

УДК 396.373

Я.М. Кожушко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

УДОСКОНАЛЕННЯ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДИФРАКЦІЙНО ВІДБИВНИХ ПОКРИТТІВ

Проведений аналіз можливостей удосконалення лазерних систем сигналізації на основі використання дифракційно відбивних покриттів. Обґрунтована доцільність використання дифракційно відбивних покриттів у складі лазерних систем сигналізації покриттів з метою підвищення надійності.

Ключові слова: лазерні системи сигналізації, відбивне покриття, дифракційна решітка.

Вступ

Постановка проблеми, аналіз досліджень та публікацій. Системи сигналізації є важливою частиною комплексів автоматизованого захисту (безпеки) об'єктів і підступів до них.

В системах сигналізації широко використовуються лазерні засоби, перспективність яких обумовлена безконтактністю, точністю лазерних засобів; малою масою та невеликими габаритами лазерів; високою перешкодостійкістю та простотою установки і юстирування лазерних систем [1 – 3].

Лазерні системи сигналізації складаються з передавача і приймача або суміщеного прийомо-передавача і відбивного елементу, що розташовуються в зоні прямої видимості. Такий датчик формує сигнал тривоги при перериванні лазерного променя, що потрапляє на фотоприймальний блок. Відмітна особливість лазерних систем – можливість створення дуже вузької зони виявлення, що особливо важливе для охорони об'єктів, навколо яких неможливо створити зону відчуження [2].

Основна проблема лазерних систем сигналізації - хибні спрацювання за несприятливих атмосферних умов (дощ, снігопад, туман), що зменшують прозорість середовища. Надійність в таких випадках забезпечують за рахунок багатократного перевищення енергії лазерного променя над мінімальним пороговим значенням, необхідним для спрацювання датчика [2], а одним із перспективних рішень є формування визначеної кількості «лазерних бар'єрів» за різними напрямками.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні доцільності використання дифракційно відбивних покриттів у складі лазерних систем сигналізації.

Основна частина

Ефективність застосування лазерних систем обмежується пропусканням випромінювання повітряним середовищем. Розповсюдження лазерного випромінювання в атмосфері супроводжується явищами лінійної і нелінійної взаємодії світла з середовищем, при цьому жодне з цих явищ не проявляється

окремо. Вказані явища можна розділити на три основні групи [4 – 6]: поглинання і розсіювання молекулами газів повітря, ослаблення в аерозолях (пил, дощ, сніг, туман), флуктуації випромінювання на турбулентностях атмосфери.

Поглинання є вкрай нерівномірним по частоті, воно максимальне на резонансних частотах молекул води, вуглекислого газу, озону і інших компонентів атмосфери. У випадку потрапляння випромінювання в центр лінії спектру, воно поглинається атмосферою на 100% навіть на невеликій відстані. Тому у лазерних системах сигналізації застосовуються лазери з випромінюванням, що знаходиться на ділянках спектру атмосфери, зайнятих широкими вікнами прозорості. Молекулярне розсіювання добре вивчено, при цьому складені таблиці коефіцієнтів розсіювання у видимій і інфрачервоній областях спектру, що забезпечують достатньо точний кількісний розрахунок втрат енергії випромінювання на заданій відстані [4 – 6]. Даний тип розсіювання істотно не впливає на ефективність роботи лазерних систем сигналізації на відміну від аерозольного ослаблення.

Аерозольне ослаблення обумовлене не тільки розсіювання, але і поглинанням випромінювання частинками аерозолю. Всі типи атмосферних аерозолів можна об'єднати в наступні основні класи: хмари, тумани, серпанки і опади – дощ або сніг. У хмарах і туманах найбільш імовірне значення радіусу частинок складає 5...6 мкм, а в серпанках на 1...2 порядки менше. Тому ослаблення мікронного випромінювання в серпанках нижче.

