

УДК 681. 375

О.В. Коломійцев<sup>1</sup>, С.І. Клівець<sup>1</sup>, О.С. Петренко<sup>1</sup>, Д.В. Руденко<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ КУТОВОГО АВТОСУПРОВОДЖЕННЯ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ В БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІЙ ЛАЗЕРНІЙ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ

Запропоновано канал кутового автоматичного супроводження літального апарату (ЛА) за напрямком (АСН) для структури мобільної багатофункціональної лазерної інформаційно-вимірювальної системи (ЛІВС), яка призначена для використання на полігонному випробувальному комплексі. Основою побудови стійкого каналу є використання частотно-часового методу (ЧЧМ) пошуку, розпізнавання і вимірювання параметрів руху ЛА, оптико-електронного модуля (телевізійної камери (ТК) і інфрачервоного (ІЧ) каналу) та прямих вимірів тангенціальної швидкості (кутових швидкостей) ЛА. Інформація про кутові швидкості ЛА дозволяє компенсувати динамічну і флуктуаційну помилки фільтрації. Додаткова інформація про ЛА від ширококутового оптико-електронного модуля дозволяє утримати рівносигнальний напрямок (РСН) на ЛА, за умови різкої зміни траєкторії його польоту. Представлені результати оцінки точностних характеристик каналу АСН та схемо-технічні рішення його побудови. Розкрита сутність підвищення стійкості кутового автосупроводження ЛА, вимірювання кутів азимута і місця, здійснення об'єктового контролю та, за необхідністю, пошук ЛА, розпізнавання і видачу команд для його керування.

**Ключові слова:** канал автоматичного супроводження літального апарату за напрямком, частотно-часовий метод вимірювання, літальний апарат.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одними з основних складових частин полігонного випробувального комплексу (ПВК) є системи траєкторних вимірювань (ТВ) та об'єктивного контролю (ОК).

Система ТВ на ПВК забезпечує отримання необхідних вимірювальних параметрів траєкторій ЛА, як об'єктів випробувань, у заданому просторовому об'ємі з заданою точністю та надійністю.

Система ОК на ПВК забезпечує максимально-достовірне відтворення в часі у вигляді «кінохроніки» з мовним супроводженням та синхронною індикацією параметричної інформації усіх подій, що мали місце при проведенні випробувань ЛА.

Взагалі траєкторні вимірювання забезпечують:

- визначення координат ЛА у заданих системах координат;
- визначення параметрів руху ЛА;
- визначення параметрів взаємного положення виробів та їхніх елементів під час розділення;
- визначення параметрів взаємного положення ЛА та мішеней (цілей) у районі зустрічі;
- визначення координат точок падіння ЛА.

Тому до складу системи ТВ входять:

- радіотехнічні системи (РТС) та радіолокаційні станції ТВ;
- технічні засоби ТВ, що використовують апаратуру споживачів супутникових навігаційних систем;
- автономні засоби визначення параметрів взаємного положення ракет і мішеней в районі зустрічі;

– оптико-електронні, телевізійні та оптичні засоби (ОЗ) ТВ;

– бортове обладнання, що забезпечує роботу засобів ТВ і тощо.

При цьому необхідний склад засобів ТВ і точність визначення параметрів траєкторії ЛА визначаються в кожному конкретному випадку, враховуючи тактико-технічні характеристики (ТТХ) ЛА.

Об'єктивний контроль практичного застосування зразків (комплексів, систем) озброєння і військової техніки на ПВК грає велику роль при проведенні досліджень, випробувань та навчань військ. Особливістю об'єктивного контролю на ПВК є максимальне виключення з усього циклу збору, реєстрації, обробки та представлення інформації людського фактору, що робить сам об'єктивний контроль оперативним та об'єктивним (незалежним від людського фактору) у межах існуючих похибок в реєстрації параметричної інформації і наявної збійності іншої інформації.

На даний час переважна більшість технічних засобів (РТС, ОЗ і тощо), які використовуються для полігонних випробувань ЛА (здійснення траєкторних вимірювань та об'єктивного контролю) потребує ремонту, модернізації або заміни сучасними зразками.

Траєкторні вимірювання ЛА з високою точністю забезпечують лазерні системи (ЛС). Тому одним з напрямків вдосконалення випробувальної бази ПВК є розробка пропозицій щодо створення сучасної багатофункціональної ЛІВС з ЧЧМ вимірювання [1, 2] для ПВК. Однак, при використанні понадзвукових діаграм спрямованості (ДС) лазерного випроміню-

нювання та здійснення кутового автосупроводження ЛА, що постійно маневрує гострою стає задача утримання РСН на ЛА.

