

УДК 681.375

О.В. Коломійцев

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ЛАЗЕРНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА З МОЖЛИВІСТЮ ПОШУКУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Запропонована лазерна інформаційно-вимірювальна система (ЛІВС), яка забезпечить високоточне вимірювання кутів азимута і місця, похилої дальності, радіальної і тангенційної складових швидкості (кутових швидкостей) літального апарата (ЛА) при одночасному його стійкому кутовому автосупроводженні у широкому діапазоні дальностей, а також багатоканальну передачу інформації на борт ЛА та в разі необхідності – його пошук у заданій зоні із заданим законом сканування. Багатофункціональність ЛІВС 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 (МЧЧМВ).

**Ключові слова:** лазерне синхронізоване одномодове багаточастотне випромінювання

### Вступ

**Постановка проблеми.** В останні роки вдосконалюється застосування лазерів у наукових дослідженнях, що дозволяє їх швидко використовувати у різних видах військової техніки – наземної, морської, повітряної. Ряд зразків лазерної техніки – далекоміри, локатори, висотоміри, системи наведення, тощо – вже давно з'явилися на озброєнні провідних держав світу. Використання лазерного випромінювання відкриває широкі можливості для вирішення таких завдань як високоточного вимірювання параметрів руху (ВІР) ЛА, інформаційного обміну з ними і т.д. Такі можливості обумовлені використанням в ЛІВС джерел випромінювання на лазерах, що володіють великою несучою частотою і спектральною яскравістю, монохроматичністю, просторовою та часовою когерентністю.

Завдяки цьому в ЛІВС можливо формування понаддвузьких діаграм спрямованості (ДС) і отримання великих коефіцієнтів посилення при порівняно малих оптичних антенах. Лазерні джерела випромінювання дозволяють генерувати гігантські по потужності і ультракороткі по тривалості імпульси, що забезпечує якісний взаємозв'язок і високу точність ВІР ЛА [1]. При цьому, якщо врахувати той факт, що існуючі лазерні вимірювальні системи (ЛІВС) і ЛІВС [2] використовують імпульсний характер сигналу, але не враховують його багаточастотність, то не може бути речі про достатню багатофункціональність, тобто роботу систем як на частотах міжмодових биттів, так і на несучих частотах, а також здійснювати як високоточне ВІР і стійке автосупроводження ЛА, так і інформаційний багатоканальний взаємозв'язок з ним.

У зв'язку з цим пропонується новий підхід до синтезу ЛІВС нового покоління з МЧЧМВ.

**Аналіз останніх публікацій.** Аналіз публікацій по зразкам ЛІВС і ЛІВС, які використовуються та є на озброєнні показує наступне. Недоліками відомих ЛІВС (ЛІВС), які використовують імпульсні сигнали, є труднощі у вимірах радіальної швидкості, в розкритті неоднозначності по дальності, у створенні значного енергетичного потенціалу при високоточних вимірах, тим більш, для точних вимірів вимагаються найбільш круті фронти імпульсів, а тому, широкі смуги пропускання підсилювачів.

Для ЛІВС (ЛІВС), 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 апарата (КА) та кутів азимута і місця, неоперативність супроводження та неможливість вимірювання кутової і радіальної швидкостей, крім того, обмін інформацією з КА здійснюється на одній частоті.

**Метою статті** є представлення результатів наукових і науково-технічних пропозицій щодо синтезу ЛІВС з можливістю пошуку ЛА, яка забезпечить високоточне вимірювання усіх шістьох параметрів руху ЛА при одночасному його стійкому кутовому автосупроводженні та інформаційний багатоканальний зв'язок з ним.

### Виклад основного матеріалу

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

На передавальній частці системи. Із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання YAG:Nd<sup>3+</sup> – лазера (або лазера з

кращими характеристиками) за допомогою модифікованого селектора подовжніх мод (МСПМ) [5] виділити необхідні моди (частоти) для створення:

– N інформаційних каналів зв'язку з ЛА, за умови використання сигналів на несучих частотах  $\nu_n$ ;

– рівносигнального напрямку (РСН) на основі формування сумарної ДС, завдяки частково перетинаючихся 4-х парціальних ДС, за умови використання комбінацій частот (різницевиx 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 і їх комбінацій) може бути знаходитися в рамках МСПМ, що виділяються, стосовно рівня втрат.

