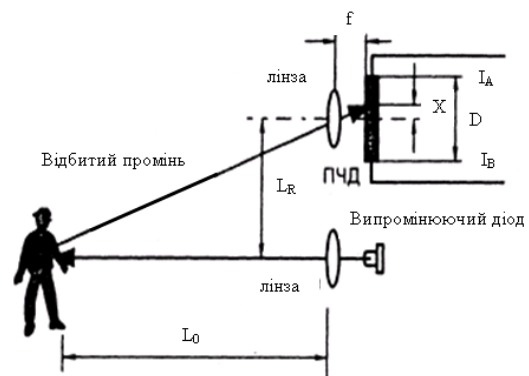


Рис. 1. Принцип виміру положень об'єктів (порушників) та їх переміщень ПЧД

Інфрачервоне випромінювання від діоду проходить через лінзу коліматора, формує промінь із малою розбіжністю (менш 2°). Лазерне випромінювання являє собою імпульс тривалістю менш 1 мс. При відбитті від об'єкту (порушника) випромінювання падає назад на фотоприймач і фокусується на

чутливий поверхні ПЧД. Вихідні сигнали ПЧД (струми I_B та I_A) пропорційні відстані X між центром детектора та світловою плямою. Інтенсивність відбитого випромінювання значно залежить від відбивних властивостей об'єкту. Відбивна дифузійна здатність в ближньому інфрачервоному діапазоні практично є такою, що і у видимій області спектру, тому інтенсивність випромінювання, що попадає на поверхню ПЧД, значно змінюється. Проте, точність вимірів практично не залежить від інтенсивності отриманого лазерного випромінювання.

ПЧД використовує залежність опору поверхні кремнієвого фотоприймача від інтенсивності падаючого випромінювання. На відміну від пристроїв із зарядовим зв'язком, які являють собою матриці фотодіодів, ПЧД має безперервну чутливу область. Світлову пляму, що переміщається по чутливій зоні, ПЧД перетворює в одномірний або двовимірний сигнали, які пропорційні відстані до об'єкту (порушника). ПЧД виготовляється на підложці із високорезистивного кремнію, із двох сторін якої нанесені два шари (p і n^+ типу). Він має два електроди (A і B), які сформовані на верхньому шарі. Електроди служать для забезпечення електричного контакту при визначенні опору p -шару. У центрі нижнього шару сформований один загальний електрод C . Фотоелектричний ефект протікає у верхньому p - n переході. Відстань між електродами A і B дорівнює D , а відповідний цій відстані опір – RD .

Припустимо, що промінь попадає на поверхню ПЧД у зону, розташовану на відстані X від електроду A . Опір між електродом і точкою падіння променя відповідно дорівнює R_X . Фотоелектричний струм I_0 , що з'являється при падінні лазерного випромінювання на поверхню фотоприймача, пропорційний інтенсивності випромінювання. Струм на виходах A і B пропорційний відстаням між точкою падіння променя та електродами:

$$I_A = I_0 \frac{R_D - R_X}{R_D}, \quad I_B = I_0 \frac{R_X}{R_D}. \quad (1)$$

Оскільки залежність опору від відстаней є практично лінійною, вираз (1) можливо переписати таким чином:

$$I_A = I_0 \frac{D-X}{D}, \quad I_B = I_0 \frac{X}{D}. \quad (2)$$

Для виключення залежності вихідних струмів від фотоелектричного струму (від інтенсивності випромінювання) знаходиться відношення струмів:

$$P = \frac{I_A}{I_B} = \frac{D}{X} - 1, \quad \text{або} \quad X = \frac{D}{P+1}. \quad (3)$$

В результаті отримуємо вираз:

$$L_0 = f \frac{L_B}{D} (P+1) = k (P+1), \quad (4)$$

де f – фокусна відстань приймаючої лінзи;
 k – геометрична константа модуля.

Формула (4) являє собою залежність між відстанню та відношенням вихідних струмів, яка є лінійною.

На цьому принципі роботи реалізовані промислові оптичні датчики. Дані датчики ефективно працюють у реальному масштабі часу та застосовуються при вимірах висоти, товщини об'єктів в системах контролю, а також для виявлення присутності порушників в зоні охорони об'єктів.

