

УДК 396.373

Я.М. Кожушко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СКЛАДНИХ ПОГОДНИХ УМОВ НА ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ ПРИ ВИЯВЛЕННІ ДИФУЗНО ВІДБИВНИХ ОБ'ЄКТІВ

Проведений аналіз впливу складних погодних умов (туман, сніг, дощ) на дальність дії лазерних систем сигналізації при виявленні дифузно відбивних об'єктів. Показано закономірності зменшення прозорості повітряного простору для кожного випадку. Виявлено обмеження щодо застосування лазерних систем сигналізації в таких умовах.

Ключові слова: лазерні системи сигналізації, дальність дії, погодні умови.

Вступ

Постановка проблеми, аналіз досліджень та публікацій. Периметрові системи сигналізації, що призначені для виявлення порушників (об'єктів) на місцевості, є важливою частиною комплексів автоматизованого фізичного захисту об'єктів і підступів до них [1, 2]. За призначенням дані системи можуть бути розділені на дві групи [1, 2]: рубіжно-сигналізаційні; розвідувально-сигналізаційні.

Основними тактико-технічними характеристиками (ТТХ) систем сигналізації, що визначають надійність сигналізації, є імовірність виявлення порушника і імовірності хибної тривоги та пропуску сигналу. Основними джерелами хибних тривог при використанні систем сигналізації є тварини, вітер, у поєднанні з близько розташованою рослинністю, блискавки при грозі, опади та інші.

У системах сигналізації широко використовуються лазерні пристрої, перспективність яких обумовлена безконтактністю, точністю лазерних засобів; малою масою та невеликими габаритами лазерів; високою перешкодостійкістю та простотою установки і юстирування лазерних систем [1].

Лазерні системи сигналізації дозволяють одночасно здійснювати сигналізаційне блокування ділянки периметра об'єкту, виявляючи порушників, що перетинають рубіж, а також вести оптико-електронну розвідку на контрольованій площі в місцях імовірної появи порушників [2]. Таким чином, використання лазерних систем сигналізації для вирішення завдань охорони периметрів об'єктів та ведення розвідки є перспективним.

Лазерні системи сигналізації складаються з передавача і приймача, що розташовуються в зоні прямої видимості. Такий датчик формує сигнал тривоги при перериванні лазерного променя, що потрапляє на фотоприймальний блок. Відмітна особливість даних систем – можливість створення дуже вузької зони виявлення, що особливо важливо для охорони об'єктів, навколо яких неможливо створити зону відчуження [2]. Проте, як і радіопроменеві, лазерні систе-

ми сигналізації можуть застосовуватися тільки на прямолінійних ділянках периметрів або огорож.

Основна проблема лазерних систем сигналізації – хибні спрацьовування за складних погодних умов (туман, дощ, сніг), що зменшують прозорість середовища. Надійність в таких випадках забезпечують за рахунок багатократного перевищення енергії лазерного променя над мінімальним пороговим значенням, необхідним для спрацьовування системи.

Ефективне виявлення порушників (об'єктів) – одна із важливих задач лазерних систем сигналізації, при цьому дану систему доцільно використовувати в режимі далекоміру. При цьому необхідно здійснювати оцінювання впливу складних погодних умов на дальність дії лазерних систем сигналізації.

Мета роботи полягає у оцінці впливу складних погодних умов на дальність дії лазерних систем сигналізації при виявленні дифузно відбивних об'єктів.