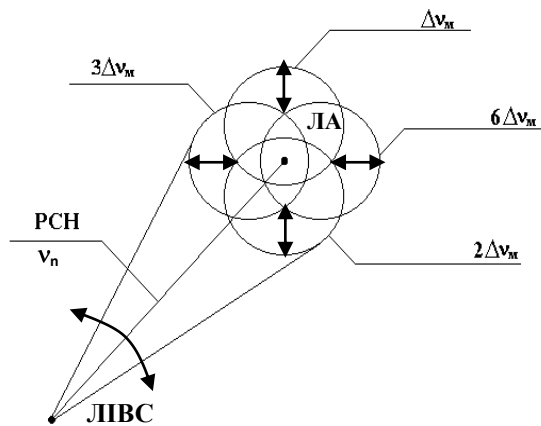


Рис. 1. Створення РСН, сканування сумарною і 4-ма парціальними ДС, що перетинаються, та N інформаційних каналів зв'язку ЛІВС з ЛА

Використання модифікованого блока дефлекторів (МБД) забезпечує:

– 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.

Оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС у кожній із двох ортогональних площин  $\alpha$  і  $\beta$ , або X і Y, тому інформаційний сигнал на несучих частотах  $\nu_n$  – проходить вдовж РСН.

На приймальній частці системи. Прийняті відбиті від ЛА інформаційні та в процесі сканування 4-х ДС вимірювальні лазерні імпульсні сигнали і огинаючи сигнали ДС перетворюються в електричні імпульсні сигнали на несучих частотах та різницевиx частотах міжмодових биттів, які розподіляються по вимірювальних каналах.

У каналі вимірювання тангенціальної складової швидкості (кутових швидкостей) запропоновано новий принцип вимірювання, який полягає в тому, що півперіоди огинаючих пачок імпульсів частот міжмо-

дових биттів за один період сканування ДС у 2-х ортогональних площинах відбитих від ЛА сигналів, що збігаються з напрямком руху ЛА – подовжуються, а при зворотному руху ДС – скорочуються. Ці періоди, що змінюються, вимірюються часово-імпульсним методом. Різниця періодів огинаючих руху ДС пропорційна кутовій швидкості руху ЛА.

У каналі автоматичного супроводження ЛА за напрямком (АСН) запропоновано використовувати інформацію про кутову швидкість для уточнення оцінки кутів, а також застосовувати модернізовану фільтрацію сигналу неузгодженості за методом Калмана-Бьюсі, що робить точним і стійким канал стосовно можливого зриву автосупроводження ЛА за рахунок динамічної помилки.

У каналі вимірювання похилої дальності до ЛА пропонується передавати зондуєчий імпульс методом "бланкування" випромінювання, або зняття його на малий час, тобто створення «грубої шкали». Використовуючи рециркулятор при опрацюванні пачки бланкуючих імпульсів і автосупроводженні по дальності, досягається висока точність і розв'язується задача, пов'язана з неоднозначністю вимірювання для самої точної шкали, яка використовує пікосекундні імпульси.

У каналі вимірювання радіальної складової швидкості руху ЛА, запропоновано використовувати частоту підставки, що забезпечує реалізацію багатощкального методу вимірювання  $\dot{R}$ , і дозволяє здійснювати виміри з високою точністю.

Оскільки висока точність ВПР ЛА можлива завдяки високій стійкості та точності каналу АСН, тому докладніше розглядається цей канал.

Кутове відхилення ЛА  $\theta$  від РСН вимірюється ЧЧМ, при цьому зсуваються в часі періоди огинаючих пачок імпульсів у формі частот міжмодових биттів (за один повний прохід ДС у прямому і зворотному напрямку сканування) щодо аналогічних періодів огинаючих у зустрічному напрямку. Необхідно оцінити точність визначення зсувів зазначених періодів при наявності фонових шумів фотодетектора (ФТД). Без обліку фонових шумів точність таких вимірів буде визначатися помилкою дискретності. Але, оскільки канал АСН також пропонується для роботи на максимальних дальностях, коли сигнал лише несуттєво перевищує фоновий шум ФТД, то дисперсія  $\sigma_{\Delta T}^2$  помилки зрушення огинаючих  $\Delta T$  залежить від шумів, від крутизни фронтів огинаючих, тобто від швидкості сканування  $k$ , або від відношення сигнал/шум  $q$

$$\sigma_{\Delta T}^2 = \frac{e}{2q} \cdot \left( \frac{2\Delta\theta_x}{k} \right)^2 = 2e \cdot \frac{\Delta\theta_x^2}{q \cdot k^2}, \quad (1)$$

де  $\Delta\theta_x$  – ширина ДС.

