

УДК 396.375

А.М. Катунін, В.Б. Бзот, О.П. Колодій, О.Я. Луковський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМЕНЕВИХ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ В СКЛАДНИХ ПОГОДНИХ УМОВАХ

*В роботі показана перспективність застосування променевих інфрачервоних систем для одночасного сигналізаційного блокування ділянки периметра об'єкту охорони та ведення оптико-електронної розвідки. Проведено оцінювання впливу погодних умов на значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора променевої інфрачервоної системи. Отримані оцінки показують можливість обмеженого застосування даних систем в умовах дощу, а також низьку ефективність променевих інфрачервоних систем в умовах туману.*

**Ключові слова:** системи охоронної сигналізації, засоби виявлення, променеві інфрачервоні системи.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Периметрові системи охоронної сигналізації (СОС), що призначені для виявлення порушників на місцевості, є важливою частиною комплексів автоматизованого фізичного захисту об'єктів і підступів до них [1 – 3]. Найважливішою частиною СОС є засоби виявлення (ЗВ), що забезпечують формування сигналів тривоги в разі появи порушника. Охороною периметрів об'єктів не вичерпується призначення ЗВ.

За призначенням ЗВ можуть бути розділені на дві групи [1 – 3]:

- рубіжно-сигналізаційні ЗВ;
- розвідувально-сигналізаційні ЗВ.

Для одночасного вирішення завдань охорони периметрів об'єктів та розвідки існують СОС з розширеними охоронними функціями, які вирішують завдання як рубіжно-сигналізаційних ЗВ, так і розвідувально-сигналізаційних ЗВ [2, 4]. Дані СОС відносять до інтегрованих охоронних комплексів, що володіють значними можливостями щодо передачі даних, позиціонування на місцевості і т.д. Основними тактико-технічними характеристиками (ТТХ) ЗВ,

що визначають надійність сигналізації, є імовірність виявлення порушника і середнє напрацювання на хибне спрацювання (тривогу).

Основними джерелами хибних тривог у ЗВ є тварини, сильний вітер у поєднанні з близькорозташованою рослинністю, блискавки при грозі, опади. При цьому імовірність правильної класифікації цілей складає не більше 0,8...0,85, а імовірність правильного визначення напрямку руху досягає 0,95 [3].

У ЗВ широко використовуються інфрачервоні пристрої. Променеві інфрачервоні системи (активні оптико-електронні оповіщувачі) 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 променевих інфрачервоних систем в СОС для вирішення завдань охорони периметрів об'єктів та ведення розвідки є перспективним.

Променеві інфрачервоні системи 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 особли-

вість променевих систем – можливість створення дуже вузької зони виявлення, що особливо важливе для охорони об'єктів, навколо яких неможливо створити зону відчуження [2]. Проте, як і радіопроменеві, променеві інфрачервоні системи можуть застосовуватися тільки на прямолінійних ділянках периметрів або огорож.

Основна проблема променевих приладів - хибні спрацьовування 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 спрацьовування датчика [2].

**Мета роботи** полягає у оцінці впливу погодних умов на значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора променевої інфрачервоної системи.

### Основна частина

Для успішного застосування променевих інфрачервоних СОС необхідно враховувати залежність пропускання лазерного випромінювання атмосферою від стану повітряного середовища. Розповсюдження лазерного випромінювання в атмосфері супроводжується явищами лінійної і нелінійної взаємодії світла з середовищем. При цьому жодне з цих явищ не проявляється окремо. По якісних ознаках вказані явища можна розділити на три основні групи: поглинання і розсіювання молекулами газів повітря, ослаблення в аерозолях (пил, дощ, сніг, туман) і флуктуації випромінювання на турбулентностях атмосфери [5 – 7].

Поглинання світлового потоку видимого і інфрачервоного діапазонів визначається молекулярним поглинанням, що є край нерівномірним по частоті. Воно максимальне на резонансних частотах молекул води, вуглекислого газу, озону і інших компонент атмосфери. Є ділянки спектру, де поглинання незначне (вікна прозорості). Проте і у вікнах прозорості існують сукупності різних смуг поглинання. Якщо лазерне випромінювання потрапляє в центр сильної лінії спектру, то воно поглинається атмосферою на 100% навіть на невеликій відстані. Тому у СОС необхідно застосовувати лазери з випромінюванням, що знаходиться на ділянках спектру атмосфери, зайнятих широкими вікнами прозорості або в проміжках між слабкими лініями поглинання. При цьому частота випромінювання повинна бути стабілізована з достатньо високою точністю, особливо якщо вона знаходиться на близькій відстані від лінії поглинання газів.

