

УДК 621.396.96

Г. М. Доля, В. А. Романюк, С. А. Горєлишев, О. І. Костенко

МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЛАЗЕРНОГО КОНТРОЛЮ ЗМІНИ СТАНУ ТУРБУЛЕНТНОСТІ ПОВІТРЯ, СПРИЧИНЕНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯМ ОБ'ЄКТІВ

Розглянуто фізичні основи використання лазерних систем дистанційного контролю територій, які важко контролювати оптичними, радіотехнічними та радіолокаційними засобами.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнє десятиліття значно зросла роль першого рубежу охорони територій та об'єктів, що знаходяться на них (підприємств, аеропортів, АЕС, спеціальних або військових об'єктів). Із збільшенням периметра території, що охороняється, зростає довжина фізичного огороження і, відповідно, зростає можливість його порушення.

Розроблення нових зразків охоронних систем на різних фізичних принципах призвело до значного розширення переліку периметрових технічних засобів охорони (ТЗО). Сьогодні всі види фізичних бар'єрів (паркани, стіни, огороження) все частіше поєднують з електронними системами охорони [1]. Поширення набули і зразки, що завдяки спеціальному програмовому забезпеченню здатні не тільки фіксувати сигнали датчиків-сповіщувачів, але й аналізувати структуру цих сигналів, тим самим підвищуючи ймовірність виявлення порушення периметра. До складу сучасних систем охорони периметра входять фізичний бар'єр та складна електронна система охорони з досить малою ймовірністю надходження хибних сигналів тривоги [2, 3].

Периметровими ТЗО обладнуються, в основному, особливо важливі державні об'єкти та об'єкти, що охороняються вартами внутрішніх військ. Більшість ТЗО, якими обладнані об'єкти зазвичай застарілі та потребують заміни. Сучасні промислові зразки ТЗО відрізняються високою вартістю та мають характерні недоліки (наявність “мертвих зон”, малі розміри контрольованих зон, залежність робочих параметрів від погодних умов), уникати яких можна тільки шляхом дублювання одних систем іншими, що додатково підвищує вартість обладнання периметрів.

Ще однією сферою застосування ТЗО у внутрішніх військах є обладнання тимчасових охоронних рубежів у процесі виконання підрозділами завдань з блокування ділянок місцевості, тимчасової охорони стаціонарних чи польових об'єктів, а також комунікацій. Наявні пересувні ТЗО швидкого розгортання також не завжди задовольняють вимогам за критерієм “вартість – ефективність”.

Питання розроблення нових зразків ТЗО, що можуть застосовувати внутрішні війська при виконанні службово-бойових завдань, наразі є достатньо актуальними.

Ідеальний ТЗО повинен мати зону виявлення у вигляді сфери, в середині якої знаходиться об'єкт. На жаль, на сьогодні створення таких засобів неможливе, всі існуючі засоби мають висоту зони дії не більше 2 – 3 м по периметру об'єкта. Виявити, наприклад, порушників, що використовують повітряні засоби пересування (повітряні кулі, ранцеві ракетні установки) можливо тільки після їхнього приземлення й потраплення в зону дії засобу сигналізації [4, 5].

Перспективним є метод, заснований на аналізі зміни просторової структури лазерного випромінювання, спричиненої переміщенням об'єкта. Це дозволить збільшити висоту зони дії засобів контролю до десятків метрів по периметру об'єкта. Таким чином, розроблення методів дистанційного контролю зміни стану турбулентного середовища при розповсюдженні лазерного випромінювання є актуальним.

Метою статті є оцінювання лазерних методів контролю зміни стану турбулентного середовища атмосфери у процесі сканування лазерним випромінюванням.

Виклад основного матеріалу. При використанні лазерного випромінювання в результаті інтерференції парціальних променів, відбитих від різних ділянок з випадковими нахилом і висотою, у площині спостереження формується так звана спекл-картина, що являє собою сукупність окремих плям (спеклів). У разі зсувів ділянки, наприклад через вібрації, у площині спостереження відбувається зсув спекл-картини, що може бути використано для виявлення об'єктів, які вібрують.

Крім того, зміни в структурі розподілу, за якими спостерігають, відбуваються також при відбитті від нерухомих об'єктів внаслідок зміни температурного режиму.

Істотного збільшення потужності прийнятого сигналу, а отже і поширення можливостей практичного застосування методу можна досягти у разі використання світловідбиваючих покриттів (СВП) замість поверхонь, що забезпечують дифузне відбиття [6, 7]. СВП є сукупністю елементарних світловідбивачів у вигляді скляних мікрокульок або мікропризм, розміри яких декілька десятків мікрометрів. Розсіяне випромінювання має просторово-неоднорідний характер, що відповідає спекл-картині (рис.1), однак діаграма спрямованості шириною усього кілька градусів зорієнтована завжди в напрямку випромінювача і не залежить від взаємної орієнтації нормалі до поверхні й напрямку падіння променя.

