

УДК 396.375

Г.В. Рибалка

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМЕНЕВИХ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПОТОКІВ РІДИНИ І ГАЗІВ

В роботі показана перспективність застосування променевих інфрачервоних систем для одночасного сигналізаційного блокування ділянки периметра об'єкту охорони та ведення оптико-електронної розвідки. Проведено аналіз можливостей методів лазерного дистанційного зондування для діагностики потоків рідини і газів. Експериментально виявлено тенденцію збільшення граничної частоти розширеної частини спектру при зростанні швидкості руху потоку повітря.

Ключові слова: системи охоронної сигналізації, світлоповертаюче покриття, променеві інфрачервоні системи, спекл-інтерферометрія

Вступ

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Для одночасного вирішення завдань охорони периметрів об'єктів та розвідки існують системи охоронної сигналізації (СОС) з розширеними охоронними функціями, які вирішують завдання як рубіжно-сигналізаційних систем, так і розвідувально-сигналізаційних [1-3]. Дані СОС відносять до інтегрованих охоронних комплексів, що володіють значними можливостями щодо передачі даних, моніторингу навколишнього середовища, позиціонування на місцевості. В охоронних комплексах 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 характеризуються безконтактністю дії, високою точністю, малою масою та невеликими габаритами, високою заводостійкістю, простотою установки та юстирування, а також широким спектром потенційних можливостей (охоронних функцій).

Перелік можливих охоронних функцій променевих інфрачервоних систем включає:

- вимір положень, швидкостей і габаритів об'єктів (порушників) та їх переміщень на різних відстанях;
- ведення оптико-електронної розвідки.

Одним із перспективних методів ведення оптико-електронної розвідки являються методи лазерного дистанційного зондування.

Методи лазерного дистанційного зондування одержали широке поширення завдяки цілому набору унікальних якостей. З використанням лазерів створений і широко використовується цілий клас приладів самого широкого призначення.

Одним з важливих практичних завдань лазерного дистанційного зондування є діагностика потоків рідини і газів оточуючого середовища.

Метою статті є аналіз можливостей методів лазерного дистанційного зондування для діагностики потоків рідини і газів.

Основна частина

Метод лазерної доплеровської анемометрії широко використовується для вирішення завдань діагностики потоків рідини і газів [4]. Даний метод заснований на спектральному аналізі випромінювання, яке розсіюється частками рухомого потоку.

Іншим підходом до вирішення завдань діагностики потоків є аналіз впливу фазових флуктуацій, внесених турбулентністю в зондувальне випромінювання [5]. Фізичною основою даного методу є залежність тимчасового спектра флуктуацій фази хвилі від величини поперечної швидкості турбулентного рухомого потоку. Згідно [6,7] часовий спектр фазових флуктуацій у лазерному пучку обмежений частотою

$$f_0 = \frac{v_{\perp}}{\sqrt{2\pi\lambda L}}, \quad (1)$$

де v_{\perp} – складова швидкості вітру, яка поперечна до напрямку поширення випромінювання, λ – довжина світлової хвилі, L – довжина турбулентної траси.

Відповідні залежності частоти, що обмежує часовий спектр фазових флуктуацій для $\lambda=1,06$ мкм, від складової швидкості вітру, яка поперечна до напрямку поширення випромінювання, та довжина турбулентної траси наведено на рис.1.