Таким чином вирішення задачі підвищення стійкості кутового автосупроводження ЛА каналом АСН є актуальним.

**Аналіз останніх публікацій.** Аналіз ТТХ існуючої квантово-оптичної системи [3], яка знаходиться на Україні і експлуатуються космічним агентством вказує на наявність істотного недоліку – автосупроводження космічного апарату здійснюється за програмою. Відомі також:

– закордонні комбіновані РТС, які здійснюють автосупроводження ЛА за радіоканалом, а вимірювання похилої дальності до нього – лазерним каналом;

– вітчизняні розробки державного підприємства «НДІ «Квант» – ОЕС «Спринтер» та «Sens - 2», які здійснюють автосупроводження ЛА за допомогою інфрачервоного (ІЧ) та телевізійного каналів (ТК).

**Метою статті** є представлення результатів розробки наукових і науково-технічних пропозицій щодо підвищення стійкості каналу АСН до зриву автосупроводження ЛА для синтезу високоточної багатофункціональної ЛІВС полігонного випробувального комплексу, за умови використання ЧММ вимірювання та оптико-електронного модуля.

## Виклад основного матеріалу

Сумісне використання ЧММ вимірювання та оптико-електронного модуля (ТК + ІЧ каналу) дозволить побудувати стійкий до можливого зриву автосупроводження ЛА канал АСН, який може бути взятий за основу синтезу багатофункціональної ЛІВС. Це пов'язано з наступним.

По-перше, частотно-часовий метод вимірювання [2] принципово дозволяє вимірювати шість параметрів руху ЛА: кути азимута і міста, похилу дальність, радіальну і тангенціальну (кутові) швидкості у широкому діапазоні дальностей. Інформацію про кутові швидкості можливо використовувати як по прямому призначенню в мобільній багатофункціональній ЛІВС, так і для компенсації динамічної і флуктуаційної помилок фільтрації при кутовому автосупроводженні ЛА [4] в каналі АСН.

Також, за необхідністю можливо проводити детальне розпізнавання ЛА і його пошук у заданій області простору.

Запишемо умову стійкості каналу АСН (в одному напрямку (ОХ) сканування ДС лазерного випромінювання, рис. 1) як умову незриву автосупроводження ЛА [4]:

$$\beta_x \sigma_{\Sigma} = \Delta \theta_x / 2, \quad (1)$$

де показником якості незриву автосупроводження ЛА служить квантіль

$$\beta_x = \Delta \theta_x / (2\sigma_{\Sigma}); \quad (2)$$

$\sigma_{\Sigma}$  – сумарна помилка, яка складена з сумарної помилки оцінки сигналу, згладжених фонових шумів фотодетектору та динамічної помилки;  $\Delta \theta_x$  – кут відхилення ДС лазерного випромінювання від РСН (рис. 2).

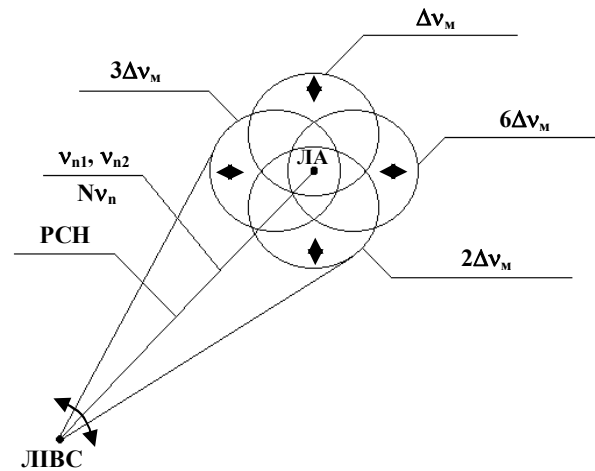


Рис. 1. Сканування сумарною ДС лазерного випромінювання і, окремо, чотирма ДС в двох ортогональних площинах

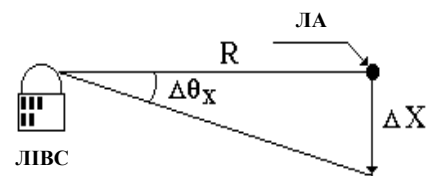


Рис. 2. Відхилення ДС лазерного випромінювання від РСН

Якщо врахувати результати вимірювання каналом тангенціальної швидкості (кутових швидкостей  $\dot{\theta}$ ) ЛА [4] ЛІВС в каналі АСН, то величина ( $\dot{\theta}$ ) стане відомою з більш високою точністю за допомогою модернізованої фільтрації за відомим методом Калмана-Бьюсі [5] і буде обумовлена середньоквадратичною помилкою (СКП –  $\sigma_{\dot{\theta}}$ ).

