

УДК 681.375

О.В. Коломійцев<sup>1</sup>, Д.В. Руденко<sup>2</sup>, А.О. Ковальчук<sup>1</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ЛАЗЕРНА ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА З МОЖЛИВІСТЮ ПОШУКУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Запропонована лазерна вимірювальна система (ЛВС), яка забезпечить високоточне вимірювання кутів азимута і місця, похилої дальності, радіальної і тангенційної складових швидкості (кутових швидкостей) літального апарату (ЛА) при одночасному його стійкому кутовому автосупроводженні у широкому діапазоні дальностей та в разі необхідності – його пошук у заданій зоні із заданим законом сканування. Багатофункціональність ЛВС можлива завдяки використанню мод (несучих частот) та комбінацій мод (частот міжмодових биттів) спектру синхронізованого одномодового багаточастотного випромінювання YAG:Nd<sup>3+</sup> - лазера (або лазера з найбільш кращими показниками), а також модернізованого частотно-часового методу вимірювання.

**Ключові слова:** лазерне синхронізоване одномодове багаточастотне випромінювання, літальний апарат.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Бурхливий розвиток джерел випромінювання на лазерах визначив основні напрямки їх застосування: лазерна локація (наземна, бортова, підводна); лазерний зв'язок та лазерні навігаційні системи. Далекоміри, локатори, висотоміри, системи наведення, тощо – це вже давно з'явилися та використовуються у різних сферах життєдіяльності провідних держав світу. При цьому об'єктами лазерної локації можуть бути літальні апарати, танки, кораблі і т.д.

Як вже відомо, лазерне випромінювання є вузьконаправленим, монохроматичним та має велику імпульсну потужність і високу спектральну яскравість. Тому використання лазерного випромінювання відкриває широкі можливості для вирішення таких завдань як високоточне вимірювання параметрів руху (ВІР) ЛА (та об'єктів в загалі). Використання лазерного випромінювання в ЛВС дозволяє формувати понадвузькі діаграми спрямованості (ДС) і отримувати великі коефіцієнти підсилення при порівняно малих оптичних антенах [1]. При цьому, якщо врахувати той факт, що існуючі ЛВС [2] використовують в загалі імпульсний характер сигналу, але не враховують його багаточастотність, то не може бути речі про вимірювання усіх шістьох параметрів руху ЛА і т.д., тобто роботу ЛВС з використання подовжніх мод. При цьому, використання вузьких ДС робить ці ЛВС не стійкими до авто супроводження ЛА. У зв'язку з цим пропонується новий підхід до синтезу ЛВС нового покоління з модернізованим частотно-часовим методом вимірювання (МЧЧМВ).

**Аналіз останніх публікацій.** Недоліками відомих ЛВС, які використовують імпульсні сигнали, є – труднощі у вимірах радіальної швидкості, в розкритті неоднозначності по дальності до об'єктів, у створенні значного енергетичного потенціалу при високоточних вимірах, тим більш, для точних вимірів вимагаються найбільш круті фронти імпульсів, а

тому, широкі смуги пропущення підсилювачів. Для ЛВС, що використовують безперервні сигнали, існують труднощі при вимірах дальності. Для фазових же вимірів існують труднощі створення когерентних опорних частот [2]. Недоліками квантово-оптичної системи «Сажень» [3], яка використовується на Україні, є мала точність вимірювання похилої дальності на великій відстані до космічного апарату (КА) та кутів азимута і місця, неоперативність супроводження та неможливість вимірювання кутової і радіальної швидкостей, крім того, в разі зриву автосупроводження КА його пошук неможливий.

**Метою статті** є представлення результатів наукових і науково-технічних пропозицій щодо синтезу ЛВС, яка забезпечить високоточне вимірювання усіх шістьох параметрів руху ЛА при одночасному його стійкому кутовому автосупроводженні та при необхідності пошук ЛА в заданій зоні із заданим законом сканування.

### Виклад основного матеріалу

Використання МЧЧМВ [4] у ЛВС дозволяє забезпечити наступне (рис. 1, 2).