Основна частина

Дальність дії лазерної системи сигналізації при виявленні в зоні охорони дифузно відбивного об'єкту визначається [4]:

$$D = \sqrt[4]{\frac{E_{\lambda} \cdot S_{об} \cdot d_{пр}^2 \cdot \rho_{об} \cdot \tau_{вип} \cdot \tau_{пр} \cdot \tau_{тс}}{\pi \cdot \gamma^2 \cdot q \cdot E_{пор}}}, \quad (1)$$

де E_{λ} – енергія випромінювання лазерного джерела; $S_{об}$ – площа розсіювання об'єкту; γ – плоский кут розбіжності лазерного випромінювання; $d_{пр}$ – діаметр об'єктива приймальної оптичної системи; q – відношення сигнал/шум; $\rho_{об}$ – коефіцієнт відбиття поверхні об'єкта; $E_{пор}$ – порогова енергія прийнятого сигналу, що реєструється фотоприймачем; $\tau_{вип} \cdot \tau_{пр}$ – коефіцієнти пропускання випромінюючого та прийомного оптичних трактів відповідно; $\tau_{тс}$ – коефіцієнт пропускання повітряного середовища в зоні охорони.

У випадку, коли діаметр зондувального лазерного пучка системи сигналізації дорівнює або менше площі об'єкта, (1) приймає такий вигляд:

$$D = \sqrt{E_{\text{л}} \cdot d_{\text{пр}}^2 \cdot \rho_{\text{об}} \cdot \tau_{\text{вип}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{пс}} / (4 \cdot q \cdot E_{\text{пор}})} \quad (2)$$

При визначенні рівнянь (1) і (2) для випадку виявлення дифузно відбивних об'єктів припускається, що енергія лазерного випромінювання рівномірно розподілена усередині лазерного пучка та проекція об'єкта на площину поперечного перерізу має форму кола. В процесі застосування лазерних систем сигналізації необхідно враховувати сукупний вплив взаємодії лазерного випромінювання з повітряним середовищем в зоні охорони об'єкту, яке одночасно є поглинаючим, розсіюючим і випадково неоднорідним середовищем [3, 4]. Коефіцієнт пропускання повітряного середовища $\tau_{\text{пс}}$ є функцією дальності D:

$$\tau_{\text{пс}} = \exp(-2\varepsilon \cdot D), \quad (3)$$

де ε – коефіцієнт ослаблення лазерного випромінювання в атмосфері. В свою чергу коефіцієнт ослаблення лазерного випромінювання в атмосфері визначається емпіричною формулою [5]:

$$\varepsilon = (3,91/S_M) \cdot (0,55/\lambda)^{0,585\sqrt{S_M}}, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі зондувального лазерного випромінювання; S_M – метеорологічна дальність бачення.

Таким чином, в загальному вигляді дальність D може бути отримана лише методом чисельного рішення локаційного рівняння. Значення S_M для різних умов застосування лазерної системи сигналізації наведено в табл. 1 [5].

Таблиця 1

Значення метеорологічної дальності бачення S_M для різних умов

Погодні умови	Значення S_M , км
Сильний туман, густий сніг	0,05 – 0,5
Слабкий туман, сильна димка, помірний сніг	0,5 – 2
Слабкий сніг, помірний дощ, слабка димка	2 – 10
Слабкий дощ	10 – 20

На основі виразу (4) розраховані залежності коефіцієнту ослаблення лазерного випромінювання для різних погодних умов та довжини хвилі лазерного випромінювання, що представлені на рис. 1.

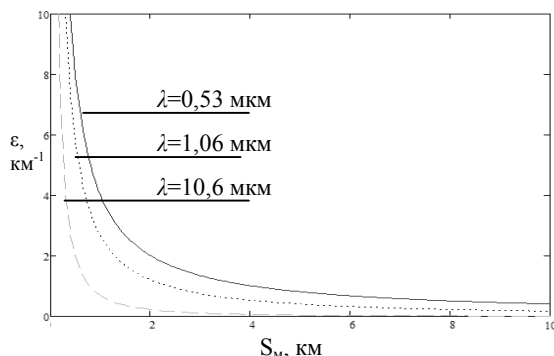


Рис. 1. Залежність ослаблення лазерного випромінювання у повітряному просторі від метеорологічної дальності бачення

Аналіз відповідних залежностей дозволяє зробити такі висновки: погодні умови суттєво впливають на ослаблення лазерного випромінювання в атмосфері; в умовах туману, снігу та димки значення коефіцієнту ослаблення лазерного випромінювання значні та складають $\varepsilon > 2 \text{ км}^{-1}$; в умовах слабкого дощу ослаблення лазерного випромінювання незначне та значення коефіцієнту ослаблення лазерного випромінювання відповідають $\varepsilon \leq 0,4 \text{ км}^{-1}$; із зростанням довжини хвилі значення коефіцієнту ε зменшуються для однакових погодних умов, на підставі чого можуть формуватися рекомендації щодо лазерних випромінювачів системи сигналізації: в системах сигналізації доцільно використання лазерів із максимально можливою довжиною хвилі.