У цьому випадку умова незриву автосупроводження ЛА зберігається. Оскільки ( $\sigma_{\dot{\theta}}$ ) визначається відношенням сигнал/шум ( $q_{\dot{\theta}}$ ), то варто врахувати зміну рівня сигналу від дальності до ЛА. Тобто на будь-якій дальності  $R < R_{\max}$  рівень сигналу збільшиться у  $(R_{\max}/R)^4$  разів.

В існуючих системах така енергетична надмірність дозволяє сигналу істотно придушити флуктуаційні помилки. Тому на перший план виходять апаратні помилки систематичні і випадкові, які обумовлені стабільністю форми ДС лазерного випромінювання, точністю закону сканування 4-мя ДС, синхронізацією сканування ДС, законами нечутливості активних електронних приладів (виконавчі механізми), механічними люфтами, точністю юстирування, точністю датчиків кутових положень і тощо.

Таким чином в багатофункціональній ЛІВС сумарна СКП за рахунок зазначених чинників може бути на два-три порядки меншою, ніж ширина ДС лазерного випромінювання.

Проведені попередні розрахунки свідчать, що для зазначених умов можливо досягти високої стійкості кутового автосупроводження ЛА каналом АСН при використанні у модернізованому одномірному фільтрі Калмана-Бьюсі [4] інформації про кутову швидкість ЛА та отриманні результуючої зваженої оцінки  $\hat{\theta}_p$  кутової швидкості.

По-друге, оптико-електронний модуль (ТК і ІЧ канал) в багатофункціональній ЛІВС дозволяє здійснювати об'єктивний контроль в різні години доби під час проведення випробувань ЛА.

Інформацію у баченому та ІЧ діапазонах також можливо використовувати в каналі АСН для автоматичного захвату і супроводження ЛА за оптичним і тепловим контрастом, за умови різкої зміни траєкторії польоту (непередбаченому маневру) ЛА.

Таким чином структура каналу АСН представлена на рис. 3, яка складається з:

- керуючого елемента (КЕ),
- блока керування дефлекторами (БКД),
- лазеру з накачкою (Лн),

- модифікованого селектора подовжніх мод (МСПМ),
- модифікованого блока дефлекторів (МБД),
- передавальної оптики (ПРДО),
- приймальної оптики (ПРМО),
- фотодетектора (ФТД),
- ширококутового підсилювача (ШП),
- інформаційного блока з розширеними можливостями (ІБРМ),
- резонансних підсилювачів (РП), настроєних на відповідні частоти міжмодових биттів,
- детекторів (Дет),
- фільтрів (Ф),
- формувачів імпульсів (ФІ),
- тригерів („1”, „0”),
- схем „і” («І»),
- ліній затримки (ЛЗ),
- лічильників (Лч),
- цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП),
- фільтрів нижніх частот (ФНЧ),
- підсилювачів (фільтрів) сигналів похибки (ПСП),
- виконуючих механізмів (ВМ) по кутах азимута і місця,
- електронної обчислювальної машини (ЕОМ),
- оптико-електронного модуля (ОЕМ).