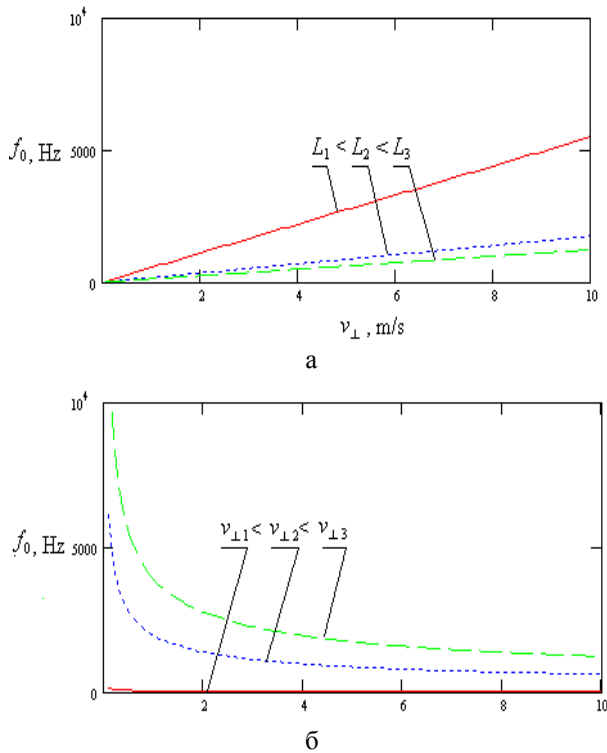


Рис. 1. Залежність частоти, що обмежує часовий спектр фазових флуктуацій:
 а – від складової швидкості вітру, яка поперечна до напрямку поширення випромінювання при різних значеннях довжини турбулентної траси;
 б – від довжини турбулентної траси при різних значеннях складової швидкості вітру, яка поперечна до напрямку поширення випромінювання

У випадку, коли $f < f_0$, часовий спектр флуктуацій змінюється мало та описується співвідношенням

$$W(f) = 0,85C_n^2 k^{2/3} L^{7/3} / v_{\perp}, \quad (2)$$

де C_n^2 – структурна постійна флуктуацій показника переломлення; k – хвильове число.

При $f > f_0$ спектральна щільність потужності швидко зменшується відповідно до залежності

$$W(f) = 2,19C_n^2 k^{2/3} L^{7/3} \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-8/3} / v_{\perp}. \quad (3)$$

Таким чином, для визначення швидкості поперечного руху турбулентного потоку необхідно оцінити величину f_0 .

Реалізація цього можлива декількома шляхами, одним із яких є метод спекл-інтерферометрії [8], при якому необхідно аналізувати тимчасові зміни просторової структури прийнятого випромінювання, що пройшло турбулентний шар та відбилося від дифузно-відбивного об'єкту. При цьому закономірності динаміки перебудови спекл-картини будуть визначатися властивостями турбулентного потоку.

Значного збільшення потужності прийнятого сигналу, а значить і розширення можливостей практичного застосування методу можливо досягти при

використанні світлоповертаючих покриттів (СВП), що є сукупністю елементарних світлоповертачів розмірами декілька десятків мікрометрів, замість дифузно-відбивних [9]. Розсіяне СВП випромінювання має також просторово - неоднорідний характер, відповідний спекл-картині, проте діаграма спрямованості шириною всього декілька градусів зорієнтована завжди в напрямі у бік випромінювача незалежно від взаємної орієнтації нормалі до поверхні і напрямку падіння випромінювання.

Можливості практичного застосування даного методу для діагностики потоків рідини і газів доцільно оцінити експериментально на основі установки, яка описана в [9]. В якості джерела випромінювання можливо використання одномодовий гелій-неоновий лазера потужністю випромінювання 20 мВт, або напівпровідниковий лазера потужністю 6 мВт і довжиною хвилі 655 нм.

При використанні спекл-інтерферометрії, розподіл сфокусованого поля в плоскості СВП $U(x_1, y_1)$ представляється через розподіл поля в плоскості випромінюючої апертури у вигляді

$$U(x_1, y_1) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \int \int_{-\infty}^{\infty} U(x_0, y_0) T(x_0, x_1, y_0, y_1, t) \times \exp\left\{-j\frac{2\pi}{\lambda z}(x_0 x_1 + y_0 y_1)\right\} dx_0 dy_0, \quad (4)$$

де множник $T(x_0, x_1, y_0, y_1, t)$ описує вплив динамічного фазового екрану – потоку повітря, що створюється на трасі поширення. Після відбиття випромінювання від СВП, що має комплексний коефіцієнт відбиття $K(x_1, y_1)$, розподіл поля в плоскості спостереження можливо записати у вигляді:

$$U(x_0, y_0) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \int \int_{-\infty}^{\infty} U(x_1, y_1) T(x_0, x_1, y_0, y_1, t) \times K(x_1, y_1) \cdot \exp\left\{j\frac{2\pi}{\lambda z}(x_0 x_1 + y_0 y_1)\right\} dx_1 dy_1, \quad (5)$$

Таким чином, після квадратичного детектування прийнятого сигналу в реалізації фотоструму також виявлятимуться тимчасові закономірності флуктуацій показника переломлення повітря, які виявляються при спектральному аналізі.