В свою чергу, на основі (3), можливо здійснити оцінювання пропускання лазерного випромінювання повітряним середовищем. Відповідні залежності коефіцієнту $\tau_{\text{пс}}$ від дальності D представлено на рис. 2 для складних погодних умов (туман, сніг), яким відповідає значення $S_M = 0,5$, для довжини хвилі лазерного випромінювання $\lambda = 0,53; 1,06; 10,6 \text{ мкм}$.

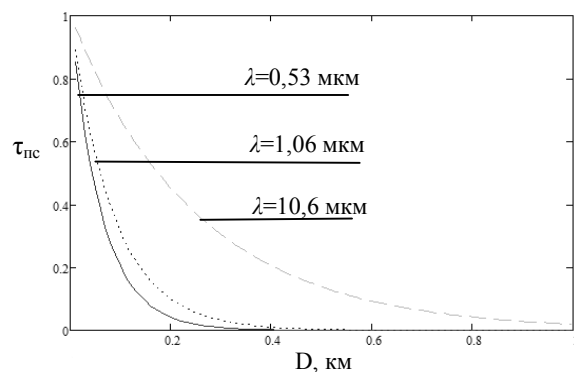


Рис. 2. Залежність пропускання лазерного випромінювання повітряним середовищем від дальності

Із аналізу залежностей, представлених на рис. 2, виявляється:

ефективна робота лазерних систем сигналізації обмежена 400...800 м, що відповідає заявленим виробниками тактико-технічним характеристикам;

в складних погодних умовах пропускання лазерного випромінювання на трасі 400 м складає менш, ніж 30 % для довжини хвилі $\lambda = 0,53; 1,06; 10,6 \text{ мкм}$.

у випадку, коли дальність дії лазерної системи сигналізації обмежена 10...50 м, довжини хвилі лазера не суттєво впливає на пропускання випромінювання повітряним середовищем.

Отримані результати дозволяють здійснити оцінювання можливостей лазерних систем сигналізації при виявленні дифузно відбивних об'єктів. Для цього приймемо: втрати випромінювання в оптичній системі становлять 50 %, тобто $\tau_{\text{вип}} \cdot \tau_{\text{пр}} = 0,5$; коефіцієнт відбиття поверхні об'єкта $\rho_{\text{об}} = 0,5$; діаметр об'єктива приймальної оптичної системи при існуючих конс-

трукційних обмеженнях $d_{пр}=5$; порогову енергію прийнятого сигналу, що реєструється фотоприймачем, $E_{пор}=10^{-6}$ Дж (відповідає серійно виготовленим фотоприймальним пристроям); значення відношення сигнал/шум $q=10$, що відповідає імовірності хибної тривоги та пропуску сигналу порядку 10^{-6} .

Відповідні залежності дальності D від енергії випромінювання лазерного джерела $E_{л}$ представлено на рис. 3 для значень коефіцієнту пропускання лазерного випромінювання повітряним середовищем $\tau_{пс} = 0,1; 0,3; 0,5$, що відповідає різним погодним умовам.

На основі аналізу представлених на рис. 3 графіків відповідних залежностей можливо зробити такі висновки: вплив погодних умов на дальність дії лазерної системи сигналізації суттєво обмежує дальність дії лазерних систем сигналізації; ефективна робота лазерних систем сигналізації на дальності 200...600 м забезпечується використанням лазерів, енергія випромінювання яких складає більш ніж $E_{л} = 5...10$ мкДж; підвищення енергії випромінювання лазерів в 2 рази забезпечує зріст дальності дії лазерних систем сигналізації в середньому в 2,2 рази.

