

УДК 396.375

Г.М. Доля<sup>1</sup>, О.С. Чудовська<sup>1</sup>, А.М. Катунін<sup>2</sup>, А.М. Булай<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет ім. В. Каразіна, Харків<sup>2</sup> Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТУРБУЛЕНТНОЇ АТМОСФЕРИ З МЕТОЮ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ЗАГОРЯНЬ

Проведене обґрунтування можливості застосування телевізійного датчика для дистанційного моніторингу турбулентної атмосфери, що базується на аналізі кутового положення локального максимуму діаграми розсіювання. Показано, що при зростанні ступеня турбулентності навколишнього середовища відбувається адекватна зміна ступеня флуктуацій вимірюваного параметра, що обумовлює можливість застосування телевізійних датчиків для у системах виявлення загорянь.

**Ключові слова:** телевізійний датчик, турбулентність, виявлення загорянь.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Постійне вдосконалювання активних методів контролю навколишнього середовища визначається широким спектром задач, що вирішуються за допомогою застосування лазерних оптико-електронних систем моніторингу [1 – 3]. Основними успішно вирішуваними задачами є: лазерний дистанційний газоаналіз атмосфери; лазерний дистанційний контроль аерозольних забруднень атмосфери; лазерний дистанційний контроль нафтових забруднень морської поверхні та дистанційний контроль мутності зон шельфу. Крім того, методи лазерного дистанційного контролю застосовуються для вимірювання параметрів турбулентної атмосфери й виявлення загорянь [4, 5].

Технічна реалізація лазерних оптико-електронних систем виявлення загорянь припускає розташування передавача і приймача на одному кінці траси поширення лазерного променя через досліджуваний об'єм, а на іншому – світловідбивача (у найпростішому випадку – дзеркала) [4, 5]. Використання в якості світловідбивача світловідбивного покриття (СВП), що являє собою набір мікрокульок або мікропризм [5], дозволяє значно збільшити дальність дії таких систем. Крім того, розсіяне на СВП випромінювання має у площині приймача характерну структуру у вигляді набору хаотично розташованих плям (спекл-структуру) [5].

Лазерні системи виявлення загорянь засновані на вимірюванні флуктуацій інтенсивності відбитого лазерного випромінювання при його розповсюдженні через турбулентний шар, створюваний джерелом загоряння. Такі вимірювання, як правило, супроводжуються помилками, обумовленими зовнішнім фоновим випромінюванням, внутрішніми шумами фотоприймача і т.д. У той же час, турбуле-

нтність середовища призводить до флуктуацій показника переломлення на трасі і, як наслідок, до перекручування вигляду діаграми розсіювання випромінювання при його відбитті від СВП.

На основі цього ефекту можлива побудова датчиків турбулентних збурювань, заснованих на реєстрації кутових флуктуацій відбитого випромінювання телевізійним приймачем, які дозволяють аналізувати двомірний розподіл інтенсивності лазерного випромінювання.

**Мета статті** полягає у обґрунтуванні можливості застосування телевізійного датчика для дистанційного моніторингу турбулентної атмосфери.

### Основна частина

Використання СВП, що являють собою сукупність мікрокульок або мікропризм, дозволяє збільшити дальність дії лазерних систем, а також точність вимірювання параметрів прийнятого сигналу. Найбільшу ефективність забезпечує використання СВП на основі мікропризм, розмір яких має величину порядку 100 мкм [5]. Зображення фрагмента поверхні такого об'єкта наведено на рис. 1, а дифракційна картина при розсіюванні лазерного випромінювання на СВП – на рис. 2.

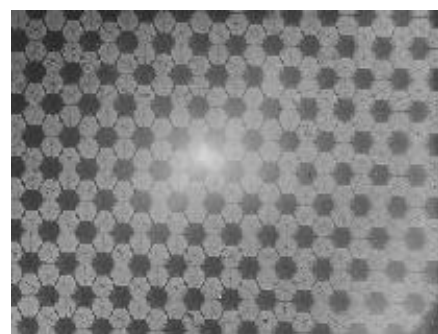


Рис. 1. Фрагмент поверхні СВП на основі мікропризм

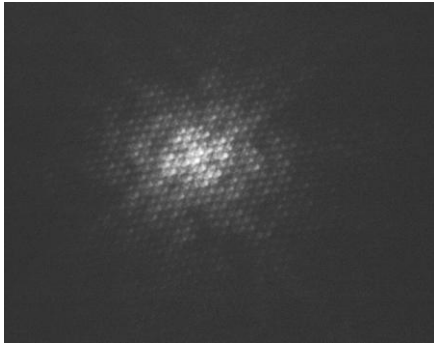


Рис. 2. Дифракційна картина при розсіюванні лазерного випромінювання на СВП

Апаратна функція СВП описується виразом  $I = F(U) f(NW)$  [6], де функція  $F(U)$  відповідає картині дифракції на елементарному світловідбивачі, а функція  $f(NW)$  визначається параметрами просторових решіток СВП. Наявність фазових перекичувань зондувального пучка призводить до перекичування амплітудно-фазового розподілу хвилі, яка дифрагує на просторових решітках СВП, що приводить до зміни вигляду діаграми розсіяного на СВП випромінювання. Діаграма змінюється також і при зворотному проходженні через турбулентний шар атмосфери. Перекичування проявляються в кутових флуктуаціях локальних максимумів діаграми розсіювання, що може бути зареєстровано фоточуттєвою площадкою матриці приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ).