Основною перевагою систем на основі ПЧД є їх висока точність, яка може перевищувати точність самого ПЧД. На цей час детектори випускаються двох типів: одно- і двомірні. Спектральний діапазон ПЧД складає 320...1100 нм.

Використання датчиків на основі зсуву частоти світла дозволяє здійснювати вимір швидкості об'єктів. Вимір проводиться високоточними методами світлового гетеродування та спектрального аналізу. Типовим зразком датчика на основі зсуву частоти світла є лазерний доплеровський волоконно-оптичний вимірювач швидкості, принцип дії якого полягає в наступному.

При підсвічуванні лазерним променем об'єкта (порушника), що рухається та розсіює світло, відбувається зсув частоти випромінювання (ефект Доплера). Частотний зсув виражається формулою:

$$f_D = \frac{\vec{k}_S - \vec{k}_0 \vec{v}}{2\pi}, \quad (5)$$

де \vec{k}_S , \vec{k}_0 – хвильові вектори падаючого і розсіяного випромінювання;

\vec{v} – вектор швидкості об'єкта (порушника), що рухається та розсіює світло.

Оптичне волокно застосовується для зонду з лазерним випромінювачем та для зонду детектора розсіяного випромінювання. Залежно від структури оптичної системи датчики розділяються на два види (рис. 2) [15]:

- з опорним світлом;
- диференціальні.

У лазерному доплеровському вимірювачі з опорним світлом лазерний промінь підсвічує вимірюваний об'єкт (порушника) скрізь волоконно-оптичний зонд. Цим же зондом приймається світло зворотного розсіювання. Частотний зсув світла в результаті ефекту Доплера визначається формулою:

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \cos \theta, \quad (6)$$

де λ – довжина хвилі лазера;

θ – кут між лазерним променем і вектором швидкості об'єкта (порушника).

Вимірюваний сигнал, що має частоту Доплера, отримується шляхом гетеродинного виявлення світловим детектором променів розсіювання та опорного світла, що прийшло в детектор в результаті френелівського відбиття від торця зонду.