На передавальній частці ЛВС. Із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання YAG:Nd<sup>3+</sup> – лазера (Лн – лазера-передавача з накачкою) за допомогою селектора подовжніх мод (СПМ) [5] виділяються необхідні моди (частоти) для створення:

– рівносигнального напрямку (РСН) на основі формування сумарної ДС, завдяки частково перетинаючихся 4-х парціальних ДС, за умови використання комбінацій мод  $\nu$  (різницевої частот міжмодових биттів):

$$\Delta\nu_{54}=\nu_5-\nu_4=\Delta\nu_m, \quad \Delta\nu_{97}=\nu_9-\nu_7=2\Delta\nu_m,$$

$$\Delta\nu_{63}=\nu_6-\nu_3=3\Delta\nu_m, \quad \Delta\nu_{82}=\nu_8-\nu_2=6\Delta\nu_m.$$

При цьому кількість мод (частот – їх комбінацій) може бути знаходитися в рамках СПМ, що виділяються, стосовно рівня втрат.

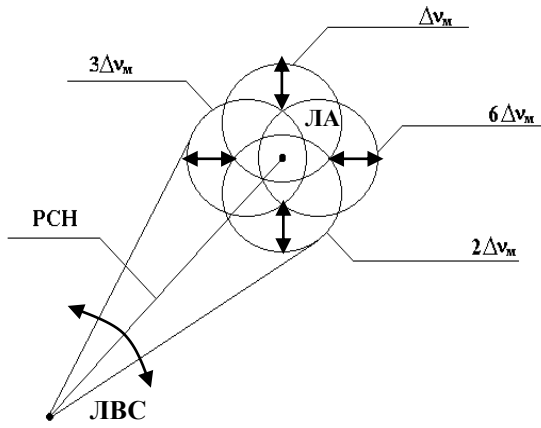


Рис. 1. Створення РСН, сканування сумарною і 4-ма парціальними ДС, що перетинаються

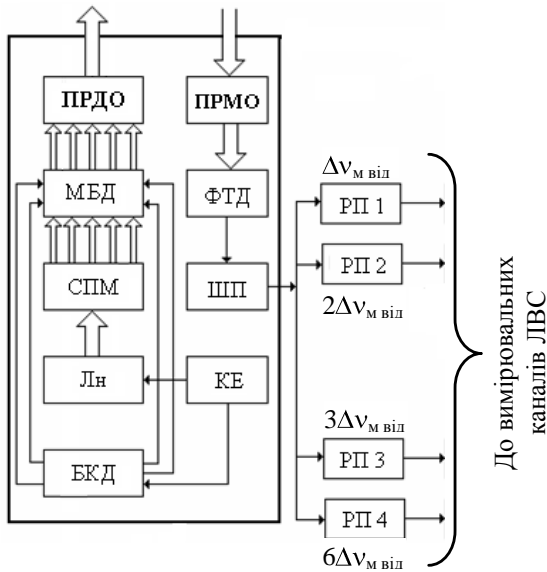


Рис. 2. Загальна схема приймально-передавальної частки ЛВС з МЧМВ

Сигнал частот міжмодових биттів  $\Delta v_m$ ,  $2\Delta v_m$ ,  $3\Delta v_m$  та  $6\Delta v_m$  потрапляє на модифікований блок дефлекторів (МБД), який забезпечує (рис. 2):

- попарне зустрічне сканування 4-ма парціальними ДС у кожній із двох ортогональних площин з періодом сканування півперіоди ДС;

- сканування сумарною ДС у заданій зоні із заданим законом сканування.

Період сканування задається блоком керування дефлекторів (БКД), який разом з Лн живляться від керуючого елемента (КЕ). Проходячи через передаючу оптику (ПРДО), груповий лазерний імпульсний сигнал пар частот:

$$v_5, v_4 = \Delta v_m, \quad v_9, v_7 = 2\Delta v_m,$$

$$v_6, v_3 = 3\Delta v_m, \quad v_8, v_2 = 6\Delta v_m$$

фокусується в скануєми крапки простору, оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС у кожній із двох ортогональних площин  $\alpha$  і  $\beta$ .

На приймальній частці ЛВС. Прийняті прийнятною оптикою (ПРМО) відбиті від ЛА в процесі сканування 4-ма ДС вимірювальні лазерні імпульсні

сигнали і огинаючи сигнали ДС за допомогою фотодетектора (ФТД) перетворюються в електричні імпульсні сигнали на різницевих частотах міжмодових биттів, що підсилюються широкополосним підсилювачем (ШП), і розподіляються по резонансних підсилювачах (РП1 – РП4), що настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів:  $\Delta v_m$ ,  $2\Delta v_m$ ,  $3\Delta v_m$ ,  $6\Delta v_m$  для виділення вимірювальної інформації про ЛА.