В ході експериментальних досліджень створення потоку повітря впоперек напрямку поширення лазерного променя здійснювалося за допомогою вентилятора з дискретним набором швидкостей обертання мотора. При зміні стану турбулентного потоку картина просторового розподілу хаотично змінювалася, що викликало зміни в реалізації фотоструму на виході фотоприймача. Отриманий сигнал оцифровується за допомогою програми обробки звукових файлів. Спектрограми реалізацій фотоструму (у логарифмічному по осі ординат масштабі) представлені на рис 2.

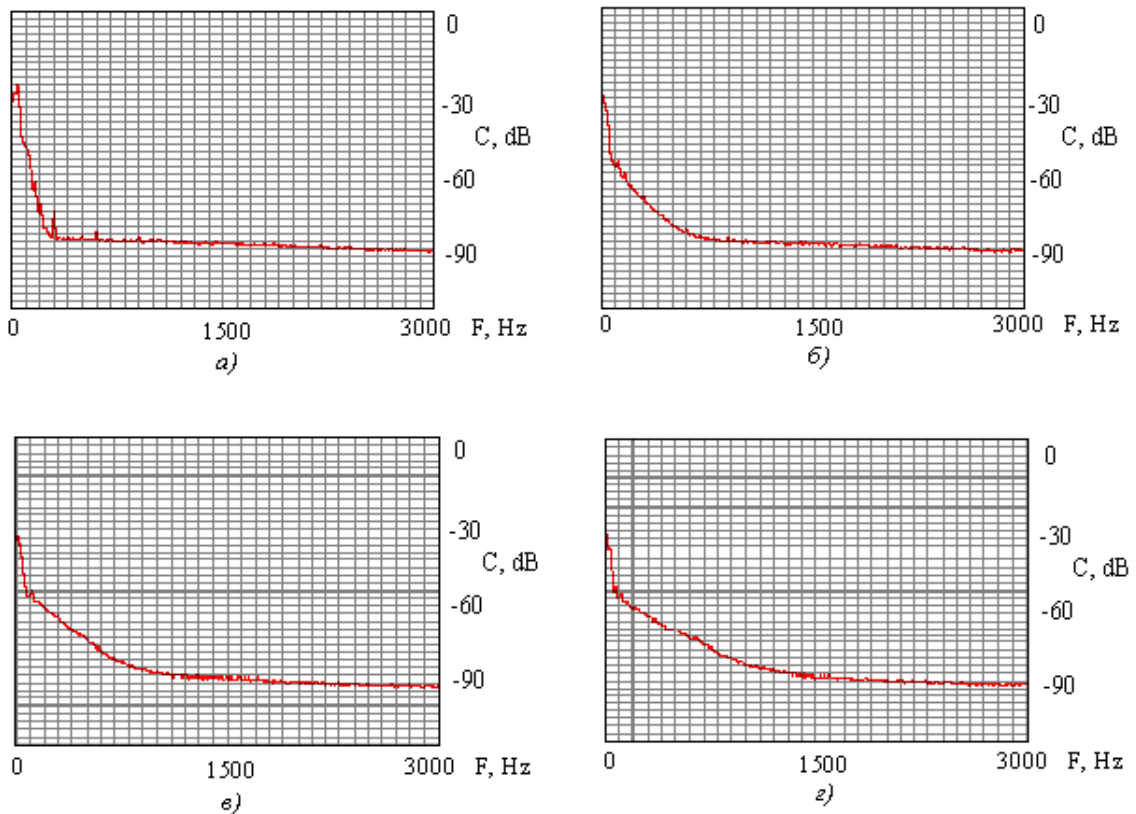


Рис. 2. Спектрограми реалізацій фототоку на виході фотоприймача

На першому з них (рис. 2, а) спектрограма відповідає нульовій швидкості потоку, при цьому на початку осі частот спостерігаються окремі паразитні максимуми на частотах, кратних 50 Гц, що обумовлено зовнішніми перешкодами.