На розповсюдження лазерного променя сильно впливає також турбулентність атмосфери (випадкові просторово-часові зміни показника заломлення, викликані переміщенням повітря, флуктуаціями його температури і щільності), яка призводить до перекручування хвильового фронту і, отже, до коливань і розширення лазерного пучка та перерозподілу енергії в його поперечному перетині. У площині приймальної системи це виявляється в хаотичному чередуванні темних і яскравих плям. При цьому виникають завмирання сигналу. Завмирання найсильніше виявляється в ясну сонячну

погоду при сильному вітрі. При практичному використанні лазерів в системах сигналізації необхідно враховувати сукупний вплив взаємодії випромінювання з атмосферою, яка одночасно є поглинаючим, розсіюючим і випадково неоднорідним середовищем [7]. Цей вплив може змінюватися в надзвичайно широкому діапазоні. Тому для забезпечення працездатності лазерних систем сигналізації на заданій дистанції з певним рівнем надійності необхідно мати достатній запас потужності із можливістю формування декількох «лазерних бар'єрів».

Одним із перспективних рішень даного завдання є використання дифракційно відбивних покриттів у якості відбивного елементу у складі лазерної системи сигналізації. Дані покриття дозволяють здійснювати перерозподіл енергії відбитого лазерного випромінювання в просторі, тобто робити перехід від рівномірного відбиття, що описується законом Ламберта, до істотно нерівномірного розподілу, характерного для відбиття лазерного випромінювання на дифракційних решітках [8, 9]. Розподіл інтенсивності відбитого від геометрично неоднорідного елементу покриття випромінювання визначається співвідношенням:

$$I = \frac{I_0}{N^2} \cdot \frac{\sin^2 u}{u^2} \cdot \frac{\sin^2(N \cdot v)}{\sin^2 v}, \quad (1)$$

де I_0 – інтенсивність падаючого лазерного випромінювання; N – число штрихів покриття (дифракційної решітки). Другий множник формули (1) визначає дифракцію від кожного відбивного елементу. Тут

$$u = \pi \cdot a \cdot (\sin \psi + \sin \varphi) / \lambda, \quad (2)$$

де a – ширина робочої грані штриха структури (дифракційної решітки); λ – довжина хвилі; φ – кут дифракції; ψ – кут падіння лазерного випромінювання.

Третій множник формули (1) визначає основні характеристики спектру і положення головних дифракційних максимумів діаграми розсіювання геометрично неоднорідного елементу покриття. Тут

$$v = \pi \cdot d \cdot (\sin \psi + \sin \varphi) / \lambda, \quad (3)$$

де d – постійна покриття (дифракційної решітки).

Експериментальні дослідження із використанням плівкових дифракційно відбивних покриттів із синусоїдальним профілем відбивної поверхні показують, що значна частина енергії (більше 70 %) відбитого лазерного випромінювання зосереджується у вузьких кутових секторах (дифракційних максимумах), а в кутових секторах, відмінних від напрямів розповсюдження дифракційних максимумів діаграми розсіяння геометрично неоднорідного елементу покриття, спостерігатиметься значне зниження інтенсивності відбитого випромінювання [8]. В лабораторних умовах в 3-х напрямках дифракційних максимумів зафіксоване підвищення потужності відбитого лазерного випромінювання в 1000...1500 разів відносно випадку використання дифузно відбивної поверхні із високим коефіцієнтом відбиття (білий

ватман), при цьому ширина дифракційних максимумів діаграми розсіювання плівкового покриття складає $\sim 1^\circ$ (рис. 1). В інших кутових секторах зафіксоване зниження інтенсивності відбитого лазерного випромінювання в ~ 10 разів відносно випадку використання дифузно відбивної поверхні із високим коефіцієнтом відбиття [8].