Зустрічне сканування пар парціальних ДС у кожній із двох ортогональних площин, забезпечує порівняння зрушень періодів пачок імпульсів, що огинають, частот міжмодових биттів за один повний прохід ДС у прямому і зворотному напрямку сканування. Це дає можливість по різниці зрушень періодів, що огинають, сформувати сигнали помилки по двох осях координат і визначити кути азимута  $\alpha$  і місця  $\beta$ , а також величину і знак кута відхилення ЛА від рівносигнального напрямку.

Зустрічне сканування пар парціальних ДС у кожній із двох ортогональних площин, забезпечує також порівняння зрушень напівперіодів (тривалостей) пачок імпульсів, що огинають, частот міжмодових биттів за один прохід ДС в одному напрямку сканування. Це дає можливість по різниці тривалостей, що огинають, (напівперіодів) визначити кутову і тангенціальну складові швидкості ЛА.

Зустрічне сканування пар парціальних ДС у кожній із двох ортогональних площин, дозволяє також вимірювати як похилу дальність до ЛА по запізнюванню частоти міжмодових биттів, так і його радіальну швидкість – доплерівським методом.

Таким чином можливо визначити:

1) тангенційну складову швидкості руху ЛА

$$U_\tau = R \cdot \dot{\theta} = \frac{U_l}{2} \cdot \frac{\Delta T_p}{T_{ск}}, \quad (1)$$

де  $R$  – дальність до ЛА;  $\dot{\theta}$  – кутова швидкість руху ЛА;  $\Delta T_p$  – результуючий час заміру руху ДС в одному каналі за один прохід;  $T_{ск}$  – час сканування ДС;  $U_l = R \cdot \omega_{ск}$  – швидкість руху ДС;  $\omega_{ск}$  – частота сканування;

- дисперсію оцінки визначення тангенційної складової

$$\sigma_{U_\tau}^2 = \frac{U_l^2 \cdot \sigma_{\Delta T}^2}{T_{ск}^2} = \frac{e}{2} \cdot \frac{U_l^2}{q}, \quad (2)$$

де  $q$  – відношення сигнал/шум;

- дисперсію оцінки положення 2-х фронтів огинаючих пачок імпульсів частот міжмодових биттів

$$\sigma_{\Delta T}^2 = \frac{e}{2q} \cdot \left( \frac{2\Delta\theta_x}{k} \right)^2 = 2e \cdot \frac{\Delta\theta_x^2}{q \cdot k^2}, \quad (3)$$

де  $k = \frac{2\Delta\theta_x}{T_{ск}}$  – швидкість сканування ДС;  $\Delta\theta_x$  – ширина ДС;

2) кутову складову швидкості руху ЛА

$$\dot{\theta} = \frac{\omega_{ск}}{2} \cdot \frac{\Delta T_p}{T_{ск}} \approx \frac{\Delta\theta_x}{2T_{ск}} \cdot \frac{\Delta T_p}{T_{ск}}; \quad (4)$$

– дисперсію похибки визначення кутової швидкості ЛА

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma_{U_{\tau}}^2}{R^2} = \frac{e}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{СК}}^2}{q}; \quad (5)$$

3) кутове відхилення ЛА від РСН

$$\theta = \frac{U_{\text{л}}}{R} \cdot \frac{\Delta T}{2}; \quad (6)$$

– дисперсію оцінки кутового разузгодження огинаючих пачок імпульсів частот міжмодових биттів

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\Delta\theta_x^2}{4 \cdot T_{\text{СК}}^2} \cdot \sigma_{\Delta T}^2 = \frac{e}{8} \cdot \frac{\Delta\theta_x^2}{q}. \quad (7)$$

4) погрішність вимірювання похилої дальності до ЛА

$$\sigma_R^2 = C^2 \sigma_{\tau}^2, \quad (8)$$

де  $\sigma_{\tau}^2 = \frac{T_{\text{МБ}}}{q}$ ;  $T_{\text{МБ}}$  – період частоти міжмодових

биттів;

5) радіальну складову швидкості руху ЛА

$$\dot{R} = \frac{\Delta\nu_{\text{допл}} C}{\Delta\nu_{\text{м}}}, \quad (9)$$

де  $\Delta\nu_{\text{допл}}$  – частота Доплера;  $\Delta\nu_{\text{м}}$  – частота міжмодових биттів;

– погрішність вимірювання радіальної складової швидкості руху ЛА

$$y_{\dot{R}} = \frac{y_{\text{Дн допл}}}{\text{Дн}_{\text{м}}} \cdot C. \quad (10)$$