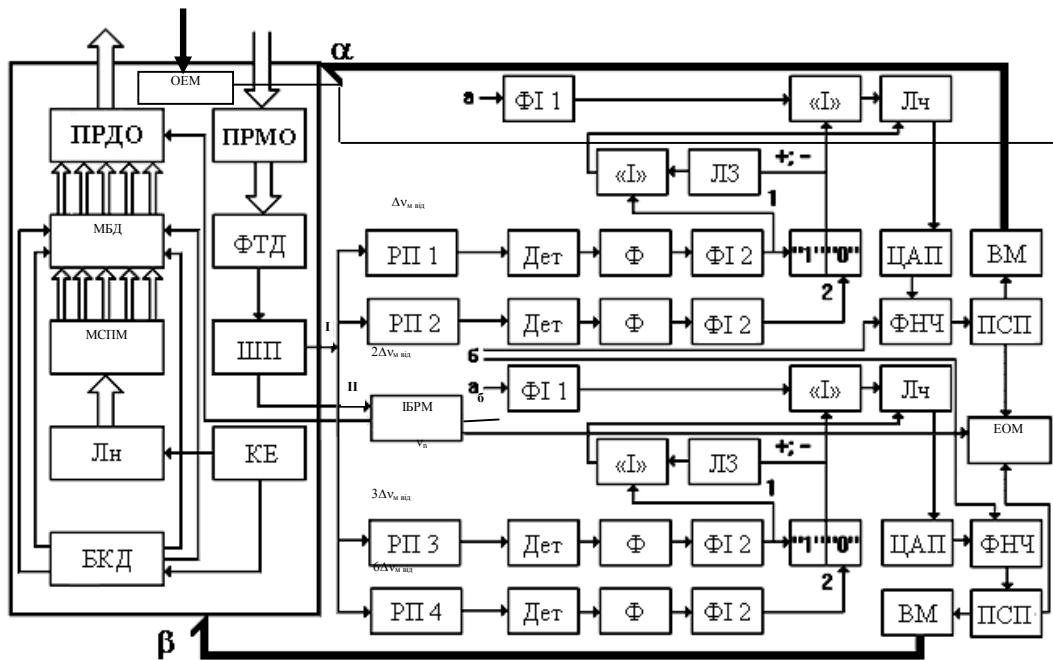


Рис. 3. Блок-схема каналу кутового автосупроводження ЛА за напрямком:  
та а – введення опорного сигналу з частотою  $\Delta\nu_m$  від передавального лазера,  
б – введення сигналу від каналу вимірювання тангенціальної швидкості (кутових швидкостей) ЛА

Принцип дії запропонованого каналу кутового автосупроводження ЛА полягає у наступному. Зі спектру випромінювання одномодового багаточастотного з синхронізацією подовжніх мод лазера-передавача (Лн) за допомогою МСПМ виділяються необхідні частоти та їх комбінації для створення:

- багатоканальної (N) передачі команд керування на ЛА, за умови використання сигналу з подовжніх мод (несучих частот  $\nu_n$ );
- лазерного сигналу з просторовою модуляцією поляризації, за умови використання сигналу з двох подовжніх мод (несучих частот  $\nu_{n1}, \nu_{n2}$ );

- РСН на основі формування сумарної ДС лазерного випромінювання, завдяки 4-х парціальних діаграм спрямованості, що частково перетинаються, за умови використання комбінацій подовжніх мод («підфарбованих» різницевиими частотами міжмодових биттів)

$$\Delta v_{54} = v_5 - v_4 = \Delta v_m;$$

$$\Delta v_{97} = v_9 - v_7 = 2\Delta v_m;$$

$$\Delta v_{63} = v_6 - v_3 = 3\Delta v_m;$$

$$\Delta v_{82} = v_8 - v_2 = 6\Delta v_m.$$

Груповий сигнал, складений з несучих частот  $v_n$ , минаючи МБД, потрапляє на ПРДО, де змішується (модулюється) з інформаційним сигналом від ІБРМ та формує багатоканальний (N) інформаційний сигнал, що передається для ЛА (рис. 1, 3).

За допомогою МСПМ та ІБРМ створюється лазерний сигнал з просторовою модуляцією поляризації шляхом створення лазерного випромінювання з двох несучих частот ( $v_{n1}$  та  $v_{n2}$ ) у вигляді двох променів з вертикальною ( $v_{n1}$ ) та горизонтальною ( $v_{n2}$ ) поляризацією (рис. 4).

При цьому випромінювання апертури першого і другого поляризаційних каналів в апертурній площині VOU рознесені на відомій відстані  $\Delta v_q$ .

Різниця ходу пучків до картинної площини ЛА XOY змінюється вдовж осі X від точки до точки. Обумовлена цією різницею фаз (амплітуд) між поляризованими компонентами, що ортогональні, поля у картинній площині також змінюється від точки до точки.

В залежності від різниці фаз (амплітуд) у картинній площині змінюється вигляд поляризації сумарного поля сигналу, що зондує від лінійної через еліптичну і циркулюючу до лінійної, ортогональної к початкової і т.д.

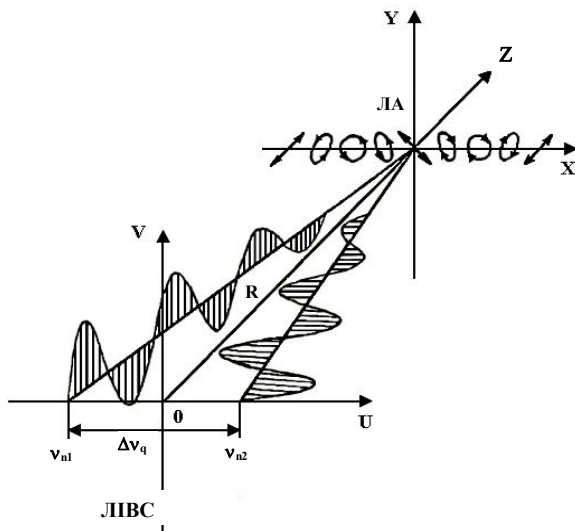


Рис. 4. Створення лазерного сигналу з просторовою модуляцією поляризації (вертикальною та горизонтальною)

Період зміни вигляду поляризації визначається базою між випромінювачами  $\Delta v_q$  та відстанню до картинної площини R.