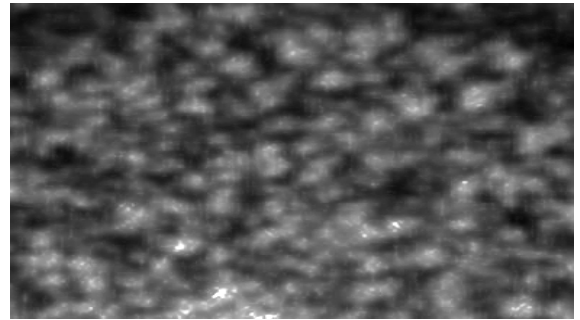


Рис. 1. Спекл-картина розсіяного випромінювання

Відомим підходом до вирішення проблеми діагностики потоків є аналіз впливу фазових флуктуацій, внесених турбулентністю у зондувальне випромінювання [8]. Фізичною основою методу діагностики турбулентного стану повітря є залежність часового спектра флуктуацій фази хвилі від величини поперечної швидкості турбулентного потоку, що рухається, і стану турбулентності, обумовленого значенням структурної константи флуктуацій показника заломлення. Відомо [9, 10], що часовий спектр фазових флуктуацій у лазерному пучку обмежений частотою

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

де v_{\perp} – перпендикулярна до напрямку розповсюдження променя складова швидкості вітру; λ – довжина світлової хвилі; L – довжина турбулентної траси.

Формулу (1) використовують, зокрема, для визначення швидкості вітру методами лазерного дистанційного зондування атмосфери [8]. У випадку, коли $f < f_0$, часовий спектр флуктуацій параметрів променя змінюється мало й описується співвідношенням

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

де C_n^2 – структурна константа флуктуацій показника заломлення, k – хвильове число.

При $f > f_0$ спектральна щільність потужності швидко убуває 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 стану турбулентного шару атмосфери необхідно оцінити величину f_0 . Реалізувати такий підхід можна, наприклад, за допомогою методу спекл-інтерферометрії [11], при якому необхідно аналізувати часові зміни сигналу фотоприймача у процесі реєстрації випромінювання, відбитого від СВП і яке прийшло крізь турбулентний шар. У такому випадку закономірності зміни сигналу фотоприймача будуть визначатися властивостями турбулентного потоку.

Даний підхід був реалізований за допомогою макета, схема якого зображена на рис 2. Блок приймача-передавача складався з напівпровідникового лазера 1 потужністю 25 мВт, формувача пучка 2, за допомогою якого промінь розширювався до 3 см і фокусувався на поверхні СВП 3, віддаленої на відстань 30 м. Частина розсіяного випромінювання після діафрагми 4, діаметр якої 0,5

см, надходила на вхід фотоприймального пристрою ФУО-138, до складу якого входили фотодіод і передпідсилювач. Далі вихідний сигнал потрапляв на вхід звукової карти комп'ютера, де відбувалося його оцифрування та аналіз. Для проведення досліджень використовувалося теплове джерело 5.

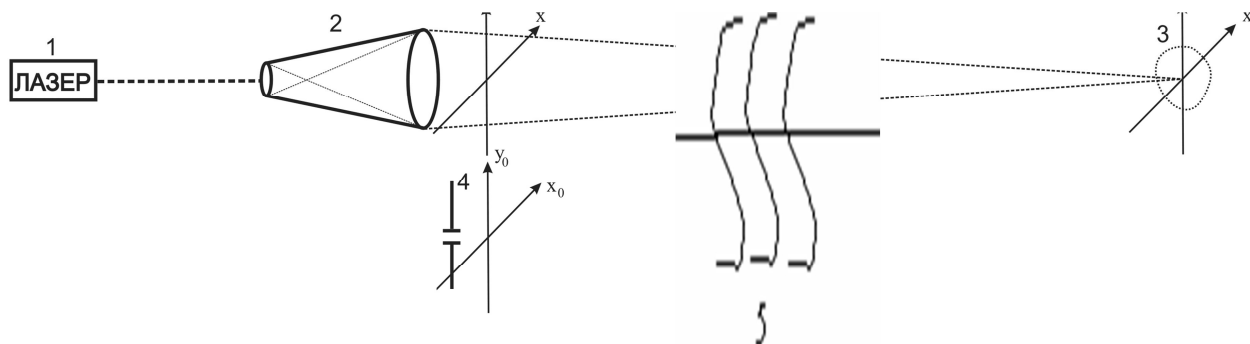


Рис. 2. Схема макета

Розподіл сфокусованого поля у площині СВП $U(x_1, y_1)$ можна подати через розподіл поля у площині випромінюючої апаратури у вигляді

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

де множник $T(x_0, x_1, y_0, y_1, t)$ описує вплив динамічного фазового екрана, створюваного електронагрівачем на трасі розповсюдження променя. Після відбиття променя від СВП, комплексний коефіцієнт відбиття якого $K(x_1, y_1)$, розподіл поля у площині спостереження можна записати у вигляді

$$U_1(x_0, y_0) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \int \int_{-\infty}^{\infty} U(x_1, y_1) T(x_0, x_1, y_0, y_1, t) K(x_1, y_1) \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda z} (x_0 x_1 + y_0 y_1)\right\} dx_1 dy_1.$$

Очевидно, що після квадратичного детектування фрагмента прийнятого поля, у фотострумі також будуть проявлятися часові закономірності флуктуацій показника заломлення повітря, які можна помітити після того, як проаналізувати прийнятий сигнал.