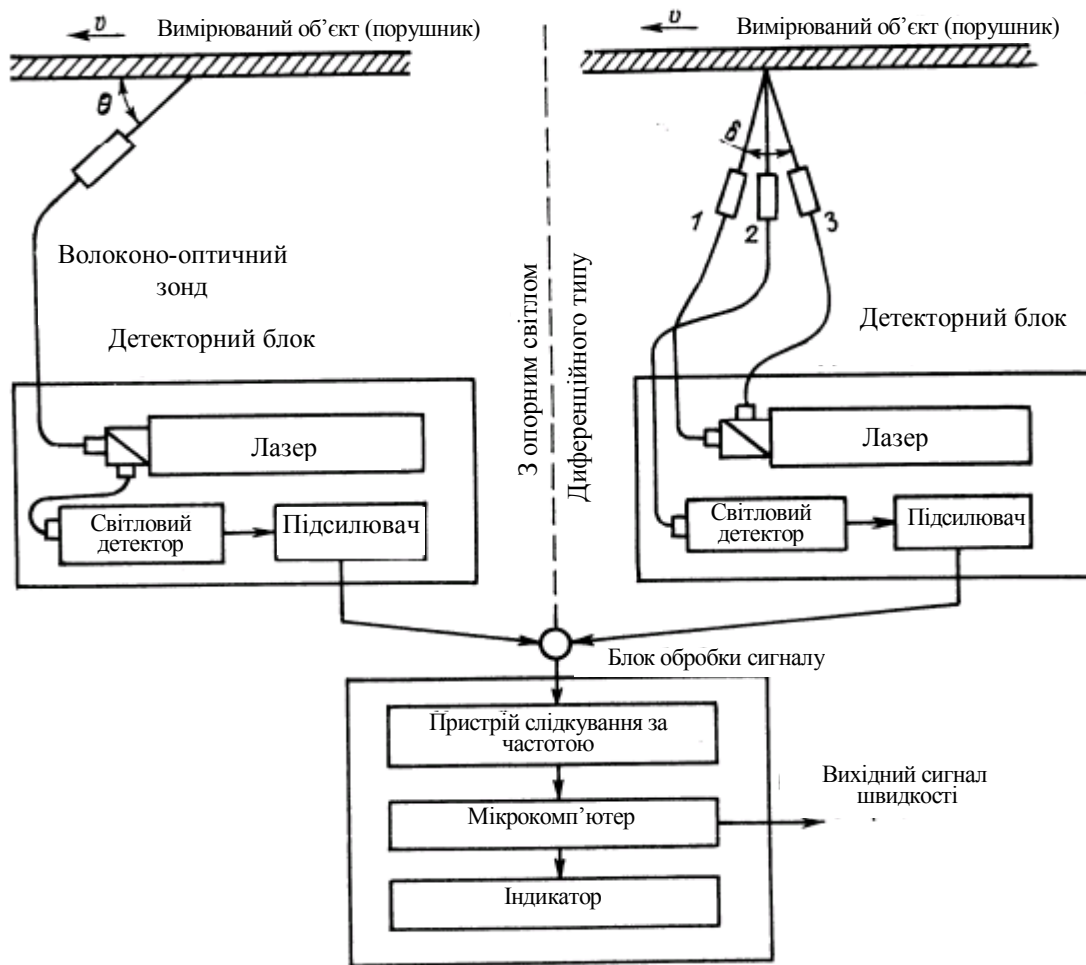


Рис. 2. Лазерний доплерівський вимірювач швидкості об'єктів (порушників)

У лазерному доплерівському вимірювачі швидкості диференційного типу вимірюваний об'єкт підсвічується за допомогою волоконно-оптичних зондів 1 і 2 (рис. 2), а розсіяне об'єктом світло приймається волоконно-оптичним зондом 3. У детекторі шляхом гетеродування цих променів формується доплерівський сигнал вимірювача. Частота биття, що виникає в результаті гетеродинного виявлення, визначається співвідношенням

$$f_B = \frac{2v}{\lambda} \sin \frac{\delta}{2}, \quad (7)$$

де δ – кут між двома лазерними променями.

Як видно з формул (6) і (7), зрушення частоти залежить від кута підсвічування (θ , δ) вимірюваного об'єкта (порушника) променем лазера. Таким чином, необхідно точне налаштування оптичної системи. Також потрібно враховувати, що в даних вимірниках швидкості використане явище розсіювання лазерного променя вимірюваним об'єктом (порушником), тому чутливість виявлення залежить від властивостей об'єкта (кольорів, ступеню глянце, чистоти обробки поверхні, температури та інших факторів).

Для виміру (контролю) габаритів об'єктів (по-

рушників) з високою ефективністю застосовуються автоматизовані лазерні системи контролю. Відома досить велика кількість даних систем [3].

Існуючі лазерні системи контролю габаритів об'єктів мають невеликі розміри, низьку собівартість, працюють в умовах поганої видимості (туман, дощ, сніг) і зовнішнього (сонячного) засвічування та забезпечують контроль габаритів із кроком 25 мм при швидкості руху об'єктів до 100 км / год.

Відповідні системи мають два функціональні пристрої (випромінювач і приймач) та на виході фіксують два стани – наявність або відсутність об'єкту в зоні спостереження.

На основі існуючої лазерної системи контролю габаритів вантажу доцільно розглянути принцип дії відповідних систем, який полягає в наступному [3]. Випромінювання лазера (рис. 3) потужністю 3...5 мВт, модульоване частотою 100 кГц, попадає на колімуючу лінзу 2, що формує пучок. В прийомній частині випромінювання фокусується лінзою 5 на фотодіоді. Сигнал з фотодіоду надходить у модуль обробки (повторювач зі слідкуючим зв'язком), який забирає постійну складову сигналу, що, в свою чергу, забирає

вплив зовнішнього засвічування. Номінал навантажувального резистору фотодіоду обирається невеликим для того, щоб сигнал не входив у насичення при влученні сонячного випромінювання в приймач.