Розподіл інтенсивності в реєстрованому зображенні ЛА промодульовано по гармонійному закону з коефіцієнтом модуляції, дорівнює значенню ступеня поляризації випромінювання, що відбито, в даній ділянці поверхні ЛА.

Водночас сигнал частот міжмодових биттів  $\Delta v_m$ ,  $2\Delta v_m$ ,  $3\Delta v_m$  та  $6\Delta v_m$  потрапляє на МБД, який створений з 4-х п'єзоелектричних дефлекторів. Парціальні ДС лазерного випромінювання попарно зустрічно сканують МБД у кожній з двох ортогональних площин (рис. 1, 3). Період сканування задається блоком керування дефлекторів, який разом з Лн живляться від керуючого елемента.

Проходячи через ПРДО, груповий лазерний імпульсний сигнал пар частот

$$v_5, v_4 = \Delta v_m;$$

$$v_9, v_7 = 2\Delta v_m;$$

$$v_6, v_3 = 3\Delta v_m;$$

$$v_8, v_2 = 6\Delta v_m$$

фокусується в скануємі точки простору, оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС лазерного випромінювання у кожній з двох ортогональних площин  $\alpha$  і  $\beta$  або X і Y.

При цьому інформаційний сигнал на частотах N  $v_n$  та сигнал з просторовою модуляцією поляризації на несучих частотах  $v_{n1}$ ,  $v_{n2}$  проходять вдовж РСН (рис. 1).

Прийняті ПРМО від ЛА інформаційні та, відбиті в процесі сканування чотирьох ДС, лазерні імпульсні сигнали і огинаючи сигнали ДС лазерного випромінювання за допомогою ФТД перетворюються в електричні імпульсні сигнали на несучій частоті і різницевиих частотах міжмодових биттів. Підсилені широкосмуговим підсилювачем вони розподіляються:

- в ІБРМ для обробки інформації, що приймається від ЛА та відбитого лазерного сигналу з просторовою модуляцією поляризації, що зондує, від його поверхні;

- по РП, які настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів  $\Delta v_m$ ,  $2\Delta v_m$ ,  $3\Delta v_m$ ,  $6\Delta v_m$ .

При цьому імпульсні сигнали радіочастоти, що надходять з РП  $\Delta v_m$  і РП  $2\Delta v_m$  формують сигнал похибки по куту  $\alpha$ , а РП  $3\Delta v_m$  і РП  $6\Delta v_m$  – по куту  $\beta$ .

При відбитті лазерного сигналу з просторовою модуляцією поляризації, що зондує, від поверхні ЛА, змінюються амплітудні і фазові співвідношення між ортогонально поляризаційними компонентами, параметри їх поляризаційні і, відповідно, комплексні коефіцієнти когерентності відбитого поля.

Просторовий розподіл поляризаційних характеристик такого відбитого сигналу по зміні контрасту модуляційної структури зображення несе також інформацію про типи матеріалів у складі поверхні ЛА, їх характеристики і тощо, що обробляються і відображається у ЕОМ. Тому у ІБРМ також здійснюється поляризаційна обробка поля, що приймається.

Формування сигналу похибки по куту  $\alpha$  полягає у наступному.

Введення імпульсного сигналу (а) з опорного каналу  $\Delta v_m$ , перетвореного ФІ1 у «пачки» опорних імпульсів на частоті  $\Delta v_{m\text{оп}}$ , надходить на схему «І».

Виділений і посилений імпульсний сигнал з РП  $\Delta v_m$  від частоти міжмодових биттів  $\Delta v_m$  від (рис. 5) детектується Дет у виді огинаючої сигналу, що змінюється за законом руху ДС лазерного випромінювання.

Після проходження Ф, перетворюється у ФІ2 у точках переходів періодів сканування в імпульси (один імпульс за період сканування) та надходить на тригер «1», перекидуючи його. У цей же час, виділений і посилений РП  $2\Delta v_m$  від імпульсний сигнал частоти міжмодових биттів  $2\Delta v_m$  від детектується, виділяючи огинаючу сигналу, що змінюється за таким же законом і, проходячи Ф, перетворюється у ФІ2 у точках переходів періодів коливань в імпульси (один імпульс за період сканування) та надходить на тригер «0», встановлюючи його у вихідний стан.

Задача виміру часового інтервалу в схемі «І» з заданою точністю полягає у встановленні критерію початку і кінця відліку часового інтервалу по визначених характеристиках значення імпульсних сигналів, що надходять на входи схеми «І».

У зв'язку з тим, що передній фронт імпульсу досить малий у порівнянні з дозволом, що вимагається за часом, характерними значеннями сигналу, що визначають начало і кінець відліку часового інтервалу є граничне значення  $U_n$  (порогова напруга) (рис. 5а).