У найпростішому випадку турбулентну атмосферу можна представити у вигляді тонкого фазового екрана, який характеризується значеннями двох параметрів – просторового радіуса кореляції неоднорідностей (фазових перекичувань)

$$\rho = (C_n^2 k^2 L)^{-3/5} \quad (1)$$

і дисперсії флуктуацій фази світлової хвилі при її розповсюдженні через фрагмент фазового екрана

$$\sigma_\varphi^2 = C_n^2 k^2 L L_0^{5/3}, \quad (2)$$

де  $L$  – довжина траси;  $k$  – хвильове число;  $L_0$  – зовнішній масштаб турбулентності;  $C_n^2$  – структурна постійна флуктуацій показника переломлення.

Відповідно, ці параметри пов'язані співвідношенням

$$\rho = L_0 / \sigma_\varphi^{6/5}. \quad (3)$$

Аналіз процесів розповсюдження сфокусованого лазерного випромінювання через фазовий транспарант, відбиття і дифракції на поверхні СВП, здійснювалися за допомогою комп'ютерного моделювання. При цьому враховувався характер поверхні СВП (рис. 1), а також закономірності (1), (2) та (3). Спочатку під час відсутності турбулентності на трасі розповсюдження лазерного променя розраховувався ам-

плітудно-фазовий розподіл інтенсивності дифрагovanого лазерного випромінювання та вимірювалися координати одного з локальних максимумів діаграми розсіювання. Потім аналогічні вимірювання проводилися при одній з реалізацій фазового транспаранта та вимірювалось виникаюче відхилення положення локального максимуму відносно першого випадку відсутності фазових перекичувань. Далі задавалось наступне значення випадкової величини фазового набігу, розподіленої за нормальним законом, знову обчислювалася величина зсуву локального максимуму й т.д. Результати розрахунків при різному значенні параметра  $L_0$  представлені на рис. 3, де по осі абсцис відкладені значення середньоквадратичного відхилення (СКВ) набігу фази, по осі ординат – значення СКВ зсуву максимуму діаграми розсіювання.

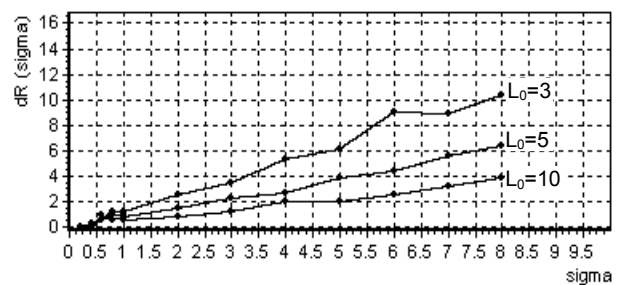


Рис. 3. Залежності СКВ зсуву максимуму діаграми розсіювання від СКВ набігу фаз при різних значеннях зовнішнього масштабу турбулентності  $L_0$

З представлених результатів видно, що при зростанні ступеня турбулентних перекичувань відбувається монотонне збільшення дисперсії флуктуацій положення локального максимуму, що є основою методу виявлення зміни стану турбулентності повітря на трасі розповсюдження променя, наприклад, в інтересах раннього виявлення джерел загорянь.

Для експериментальної перевірки працездатності такого методу був зібраний макет, схема якого зображена на рис. 4.

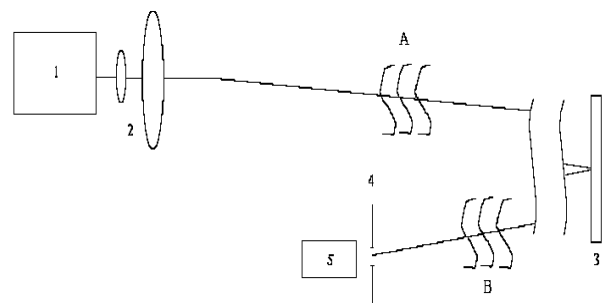


Рис. 4. Схема експериментального макету

Макет включав напівпровідниковий лазер 1 потужністю 25мВт, випромінюючий в червоній області спектру; оптичну систему 2, що дозволяє отримувати сколимований лазерний пучок діаметром 5 см або фокусувати його на відстанях від 5 до 20 м, СВП 3 на основі мікропризм (рис. 1), а також матрицю ПЗЗ 5 з

фокусууючою оптикою 4. На трасі розповсюдження лазерного випромінювання за допомогою теплового джерела штучно створювалися флуктуації показника заломлення (A і B), що призводять до фазових перекручувань падаючого на СВП пучка і відбитого від нього випромінювання. Просторовий розподіл інтенсивності відбитого променя (рис. 2) проектувався на фоточутливу площадку матриці ПЗЗ і за допомогою алгоритму обчислення координат локального максимуму здійснювався розрахунок дисперсії їх флуктуацій по аналогії з тим, як це робилося при математичному моделюванні. Час усереднювання вибирався рівним 30 с. Як показали результати експериментальних досліджень за допомогою макету, легко спостерігаються флуктуації координат, адекватні ступеню фазових перекручувань, що є підтвердженням працездатності обговорюваного методу.