Тоді середньоквадратична похибка (СКП) кутового відхилення ЛА від РСН

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{e}{8} \cdot \frac{\Delta\theta_x^2}{q}. \quad (2)$$

За попередніми розрахунками точностних характеристик ЛІВС було встановлено наступне:

– середньоквадратична помилка  $\Sigma$  погрішності автосупроводження ЛА – на 2 порядки менш, ніж в аналогічних моноімпульсних ЛІВС;

– при значеннях:

часу сканування 0,1 с;

куті разузгоженності лазерного променя  $10^{-4}$  рад;

максимальному видаленні 1500 км

смугі фільтрації 20 Гц,

принципово досяжні СКП ВПР пропонованою системою можуть бути не гірше:

$$\sigma_{\theta} \leq 10^{-9} \text{ рад/с},$$

$$\sigma_{\theta_{X,Y}} \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ рад},$$

$$\sigma_{U_{\tau}} = 0,06 \text{ м/с}.$$

### Висновки

Таким чином, синтез ЛІВС нового покоління з МЧЧМВ істотно дозволить підвищити об'єм інформації, що передається (приймається) ЛА (вирішити питання розподілу різного роду інформації по відповідним каналам) та здійснювати одночасно високоточне вимірювання параметрів руху ЛА і його стійке кутове автосупроводження у широкому діапазоні дальностей.

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

### Список літератури

1. Коломійцев О.В. Лазерна інформаційно-вимірювальна система / О.В. Коломійцев // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 8(36). – С. 186-189.

2. Лазерная космическая связь: пер. с англ. / Под ред. М. Кацмана. – М.: Радио и связь, 1993. – 240 с.

3. Тюрін С.В. Полігонні лазерні та оптико-електронні вимірювальні засоби: Конспект лекцій. Частина II / С.В. Тюрін, І.С. Шостко, В.А. Романюк, В.В. Пономарьов, Р.В. Павлович. – Х.: ХВУ, 1998. – 174 с.

4. Альошин Г.В. 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. Коломійцев, Д.П. Пашков – № 2003054908; Заяв. 29.05.2003; Опубл. 15.03.2004; Бюл. № 3. – 8 с.

5. Коломійцев О.В. Патент України на корисну модель № 43725. Модифікований селектор подовжніх мод. / О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, Белімов В.В. та ін. – № 200903693; Заяв. 15.04.2009; Опубл. 25.08.2009; Бюл. № 16. – 6 с.

Надійшла до редколегії 20.08.2009

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

### ЛАЗЕРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОИСКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.В. Коломійцев

Предложена лазерная информационно измерительная система (ЛИИС), которая обеспечит высокоточное измерение углов азимута и места, наклонной дальности, радиальной и тангенциальной составляющих скорости (угловых скоростей) летательного аппарата (ЛА) при одновременном его стойком угловом автосопровождении в широком диапазоне дальностей, а также многоканальную передачу информации, на борт ЛА и в случае необходимости, – его поиск в заданной зоне с заданным законом сканирования. Многофункциональность ЛИИС возможна благодаря использования мод (несущих частот) и комбинаций мод (частот межмодовых биений) спектра синхронизированного одномодового многочастотного излучения YAG:Nd 3+ - лазера (или лазера с наиболее лучшими показателями), а также модернизированного частотно – временного метода измерения.

**Ключевые слова:** лазерное синхронизированное одномодовое многочастотное излучение.

### LASER INFORMATIVELY MEASURING SYSTEM WITH POSSIBILITY OF SEARCH AIRCRAFT

A. V. Kolomitsev

A laser is offered informatively measuring system (LOIMS) which will provide the high-fidelity measuring of corners of azimuth and place, to sloping distance, to radial and tangential constituents of speed (angular speeds) of aircraft at simultaneous his proof angular autoaccompaniment in the wide range of distances, and also multichannel passing to information, on the side of aircraft and in the case of necessity, is his search in the set area with the set law of scanning. The multifunctionness of LOIMS is possible to due to the uses of fashions (bearings frequencies) and combinations of fashions (frequencies of the bitvinmodes beatings) of spectrum of the synchronized vanmodes multifrequency radiation of YAG:Nd 3+ - laser (or laser with the most best indexes), and also modernized frequency – temporal method of measuring.

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