Крім молекулярного поглинання розповсюдженню лазерного променя заважає молекулярне розсіювання випромінювання мікрозгустками молекул повітря, що володіють різною щільністю і різ-

ними показниками заломлення. Ці неоднорідності в газовому середовищі нестабільні і залежать від місцевих температурних умов, пори року і доби, а також від вмісту домішок в кожній конкретній мікрозоні атмосфери. Молекулярне розсіювання добре вивчено, складені таблиці коефіцієнтів розсіювання у видимій і інфрачервоній областях спектру, що забезпечують достатньо точний кількісний розрахунок втрат енергії випромінювання на заданій відстані [5 – 7]. Цей тип розсіювання не робить істотного впливу на ефективність роботи СОС на відміну від аерозольного розсіювання.

Атмосфера є механічною сумішшю з газів, пари, крапель рідини і твердих частинок. У ній в різній кількості присутні пил, дим, кристали льоду. Тому атмосфера є аерозолем, склад якого безперервно змінюється внаслідок перемішування. 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. Результати вимірювань прозорості серпанків, туманів, опадів і хмар викладені в [5 – 7] і представлені на рис. 1 і в табл. 1.

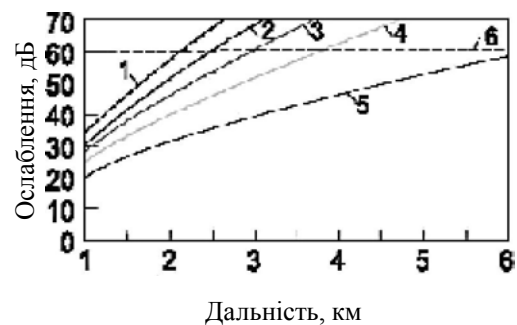


Рис. 1. Залежність ослаблення світла в аерозолях від відстані при різних метеофакторах:

1 – сніг середньої щільності (МДБ = 1 км), 2 – сильний дощ (40 мм/година), 3 – сніг невеликої щільності (МДБ = 1,5 км), 5 – димка (МДБ = 2 км), 6 – граничний рівень, 60 дБ

Таблиця 1

Ослаблення випромінювання в інфрачервоному діапазоні залежно від погодних умов

Погодні умови	Загасання, дБ/км
Ясна погода	0 – 3
Слабкий дощ	3 – 6
Сильний дощ	6 – 17
Сніг	6 – 26
Легкий туман	20 – 30

На розповсюдження лазерного променя сильно впливає також турбулентність атмосфери (випадкові просторово-часові зміни показника заломлення, викликані переміщенням повітря, флуктуаціями його температури і щільності). Тому потужність світлових хвиль, що розповсюджуються в атмосфері, не тільки поглинається, але відбувається флуктуація потужності.

Турбулентність атмосфери приводить 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. Найпростішим способом боротьби із завмираннями є збільшення розміру приймальної оптичної антени. Інший спосіб полягає в некогерентному підсумовуванні в одному каналі випромінювання декількох лазерів. При практичному використанні лазерів в СОС необхідно враховувати сукупний вплив взаємодії випромінювання з атмосферою, яка одночасно є поглинаючим, розсіюючим і випадково неоднорідним середовищем. Цей вплив може змінюватися в надзвичайно широкому діапазоні. Тому для забезпечення працездатності СОС на заданій дистанції з певним рівнем надійності необхідно мати достатній динамічний запас енергетичного потенціалу.

З урахуванням загасання лазерного випромінювання в атмосфері, для якої ослаблення лазерного сигналу в середовищі відбувається згідно із законом Бугера, аналітична формула для визначення потужності випромінювання, падаючого на приймач СОС складає [8]:

$$P_c \cong \frac{P_0 \cdot T_{\text{пер}} \cdot T_{\text{пр}} \cdot r_n^2 \cdot e^{-\tau_a}}{L^2 \left(1 + \alpha_{\text{пер}}^2 / \alpha_{\text{пр}}^2\right)}, \quad (1)$$

де  $P_0$  – потужність, що випромінюється лазером СОС;  $r_n$  – ефективний радіус об'єктиву приймача СОС;  $T_{\text{пер}}$ ,  $T_{\text{пр}}$  – коефіцієнти пропускання передавальної і прий-

мальної оптики СОС;  $\tau_a$  – оптична товщина атмосфери між передавачем і приймачем СОС;  $\alpha_{\text{пер}}$ ,  $\alpha_{\text{пр}}$  – кут розходження джерела і кут поля зору приймальної системи НЗ;  $L$  – відстань від між передавачем і приймачем СОС.