На рис. 2, б-г представлені спектрограми, отримані при різних швидкостях потоку повітря по мірі зростання швидкості.

Відбувається розширення спектру сигналу в області низьких частот, що обумовлено впливом потоку турбулентного повітря. Порівняння отриманих спектрограм дозволяє виявити тенденцію збільшення граничної частоти розширеної частини спектру при зростанні швидкості руху повітря, що відповідає залежності (1).

Таким чином, виявлено та підтверджено ефективність методу лазерного дистанційного зондування (спекл-інтерферометрії) для діагностики потоків рідини і газів.

Висновки

В роботі показано перспективність застосування променевих інфрачервоних системи охоронної сигналізації для одночасного сигналізаційного блокування ділянки периметра об'єкту охорони та ведення оптико-електронної розвідки методами лазерного дистанційного зондування, а саме методом спекл-інтерферометрії.

Визначена можливість діагностика потоків рідини і газів в променевих інфрачервоних системи охоронної сигналізації.

Проаналізовані експериментальні спектрограми дозволяють виявити тенденцію збільшення граничної частоти розширеної частини спектру при зростанні швидкості руху потоку повітря, що відповідає теоретичним закономірностям.

Простота практичної реалізації розглянутого методу у сукупності із високою ефективністю доводять перспективність застосування променевих інфрачервоних систем для діагностики потоків рідини і газів.

Список літератури

1. Активные лучевые барьеры для охраны периметра [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://sio.su/down_011_3_def.aspx.
2. Введенский Б.С. Современные системы охраны периметров. [Електронний ресурс] // Специальная техника. – 1999. – № 4. – Режим доступу: <http://ess.ru/publications/articles/vvedensky2/vednsky.htm>.
3. Звездинский С.С. Быстроразвертываемые средства обнаружения и системы охранной сигнализации. [Електронний ресурс] // Специальная техника. – 2003. – № 5. – Режим доступу: http://ess.ru/publications/5_2003/zveginsky/zveginsky.htm.
4. Ринкявичюс Б.С. Лазерная диагностика потоков / Б.С. Ринкявичюс. – М.: МЭИ.1990. – 254 с.
5. Оптическое зондирование атмосферной турбулентности / М.С. Беленький и др. – Н-ск: Наука, 1986. – 128 с

6. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере / В.И. Татарский. – М.: Наука, 1967. – 522 с.

7. Воронцов М.А. Принципы адаптивной оптики / М.А. Воронцов, В.И. Шмальгаузен. – М.: Наука, 1985. – 334 с.

8. Джоунс Р. Голографическая и спекл-интерферометрия: Пер. с англ. / Р. Джоунс, К. Уайкс. – М.: Мир, 1986. – 328 с.

9. Доля Г.Н. Сравнительный анализ возможностей методов интерферометрии для наблюдения фазовых

неоднородностей в воздушной среде / Г.Н. Доля, А.Н. Катунин, В.М. Мазанов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2(20). – С. 61-64.

Надійшла до редколегії 22.04.2013

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

ПРИМЕНЕНИЕ ЛУЧЕВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗОВ

Г.В. Рыбалка

В работе показана перспективность применения лучевых инфракрасных систем для одновременного сигнализационного блокирования участка периметра объекту охраны и ведения оптико-электронной разведки. Проведен анализ возможностей методов лазерного дистанционного зондирования для диагностики потоков жидкости и газов. Экспериментально обнаружена тенденция увеличения предельной частоты расширенной части спектра с возрастанием скорости движения потока воздуха.

Ключевые слова: системы охранной сигнализации, световозвращающее покрытие, лучевые инфракрасные системы, спекл-интерферометрия.

APPLICATION OF BEAM INFRARED SYSTEMS FOR DIAGNOSIS LIQUID AND GAS FLOW

G.V. Rybalka

In the paper the prospects of using infrared ray systems for simultaneous signaling blocking portion of the perimeter protection and maintenance of electro-optical reconnaissance. The analysis capabilities of laser remote sensing techniques for the diagnosis of flow of liquids and gases. The experimentally observed trend of increasing frequency limit of the extended spektras increase the velocity of the flow of air.

Keywords: alarm system, retroreflective sheeting, beam infrared system of speckle interferometry.