Завдяки періодичному за цикл сканування відкриттю і закриттю тригером схеми «І», регулюється проходження імпульсів у схемі «І» від ФІ1, тобто відбувається виділення «пачок» імпульсів, число яких пропорційно куту відхилення ЛА від РСН (рис. 2).

Підраховані лічильником імпульси перетворюються ЦАП в аналоговий сигнал похибки з необхідним знаком, що зміщується у фільтрі нижніх частот з імпульсним сигналом від каналу кутових швидкостей ЛА (б) ЛІВС для уточнення похибки збігу по кутах.

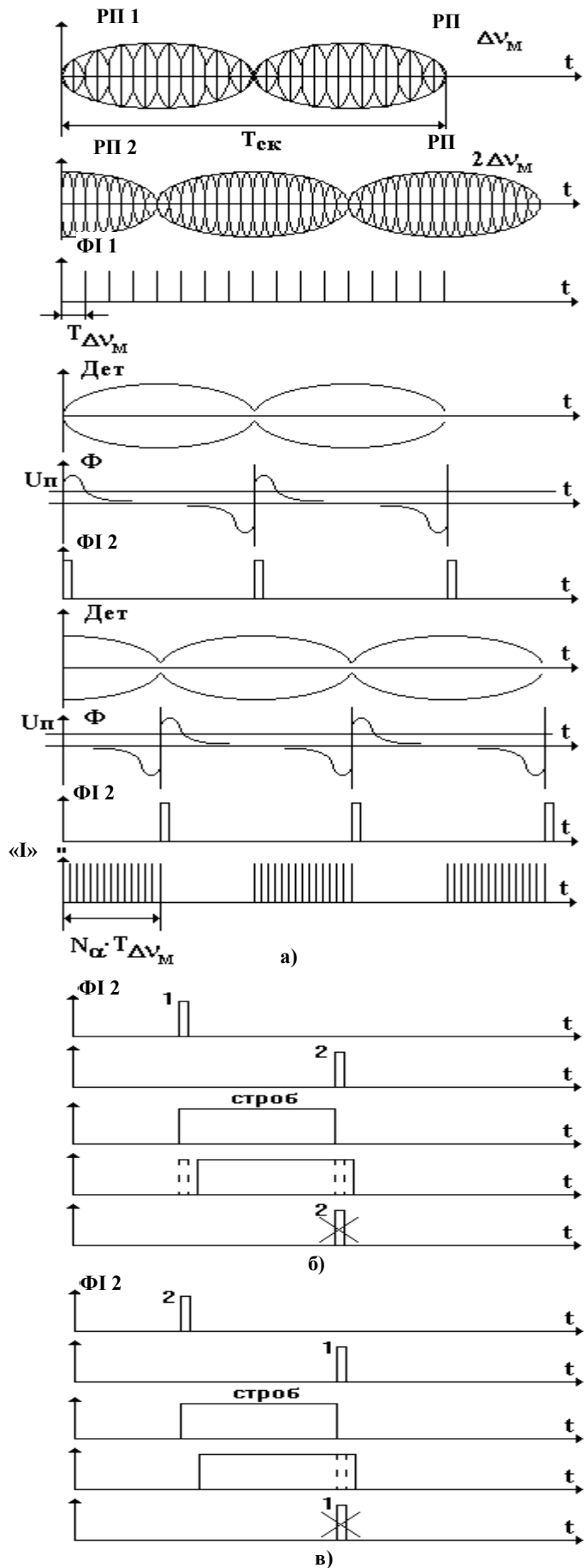


Рис. 5. Епюри напруг з виходів блоків

Завдяки обліку виміральної інформації від каналу кутових швидкостей ( $\beta$ ) у фільтрі нижніх частот усуваються динамічна і флуктуаційна похибки фільтрації.

Отриманий сигнал, відфільтрований у ФНЧ і посилений підсилювачем сигналу похибки, відпрацьовується за допомогою виконавчого механізму ( $\alpha$ ), надходить від ПСП $_{\alpha}$  на вхід ЕОМ та виділяється в ній у вигляді числа, пропорційного вимірюваному куту азимута  $\alpha$ .

Якщо ЛА знаходиться вище РСН, то на схему «І» першим надходить імпульс з ФІ2 міжмодової частоти  $\Delta v_{m \text{ від}}$ , а на Тр надходить другим імпульс з ФІ2 міжмодової частоти  $2\Delta v_{m \text{ від}}$  (рис. 3, 5, б, в). На схему «І» від Тр подається строб, тривалість якого пропорційна відхиленню ЛА від РСН. Цей часовий інтервал вимірюється методом рахунка імпульсів частоти міжмодових биттів  $\Delta v_m$ .