Співвідношення (1) із урахуванням даних, представлених на рис. 1 і в табл.1, дозволяє провести оцінку значення потужності лазерного сигналу на вході фотодетектора СОС у різних погодних умовах.

В свою чергу, вираз для відношення сигнал / шум на виході фотодетектора променевої інфрачервоної системи має вигляд [9]:

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{q \cdot (P_c^2 / hf)}{2\Delta f_0 (P_c + P_\phi)} = \frac{qP_c}{2hf\Delta f_0}, \quad (2)$$

де  $q$  – квантова ефективність фотоприймача;  $\Delta f_0$  – смуга пропускання фільтру фотодетектора (Гц);  $f$  – частота лазерного випромінювання підсвічування (Гц);  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж · с – постійна Планка;  $P_c$  – потужність відбитого від цілі лазерного сигналу на вході фотодетектора СОС;  $P_\phi$  – потужність зовнішнього фону на вході фотодетектора СОС.

На основі співвідношень (1) і (2) можливо провести оцінювання впливу погодних умов (оптичної товщини атмосфери між передавачем і приймачем СОС) на значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора променевої інфрачервоної системи. Графіки залежностей значень відношення сигнал / шум на виході фотодетектора променевої інфрачервоної СОС, що функціонує на довжині хвилі  $\lambda = 1,06$  мкм з інтерференційним фільтром для пропускання випромінювання тільки у вузькій смузі хвиль ( $\Delta\lambda = 1,04 \dots 1,08$  мкм), квантовою ефективністю фотоприймача  $q = 0,5$ , від відстані між передавачем і приймачем СОС для випадків наявності дощу, снігу та туману представлені на рис. 2. Відповідні залежності розраховані для характерних значень ослаблення лазерного випромінювання в атмосфері за умов  $T_{\text{пер}}, T_{\text{пр}} = 0,8$  при потужності лазера – одиниці Вт.

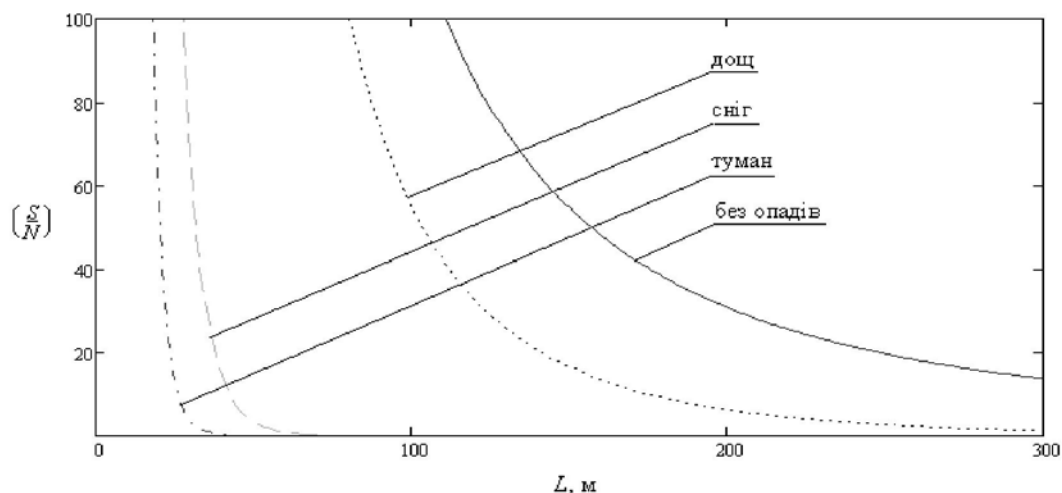


Рис. 1. Залежності значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора СОС при різних погодних умовах

Аналіз даних, представлених на рис. 2, дає змогу зазначити наступне:

– головними обмежувачами застосування променевих інфрачервоних систем є сніг і туман, для яких аерозольне ослаблення лазерного випромінювання максимально;

– наявність дощу впливає на значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора СОС менше, ніж наявність снігу і туману, що дозволяє обмежено використовувати променеві системи в умовах дощу;

– довжина рубежу охорони ділянки в умовах наявності опадів знижується відповідно з 300 м (що відповідає рекламним матеріалам на СОС) до: 160 м в умовах дощу; 40 м в умовах снігу; 25 м в умовах туману.