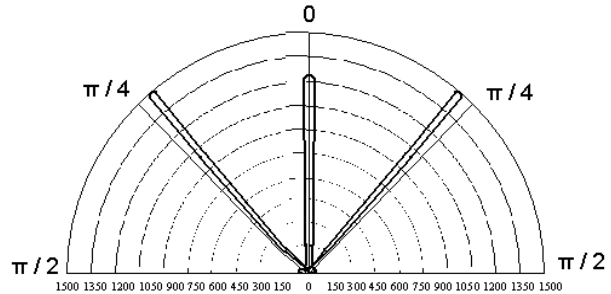


Рис. 1. Розподіл інтенсивності лазерного випромінювання, відбитого від плівкового дифракційно відбивного покриття у відн. одиницях

Таким чином використання дифракційно відбивних покриттів в складі лазерної системи сигналізації дозволяє забезпечити:

багатократне підвищення потужності відбитого лазерного випромінювання;

можливість формування визначеної кількості «лазерних бар'єрів» за напрямками розповсюдження дифракційних максимумів діаграми розсіювання дифракційно відбивного покриття.

Щільність потужності лазерного випромінювання у відбивній поверхні $Q_{ц}$ для умов нормального падіння випромінювання на дифузно відбивну поверхню описується співвідношенням [10]:

$$Q_{ц} = P_{вип} \cdot \tau_{пер} \cdot T_1 / (\Delta\omega \cdot R^2), \quad (4)$$

де $P_{вип}$ – потужність лазера системи сигналізації; $\tau_{пер}$ – коефіцієнт пропускання оптичного тракту передавача; T_1 – прозорість атмосфери на трасі розповсюдження випромінювання; $\Delta\omega$ – тілесний кут розбіжності лазерного променя; R – відстань між передавачем і відбивною поверхнею. У свою чергу потужність, що надходить на вхід приймача системи, визначається співвідношенням [10]:

$$P_{пр} = \frac{P_{вип} \cdot \sigma \cdot S_{вх} \cdot \tau_{пер} \cdot \tau_{пр} \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot K_{п}}{4\pi \cdot \Delta\omega \cdot R^4}, \quad (5)$$

де σ – ефективна поверхня відбивної поверхні; $\tau_{пр}$ – коефіцієнт пропускання оптичного тракту приймача; $S_{вх}$ – еквівалентна площа прийомної апертури системи сигналізації; $K_{п}$ – коефіцієнт підсилення прийомного тракту системи; T_2 – прозорість атмосфери на трасі прийому оптичного випромінювання.

Ефективна поверхня дифузно відбивної ділянки визначається [10]:

$$\delta_{діл} = 4S \cdot R_{від_діл} \cdot \cos \psi \cdot \cos \varphi, \quad (6)$$

де S – площа відбивної ділянки; $R_{\text{від}_\text{діл}}$ – коефіцієнт відбиття лазерного випромінювання від ділянки; ψ – кут падіння лазерного випромінювання; φ – кут прийому лазерного випромінювання.

Особливості використання лазерних систем сигналізації обумовлюють спрощення (6) згідно $\cos \psi = \cos \varphi = 1$. Тому (6) приймає вигляд:

$$\delta_{\text{діл}} = 4S \cdot R_{\text{від}_\text{діл}}, \quad (7)$$

Ефективна поверхня ділянки із дифракційно відбивним покриттям визначається: коефіцієнтом відбиття дифракційно відбивного покриття; видом профілю структури покриття $h(x+d) = h(x)$; параметрами a і d дифракційної решітки; кількістю штрихів покриття N (дифракційної решітки), що підсвічуються лазерним випромінюванням.

$$\delta_{\text{двп}} = \frac{K_{\text{двп}} \cdot R_{\text{від}_\text{двп}} \cdot \sin^2 u \cdot \sin^2 Nv}{N^2 \cdot u^2 \cdot \sin^2 v}, \quad (8)$$

де K – нормуючий множник покриття; $R_{\text{від}_\text{двп}}$ – коефіцієнт відбиття лазерного випромінювання від ділянки із дифракційно відбивним покриттям.