Оскільки тривалість строба залежить лише від величини відхилення ЛА від РСН, а не від сторони відхилення, працює схема визначення полярності сигналу похибки («+» або «-»).

Якщо ЛА буде розташований нижче РСН, то першим надійде імпульс від ФІ2 з каналу  $2\Delta v_{m \text{ від}}$ , а другим – з каналу  $\Delta v_{m \text{ від}}$ .

Визначення знаку «+» або «-», або сторони відхилення ЛА від РСН полягає у наступному.

Якщо ЛА знаходиться вище РСН, то імпульс 1 від каналу  $\Delta v_{m \text{ від}}$  випереджає імпульс 2 каналу  $2\Delta v_{m \text{ від}}$  (фіг. 3, 5, б). Оскільки строб від тригера затримується на час, що перевищує тривалість імпульсу 1 (або 2), то схема збігів «І» не спрацьовує, тому що імпульс 1 не збігається в часі з даним стробом. Знак сигналу похибки по куту  $\alpha$  залишається позитивним («+»).

Якщо ЛА знаходиться нижче РСН, то імпульс 1 відстає від імпульсу 2, тому він збігається у часі зі стробом (рис. 5 в). Схема «І» спрацьовує і змінює знак («-» або полярність) напруги сигналу похибки по куту  $\alpha$ . Імпульс зі схеми «І» подається на знаковий розряд Лч імпульсів з частотою  $\Delta v_m$ . Число імпульсів у лічильнику пропорційно куту відхилення  $\alpha$  від РСН.

Форматування сигналу похибки по куту  $\beta$  відбувається таким же чином, як для сигналу похибки по куту  $\alpha$ .

Вимірвальні механізми по кутах азимута і місця ( $ВМ_{\alpha}$  і  $ВМ_{\beta}$ ) розвертають приймально-передавальну платформу таким чином, щоб ЛА знаходився на РСН запропонованого каналу АСН, тобто на РСН сумарної ДС лазерного випромінювання.

Відображення інформації, що приймається (передається) від ЛА та обробка (вимірювання) кутів азимута  $\alpha$  і місця  $\beta$  відбувається у ЕОМ.

Для збереження інформації, яка оброблена під час проведення випробувань ЛА, в пам'яті ЕОМ використовується база даних – сукупність взаємопов'язаних даних, організованих у відповідності до схеми даних таким чином, щоб з ними міг працювати користувач.

Підвищення швидкості обробки інформації, яка поступає на ЕОМ здійснюється за рахунок використання методів та моделей паралельної часу-параметризованої обробки даних.

Вимірвальна інформація про тангенціальну швидкість  $U_t$  (кутові швидкості) ЛА від каналу вимірювання кутових швидкостей використовується в ІБРМ. Завдяки додатковій обробці елементів поляризаційної матриці розсіяння ЛА від отриманого поляризаційного поля (суми сигналів різної поляризації) забезпечується точне значення кутових швидкостей ЛА, розширюється набір ознак його розпізнавання, підвищується ефективність та скорочується час на розпізнавання ЛА, що супроводжується каналом АСН.

Кількість каналів ( $N$ ) передачі команд керування на ЛА залежить від кількості продольних мод (несучих частот  $\nu_n$ ), які мають необхідні вихідні характеристики у спектрі лазерного випромінювання для їх використання.

За необхідністю, можливо здійснювати виявлення ЛА у заданій точці простору. В цьому випадку, сумарна ДС лазерного випромінювання, складена у вигляді групового сигналу, сканується за допомогою модифікованого блоку дефлекторів, де кут та напрямок відхилення сумарної ДС задається блоком керування дефлекторів.

Оптико-електронний модуль за допомогою баченого та ІЧ діапазонів здійснює об'єктивний контроль та, за необхідністю використовує отриману інформацію для стійкого автосупроводження ЛА каналом АСН.

Кутове відхилення ЛА від РСН можливо розрахувати за формулою:

$$\theta_x = \frac{U_{л}}{R} \cdot \frac{\Delta T}{2}, \quad (3)$$

де  $U_{л} = R \cdot \omega_{ск}$  – швидкість руху ДС лазерного випромінювання в одному каналі;

$\omega_{ск}$  – частота сканування ДС лазерного випромінювання в одному каналі;

$\Delta T$  – час заміру руху ДС лазерного випромінювання в одному каналі за один прохід;

Дисперсія оцінки кутового разузгодження огинаючих пачок імпульсів частот міжмодових биттів розраховується за формулою:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\Delta \theta_x^2}{4 \cdot T_{ск}^2} \cdot \sigma_{\Delta T}^2 = \frac{e}{8} \cdot \frac{\Delta \theta_x^2}{q}, \quad (4)$$

де  $T_{ск}$  – час сканування ДС.