На рис. 3 зображена часова реалізація сигналу фотоприймального пристрою, зареєстрована у форматі WAV-файлу за допомогою програми CoolEdit. Зафіксована реалізація має три характерних ділянки. Перша ділянка А відповідає незбуреному стану турбулентного повітря. Потім на трасі променя за допомогою теплового джерела створювалася область підвищеної турбулентності, у результаті чого зростає змінний складник реєструемого сигналу (ділянка В). Потім теплове джерело прибирали і відбувалося відновлення вихідного значення стану турбулентності (ділянка С). Таким чином, за допомогою методу спекл-інтерферометрії є можливість оцінювати зміни турбулентності повітря на трасі лазерного променя, спричинені джерелом тепла.

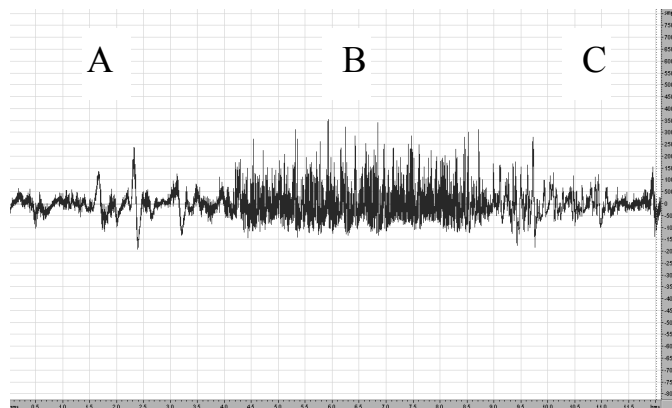


Рис. 3. Часова реалізація сигналу фотоприймального пристрою

Висновки

У статті запропонований можливий підхід до розв'язання задачі діагностики потоків: аналіз впливу фазових флуктуацій, внесених турбулентністю в зондувальне випромінювання. Наведені отримані часові реалізації сигналу фотоприймального пристрою за наявності й відсутності турбулентності повітря. Показана можливість виявлення зміни стану турбулентності на трасі розповсюдження променя, що може бути основою створення охоронної системи різних об'єктів.

Список використаних джерел

1. Комплексная охрана объектов: методы и аппаратура. – Режим доступа: <http://arsenal.nm.ru> .
2. Оленин Ю. А. Проблемы комплексного обеспечения охранно-территориальной безопасности и физической защиты особо важных объектов РФ / Ю. А. Оленин // Проблемы объектовой охраны: сб. науч. тр. Пензенского гос. ун-та. – Вып. 41. – Пенза, 2000. – С. 121 – 125.
3. Лепешкин В. Оценка защитных свойств периметральной сигнализации / В. Лепешкин // Мир и безопасность. – М., 2001. – № 3.
4. Охрана периметра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xvision.ru/id=15>.
5. Крюков И. Н. Сравнительный анализ физических полей объектов в целях обнаружения и распознавания нарушителей границы / И. Н. Крюков, В. А. Иванов // НМС. – Калининград: КВИ ФПС, 1999. – № 6, – ч. 4. – С. 18 – 24.
6. Dolya G. N. The appreciation of the influence of exactness of focusing on the work of the laser homodyne method of measuring the parameters of vibration / G. N. Dolya, V. V. Zhyvchuk Proc. SPIE. – Vol. 5582. – Sep. 2004. – P. 45 – 52.
7. Доля Г. Н. Сравнительный анализ возможностей методов интерферометрии для наблюдения фазовых неоднородностей в воздушной среде / Г. Н. Доля, А. Н. Катунин, В. М. Мазанов // Вост.-Европейский журн. передовых технологий. 2006. – Вып. 2 (20). – С. 61 – 64.
8. Бельский М. С. Оптическое зондирование атмосферной турбулентности / М. С. Бельский. – Новосибирск: Наука, 1986. – 128 с.
9. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере / В. И. Татарский. – М.: Наука, 1967. – 522 с.
10. Воронцов М. А. Принципы адаптивной оптики / М. А. Воронцов, В. И. Шмальгаузен. – М.: Наука, 1985. – 334 с.
11. Джоунс Р. Голографическая и спекл-интерферометрия: пер. с англ. / Р. Джоунс, К. Уайкс. – М.: Мир, 1986. – 328 с.

Стаття надійшла до редакції 14.10.2009 р.