Останнє твердження ілюструється графіком на рис. 5, де по осі абсцис відкладені значення напруги, що прикладається до нагрівача (джерела фазових перекручувань), а по осі ординат – відносне значення СКВ флуктуацій. Ступінь турбулентності атмосфери зростає із зростанням температури нагрівача (прикладеної напруги), що приводить до зростання флуктуацій. При проведенні експерименту довжина траси вибиралася рівною 10 м.

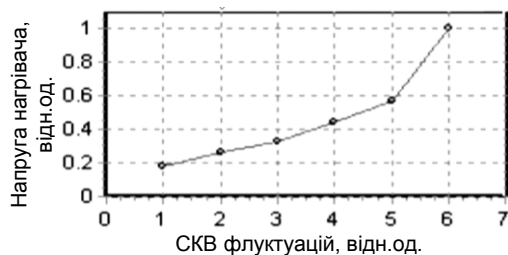


Рис. 5. Результати експерименту

## Висновки

У роботі проведено обґрунтування можливості застосування телевізійного датчика для дистанцій-

ного моніторингу турбулентної атмосфери, що базується на аналізі кутового положення локального максимуму діаграми розсіювання.

Результати комп'ютерного моделювання свідчать, що фазові флуктуації на трасі розповсюдження лазерного випромінювання призводять до появи флуктуацій координат локальних максимумів у відбитому випромінюванні.

Показано, що при зростанні ступеня турбулентності навколишнього середовища відбувається відповідна зміна ступеня флуктуацій вимірюваного параметра, що обумовлює можливість застосування телевізійного датчика для дистанційного моніторингу турбулентної атмосфери з метою раннього виявлення загорянь.

## Список літератури

1. *Справочник по инфракрасной технике: В 4 т. Т.4. Проектирование инфракрасных систем / Под ред. У. Волфа, Г. Цисса. – М.: Мир, 1999. – 472 с.*
2. *Оптико-электронные системы экологического мониторинга окружающей среды: Учеб. пособие для вузов / В.И. Козинцев, В.М. Орлов, М.Л. Белов и др.; под ред. В.Н. Рождествина. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.*
3. *Беленький М.С. Оптическое зондирование атмосферной турбулентности / М.С. Беленький и др. – Новосибирск: Наука, 1986. – 128 с.*
4. *Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1988. – 234 с.*
5. *Доля Г.М. О величине дисперсии флуктуаций параметров лазерного излучения при обнаружении источников тления и загорания / Г.М. Доля, В.Л. Живчук, А.М. Катунин, К.В. Садовый, А.И. Вовк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – Вып.4/3(28). – С. 17-20.*
6. *Дитчберн Р. Физическая оптика: Пер. с англ. под ред. И.А.Яковлева / Р. Дитчберн. – М.: Наука: Главн. ред. физико-математической литературы, 1965. – 631 с.*

Надійшла до редколегії 17.12.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЫ С ЦЕЛЬЮ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГОРАНИЙ

Г.Н. Доля, Е.С. Чудовская, А.Н. Катунин, А.Н. Булай

*Проведено обоснование возможности применения телевизионного датчика для дистанционного мониторинга турбулентной атмосферы, которая базируется на анализе углового положения локального максимума диаграммы рассеивания. Показано, что при росте степени турбулентности окружающей среды происходит адекватное изменение степени флуктуаций измеренного параметра, что обуславливает возможность применения телевизионных датчиков в системах обнаружения возгораний.*

**Ключевые слова:** телевизионный датчик, турбулентность, обнаружение загораний.

## GROUND OF POSSIBILITY OF APPLICATION OF TELEVISIONAL SENSOR FOR THE CONTROLLED FROM DISTANCE MONITORING OF TURBULENT ATMOSPHERE WITH THE PURPOSE OF EARLY DISCOVERY OF IGNITING

G.N. Dolya, E.S. Chudovskaya, A.N. Katunin, A.N. Bulay

*Is conducted ground of possibility of application of televisional sensor for the controlled from distance monitoring of turbulent atmosphere which is based on the analysis of angular position of local a maximum of diagram dispersion. It is rotined that there is an adequate change the degree of fluctuations of the measured parameter at growth of turbulence degree of environment, that allows to assume efficiency of application of televisional sensors in the systems of finding out igniting.*

**Keywords:** televisional sensor, turbulence, finding out igniting.