## Висновки

Таким чином, розроблено математичний апарат та практичні рекомендації щодо побудови стійкого каналу АСН для синтезу мобільної багатofункціональної ЛІВС ПВК.

Підвищення стійкості кутового автосупроводження ЛА каналом АСН здійснюється за рахунок використання ЧЧМ вимірювання, вузькополосної фільтрації за модернізованим методом Калман-Бьюсі та ширококутного оптико-електронного модуля.

Канал АСН дозволить одночасно при стійкому кутовому автосупроводженні ЛА таке:

- вимірювати кути азимута і місця,
- передавати команди керування на ЛА,
- здійснювати об'єктивний контроль і збереження інформації, яка оброблена під час проведення випробувань ЛА,
- за необхідністю, виявлення ЛА і його розпізнавання.

## Список літератури

1. Информационные технологии и системы в управлении, образовании, науке [Монография] / А.В. Коломийцев и др. Под ред. В.С. Пономаренко. – Х.: Цифрова друкарня № 1, 2013. – 278 с.

2. Патент на корисну модель № 55645, Україна, МПК G01 S 17/42, G01 S 17/66. Частотно-часовий метод пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату / О.В. Коломийцев – № u201005225; заяв. 29.04.2010; опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24. – 14 с.

3. Полігонні лазерні та оптико-електронні вимірювальні засоби [Конспект лекцій. Частина II] / [С.В. Тюрін, І.С. Шостко та ін.] – Х.: ХВУ, 1998. – 174 с.

4. Распознавание радиолокационных целей по сигнальной информации [Моногр.] / Е.Л. Казаков, А.В. Коломийцев и др. Под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП «Городская типография». 2010. – 232 с.

5. Коростелев А.А. Пространственно-временная теория радиосистем: Учеб. пособие для вузов / А.А. Коростелев. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.

Надійшла до редколегії 30.05.2013

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

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УГЛОВОГО АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

А.В. Коломийцев, С.И. Клевцев, А.С. Петренко, Д.В. Руденко

Предложен канал углового автоматического сопровождения летательного аппарата (ЛА) по направлению (АСН) для структуры мобильной многофункциональной лазерной информационно-измерительной системы, которая предназначена для использования на полигонном испытательном комплексе. Основой построения устойчивого канала является использование частотно-временного метода поиска, распознавания и измерения параметров движения ЛА, оптико-электронного модуля (телевизионной камеры и инфракрасного канала) и прямых измерений тангенциальной скорости (угловых скоростей) ЛА. Информация об угловых скоростях ЛА позволяет компенсировать динамическую и флуктуационную ошибки фильтрации. Дополнительная информация о ЛА от широкоугольного оптико-электронного модуля позволяет содержать равносигнальное направление на ЛА, при условии резкого изменения траектории его полета. Представленные результаты оценки точностных характеристик канала АСН и схематехнические решения его построения. Раскрыта сущность повышения стойкости углового автосопровождения ЛА, измерения углов азимута и места, осуществления объектового контроля и, при необходимости, поиск ЛА, распознавание и выдачу команд для его управления.

**Ключевые слова:** канал автоматического сопровождения летательного аппарата по направлению, частотно-временной метод измерения, летательный аппарат.

## INCREASE OF STABILITY OF ANGULAR AUTOACCOMPANIMENT OF AIRCRAFT IN MULTIFUNCTION LASER TO INFORMATIVELY-MEASURING SYSTEM

O.V. Kolomitsev, S.I. Klivets, O.S. Petrenko, D.V. Rydenko

The channel of the angular automatic tracking of aircraft (A) is offered to direction (ATD) for the structure of the mobile multifunction laser informatively-measuring system that is intended for the use on a ground proof-of-concept complex. Basis of construction of steady channel is the use of frequency-temporal method of search, recognition and measuring of parameters of motion of A, optical-electronic module (televisional chamber and infra-red channel) and direct measuring of tangential speed (angulators) of A. Information about the angulators of A allows to compensate dynamic and fluctuation errors of filtration. Additional information about A from the wide-angle optical-electronic module allows to contain equally alarm direction on A, on condition of dramatic change of trajectory of his flight. Presented results of estimation of exactness descriptions of channel of ATD and chart - technical decisions of his construction. Exposed essence of increase of firmness of angular autoaccompaniment of A, goniometry of azimuth and place, realization of objective control and, if necessary, search of A, recognition and delivery of commands for his management.

**Keywords:** channel of the automatic tracking of aircraft to direction, frequency-temporal method of measuring, aircraft.