Рис. 3. Функціональна схема лазерної системи виміру (контролю) габаритів об'єктів (порушників):

- 1 – лазер із модуляцією, 2 – колімуюча лінза,
3 – фокусуєча лінза, 4 – фотодіод,
5 – модуль обробки

Далі сигнал надходить на підсилювач потужності перемінного сигналу з коефіцієнтом підсилення ~ 100 . Смуговий фільтр виділяє із сигналу робочу частоту 100 кГц, яка підсилюється наступним каскадом. Після цього посилений перемінний сигнал являє собою меандр із частотою 100 кГц. Значний коефіцієнт підсилення забезпечує надійну роботу лазерної системи в складних погодних умовах (туман, дощ, сніг). Меандр заряджає конденсатор до рівня 2,5 В при наявності сигналу, а при відсутності сигналу напруга на конденсаторі становить 200 мВ. За допомогою компаратору формуються логічні рівні. Вихід компаратору – відкритий колектор, що дозволяє одержати будь-який логічний рівень. Швидкодія датчика становить 1500 Гц при мінімальному значенні вхідного сигналу (в умовах поганої видимості) і 3000 Гц при нормальних умовах, що дозволяє контролювати об'єкти розміром 5 мм, що рухаються зі швидкістю 120 і 240 км/год відповідно. Відстань між приймачем і випромінювачем складає 10 м.

Оптико-електронна частина системи складається з 19 недорогих, простих у зборці та налагодженні пристроїв. Вона забезпечує контроль габаритів об'єктів при їх швидкості руху до 120 км/год. – в умовах поганої видимості, та до 240 км/год. – в умовах гарної видимості з погрішністю 5 мм. Система складається із простих елементів (операційні підсилювачі і компаратор), не містить складних схем, на

які впливають електричні перешкоди. Потужність вхідного сигналу залежить від прозорості атмосфери та може значно варіюватися зі зміною погодних умов. Дана схема дозволяє виділити корисну складову в широкому діапазоні потужності вхідного сигналу, навіть при засвічуванні прийомної частини потужними джерелами світла (прожектор або сонячне випромінювання). Цим забезпечується висока завадостійкість.

Висновки

У роботі зроблений аналіз можливостей розширення переліку охоронних функцій в лазерних системах сигналізації, а саме реалізації наступних функцій:

- вимір положень об'єктів (порушників) та їх переміщень на різних відстанях;
- вимір швидкості переміщень об'єктів (порушників);
- вимір (контроль) габаритів об'єктів (порушників).

Показані існуючі технічні реалізації лазерних систем з відповідними функціями. Таким чином, удосконалення лазерних систем сигналізації з метою розширення переліку охоронних функцій є актуальним для ефективного ведення бойових дій.

Список літератури

1. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения: уч. пособие / Р.Г. Магауенов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 367 с.
2. Козлов В.Л. Оптоэлектронные датчики: Конспект лекций / В.Л. Козлов. – Мн.: Белгосуниверситет, 2005. – 116 с.
3. Дубешко А.В. Оптико-электронное устройство в системе контроля габаритов груза железнодорожного состава / А.В. Дубешко, Д.А. Михаевич // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 3. – С. 31-32.

Надійшла до редколегії 12.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАСШИРЕНИЕ ОХРАННЫХ ФУНКЦИЙ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ

А.Н. Катунин, Р.Г. Сидоренко, Я.Н. Кожушко, Г.В. Рыбалка

Проведен анализ возможностей реализации расширенных охранных функций (измерение положений объектов (нарушителей) и их перемещений на разных расстояниях; измерение скорости перемещений объектов (нарушителей); измерение (контроль) габаритов объектов (нарушителей)) в лазерных системах сигнализации. Показана перспективность усовершенствования лазерных систем сигнализации.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, лазерные системы сигнализации, охранные функции.

EXPANSION OF GUARD FUNCTIONS FOR SIGNALING LASER SYSTEMS

A.N. Katunin, R.G. Sydorenko, Ya.N. Kozhushko, G.V. Rybalka

The analysis of marketabilities the extended guard functions (measuring of objects (violators) positions and moving on different distances; measuring of objects (violators) speed; measuring (control) sizes of objects (violators)) in the signalingis laser systems is conducted. Perspective of improvement of the signaling laser systems is rotined.

Keywords: infrared radiation, signaling laser systems, guard functions.