На практиці число періодів N значне, тому лазерне випромінювання, відбите від дифракційно відбивного покриття, поширюється лише в напрямках, що задовольняють умові (k – хвильове число):

$$\sin \bar{\psi}_j = \sin \psi + 2j\pi / (kd), \quad j = 0, \pm 1, \pm 2. \quad (9)$$

Очевидно, що кутів, що відповідають умові (9), може бути лише кінцеве число, обумовлене періодом дифракційно відбивного покриття d . Таким чином, вибираючи відповідним чином період покриття, можливо управляти розщепленням падаючого лазерного випромінювання на певну кількість частин (у випадку лазерних систем сигналізації – лазерних бар'єрів). Кількість сформованих бар'єрів залежить також від кута падіння і довжини хвилі лазерного випромінювання. Для нормального кута падіння це число становить $(2d/\lambda) + 1$.

Інтенсивність відбитого лазерного випромінювання в кожному бар'єрі різна і визначається профілем поверхні дифракційно відбивного покриття. Таким чином з'являється можливість отримання необхідного співвідношення між потужностями

лазерних бар'єрів на різних напрямках, положення і кількість яких визначаються періодом дифракційно відбивних покриттів.

Висновки

Зроблений аналіз можливостей удосконалення лазерних систем сигналізації на основі використання дифракційно відбивних покриттів. Вказано на доцільність використання дифракційно відбивних покриттів у складі лазерних систем сигналізації з метою підвищення надійності за рахунок забезпечення значного підвищення відбитого лазерного випромінювання та можливості формування визначеної кількості «лазерних бар'єрів» за різними напрямками.

Список літератури

1. Активные лучевые барьеры для охраны периметра. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://sio.su/down_011_3_def.aspx.
2. Введенский Б.С. Современные системы охраны периметров. [Электронный ресурс] // Специальная техника. – 1999. – № 4. – Режим доступа: <http://ess.ru/publications/articles/vvedensky2/vednsky.htm>.
3. Звездинский С.С. Быстроразвертываемые средства обнаружения и системы охранной сигнализации. [Электрон. ресурс] // Спец. техника. – 2003. – № 5. – Режим доступа: http://ess.ru/publications/5_2003/zveginsky/zveginsky.htm.
4. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Сов. радио, 1970. – 494 с.
5. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
6. Физика атмосферы и проблемы климата / Г.В. Розенберг и др. – М.: Наука, 1980. – 320 с.
7. Основы импульсной лазерной локации / В.И. Козинцев и др. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 512 с.
8. Доля Г.М. О возможности снижения заметности целей при защите от высокоточного оружия (ВТО) на основе использования дифракционно-отражающих покрытий / Г.М. Доля, А.Н. Катунин // Сборник научных трудов ХВУ. – 2000. – Вып. 2 (18). – С. 75-81.
9. Бобров С.Т. Оптика дифракционных элементов и систем / С.Т. Бобров, Г.И. Грейсх, Ю.Г. Туркевич. – Л.: Машиностроение, 1986.
10. Авиационные лазерные и телевизионные системы / В.М. Сидорин и др. – М.: ВВИА, 1985. – 340 с.

Надійшла до редколегії 30.03.2015

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФРАКЦИОННО ОТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Я.Н. Кожушко

Проведен анализ возможностей усовершенствования лазерных систем сигнализации на основе использования дифракционно отражающих покрытий. Обоснованная целесообразность использования дифракционно отражающих покрытий в составе лазерных систем сигнализации покрытий с целью повышения надежности.

Ключевые слова: лазерные системы сигнализации, отражающие покрытие, дифракционная решетка.

IMPROVEMENT OF LASER ALARM SYSTEMS BASED ON THE USE OF DIFFRACTIVE REFLECTIVE COATINGS

Y.N. Kozhushko

The analysis of opportunities for improvement of laser alarm systems based on the use of diffractive reflective coatings. The expediency of using diffractive reflective coatings composed of laser alarm systems coatings to improve the reliability.

Keywords: laser alarm system, a reflective coating, a diffraction grating.