Отримані дані дозволяють зробити висновки щодо зниження ефективності використання променевих інфрачервоних СОС в складних погодних умовах, що визначає доцільність застосування таких СОС у комплексі із іншими ЗВ.

### ВИСНОВКИ

В роботі показано перспективність застосування променевих інфрачервоних СОС для одночасного сигналізаційного блокування ділянки периметра об'єкту охорони та ведення оптико-електронної розвідки на контрольованій площі із можливістю визначення габаритів цілей, здійснення класифікації цілей та іншими можливостями.

Зазначено основну проблему застосування променевих інфрачервоних приладів – зниження ефективності СОС за несприятливих атмосферних умов (дощ, снігопад, туман), що зменшують прозорість середовища. Для визначення даної проблеми в роботі проведено оцінювання впливу погодних умов на значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора променевої інфрачервоної СОС. Отримані оцінки показують можливість обмеженого застосування даних СОС в умовах дощу, а також ни-

зку ефективність променевих інфрачервоних систем в умовах туману.

В подальших дослідженнях доцільно визначення усіх потенційних можливостей променевих інфрачервоних систем та їх оцінювання для здійснення ефективної охорони та захисту об'єктів, а також ведення оптико-електронної розвідки.

### Список літератури

1. Активные лучевые барьеры для охраны периметра [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://sio.su/down\\_011\\_3\\_def.aspx](http://sio.su/down_011_3_def.aspx).
2. Введенский Б.С. Современные системы охраны периметров [Електронний ресурс] // Специальная техника. – 1999. – № 4. – Режим доступу до ресурсу: <http://ess.ru/publications/articles/vvedensky2/vvedensky.htm>.
3. Звездинский С.С. Быстроразвертываемые средства обнаружения и системы охранной сигнализации [Електронний ресурс] // Специальная техника. – 2003. – № 5. – Режим доступу до ресурсу: [http://ess.ru/publications/5\\_2003/zveginsky/zveginsky.htm](http://ess.ru/publications/5_2003/zveginsky/zveginsky.htm).
4. Дубеико А.В. Оптико-электронное средство в системе контроля габаритов груза железнодорожного состава / А.В. Дубеико, Д.А. Михаевич // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Специальная техника. – 2008. – № 3. – С. 31-32.
5. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Соврадио, 1970. – 494 с.
6. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
7. Физика атмосферы и проблемы климата / Г.В. Розенберг, Г.И. Горчаков, Ю.С. Георгиевский, Ю.С. Любовецова. – М.: Наука, 1980. – 320 с.
8. Основы импульсной лазерной локации: Учебное пособие / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.М. Орлов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 512 с.
9. Авиационные лазерные и телевизионные системы / В.М. Сидорин, И.Н. Гончаров, В.П. Кутахов, А.В. Петухов, И.М. Сухарь / – М.: Военно-воздушная инженерная академия им. Н.Е. Жуковского, 1985. – 340 с.

Надійшла до редколегії 17.06.2010

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

### ПРИМЕНЕНИЕ ЛУЧЕВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ В СЛОЖНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

А.Н. Катунин, В.Б. Бзот, О.П. Колодей, О.Я. Луковский

*В работе показана перспективность применения лучевых инфракрасных систем для одновременной сигнализационной блокировки участка периметра охраняемого объекта и ведения оптико-электронной разведки. Проведено оценивание влияния погодных условий на значение отношения сигнал / шум на выходе фотодетектора лучевой инфракрасной системы. Полученные оценки показывают возможность ограниченного применения данных систем в условиях дождя, а также низкую эффективность лучевых инфракрасных систем в условиях тумана.*

**Ключевые слова:** системы охранной сигнализации, средства обнаружения, лучевые инфракрасные системы.

### APPLICATION OF RAYS INFRA-RED SYSTEMS FOR GUARD OF OBJECTS PERIMETERS IN DIFFICULT WEATHER TERMS

A.N. Katunin, V.B. Bzot, O.P. Kolodey, O.Ya. Lukovskiy

*The application of rays infra-red systems for the signaling blocking of objects perimeter and conduct of optical-electronic secret service at the same time is rotined. Is conducted evaluation of weather terms influence at the value of relation signal-to-noise on the photodetectors output of the rays infra-red system. The estimations show possibility of the limited application of these systems in the rain, and also low efficiency of the rays infra-red systems in the fog.*

**Keywords:** systems of the guard signaling, detection means, rays infra-red systems.