За попередніми розрахунками точностних характеристик ЛВС було встановлено наступне:

– середньоквадратична помилка (СКП)  $\Sigma$  погрішності автосупроводження ЛА – на 2 порядки менш, ніж в аналогічних моноімпульсних ЛВС;

– при значеннях: часу сканування 0,1 с; кути разузгодженості лазерного променя  $10^{-4}$  рад; максимальному видаленні 1500 км і смузі фільтрації 20 Гц, принципово досяжні СКП ВПР пропонованою системою можуть бути не гірше:  $\sigma_{\theta} \leq 10^{-9}$  рад/с,  $\sigma_{\theta_{X,Y}} \approx 2 \cdot 10^{-8}$  рад,  $\sigma_{U_{\tau}} = 0,06$  м/с.

## ЛАЗЕРНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОИСКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.В. Коломийцев, А.А. Ковальчук, Д.В. Руденко

*Предложена лазерная измерительная система (ЛИС), которая обеспечивает высокоточное измерение углов азимута и места, наклонной дальности, радиальной и тангенциальной составляющих скорости летательного аппарата при одновременном его стойком угловом автосопровождении в широком диапазоне дальностей и в случае необходимости, – его поиск в заданной зоне с заданным законом сканирования. Многофункциональность ЛИС возможна благодаря использованию мод и комбинаций мод спектра синхронизированного одномодового многочастотного излучения YAG:Nd 3+ - лазера, а также модернизированного частотно – временного метода измерения.*

**Ключевые слова:** лазерное синхронизированное одномодовое многочастотное излучение, летательный аппарат.

## LASER MEASURING SYSTEM WITH POSSIBILITY OF AIRCRAFT SEARCH

A.V. Kolomitsev, A.A. Kovalchuk, D.V. Rydenko

*A laser is offered measuring system (LMS) which will provide the high-fidelity measuring of corners of azimuth and place, to sloping distance, to radial and tangential constituents of speed aircraft at simultaneous his proof angular autoaccompaniment in the wide range of distances, and in the case of necessity, is his search in the set area with the set law of scanning. The multifunctionness of LMS is possible to due to the uses of fashions and combinations of fashions ) of spectrum of the synchronized vanmodes multifrequency radiation of YAG:Nd 3+ - laser , and also modernized frequency – temporal method of measuring .*

**Keywords:** laser synchronized vanmodes multifrequency radiation, aircraft.

## Висновки

Таким чином, синтез ЛВС нового покоління з використанням МЧЧМВ істотно дозволить здійснювати одночасно високоточне вимірювання шести параметрів руху ЛА і його стійке кутове автосупроводження у широкому діапазоні дальностей (починаючи з початкового моменту польоту).

В разі необхідності виявлення ЛА під час його пошуку, сканування сумарною ДС у заданій зоні із заданим законом сканування.

Випромінювання, яке знаходиться біля рівня втрат синхронізованого одномодового багаточастотного спектру лазера-передавача та є невеликим за потужністю – не використовується.

Для забезпечення якісної роботи ЛВС потрібно дотримуватися жорстких вимог до спектра лазерного випромінювання (синхронізації та стабілізації частот міжмодових биттів).

## Список літератури

1. Коломийцев О.В. Лазерная информационно-измерительная система / О.В. Коломийцев // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 8(36). – С. 186-189.
2. Лазерная космическая связь: пер. с англ. / Под ред. М. Кацмана. – М.: Радио и связь. – 1993. – 240 с.
3. Полігонні лазерні та оптико-електронні вимірювальні засоби: Конспект лекцій. Частина II / С.В. Тюрін, І.С. Шорстко і др. – Х.: ХВУ, 1998. – 174 с.
4. Деклараційний патент України на винахід 65099А, Україна, 6 МПК G01 S 17/42, G01 S 17/66. Модернізований частотно-часовий метод вимірювання параметрів руху літальних апаратів / Г.В. Альошин, О.В. Коломийцев, Д.П. Пашков – № 2003054908; Заяв. 29.05.2003; Опубл. 15.03.2004; Бюл. № 3. – 8 с.
5. Деклараційний патент України на винахід 65320А, Україна, H04 Q 1/453. Селектор подовжніх мод для виділення із спектру синхронізованого одномодового багаточастотного лазерного випромінювання необхідних частот / О.В. Коломийцев, В.В. Обрядін. – № 2003076378; Заяв. 08.07.2003; Опубл. 15.03.2004; Бюл. № 3. – 6 с.

Надійшла до редколегії 26.10.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