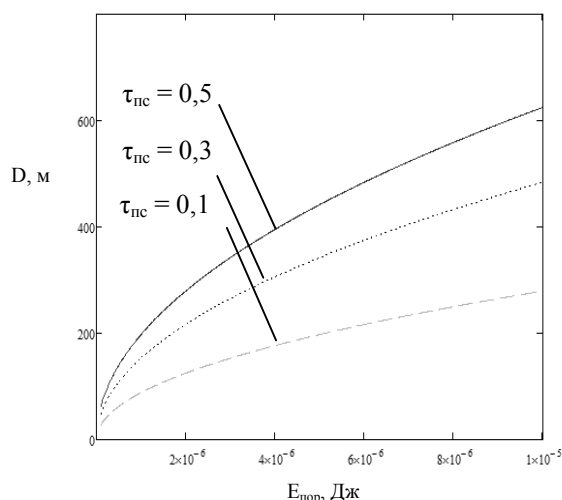


Рис. 3. Залежності дальності лазерної системи сигналізації від енергії випромінювання лазерного джерела

Висновки

У роботі на підставі «класичного» рівняння лазерної локації проведено оцінювання можливостей лазерних систем сигналізації при виявленні дифузно відбивних об'єктів.

Показано, що в умовах туману, снігу та димки ослаблення лазерного випромінювання в повітряному просторі значне ($\epsilon > 2$ км⁻¹), а в умовах слабкого дощу – незначне ($\epsilon \leq 0,4$ км⁻¹). При цьому, в складних погодних умовах, пропускання лазерного випромінювання на трасі 400 м складає менш, ніж 30 %, для довжини хвилі $\lambda=0,53; 1,06; 10,6$ мкм.

Отримані в роботі результати доводять, що ефективна робота лазерних систем сигналізації обмежена 400...800 м, що відповідає заявленим виробниками тактико-технічним характеристикам. В даних умовах, в лазерних системах сигналізації доцільно використання лазерів, енергія випромінювання яких складає більш, ніж $E_{л} = 5...10$ мкДж. В цілому результати, що отримані, доцільно використовувати при формуванні вимог до перспективних лазерних систем сигналізації різного призначення.

Список літератури

1. Активные лучевые барьеры для охраны периметра. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: http://sio.su/down_011_3_def.aspx.
2. Введенский Б.С. Современные системы охраны периметров. [Електрон. ресурс] // Специальная техника. – 1999. – № 4. – Режим доступу: <http://ess.ru/publications/articles/vvedensky2/vednsky.htm>.
3. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Сов. радио, 1970. – 494 с.
4. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
5. Основы импульсной лазерной локации: учеб. пособ. / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.М. Орлов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 512 с.

Надійшла до редколегії 13.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЛОЖНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ДАЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ДИФФУЗНО ОТРАЖАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

Я.Н. Кожушко

Проведен анализ влияния сложных погодных условий (туман, снег, дождь) на дальность действия лазерных систем сигнализации при обнаружении диффузно отражающих объектов. Показаны закономерности уменьшения прозрачности воздушного пространства для каждого случая. Выявлено ограничения относительно применения лазерных систем сигнализации в таких условиях.

Ключевые слова: лазерные системы сигнализации, дальность действия, погодные условия.

THE ANALYSIS OF IMPACT OF SEVERE WEATHER CONDITIONS ON THE RANGE OF LASER ALARM SYSTEMS FOR DETECTION OF DIFFUSION REFLECTIVE OBJECTS

Ya.M. Kozhushko

The analysis of the impact of severe weather conditions (fog, snow, rain) on the range of laser alarm systems for detection of diffusion reflective objects. Showed laws to reduce transparency of airspace for each case. Revealed restrictions on the use of laser alarm systems in such circumstances.

Keywords: laser alarm system, the range of, weather conditions.