

Інформаційні технології в технічних системах

УДК 681.51

Г.В. Альошин¹, О.В. Коломійцев², В.В. Посохов³

¹ Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

³ Національна академія Національної гвардії України, Харків

ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЛАЗЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

Запропонована селекція подовжніх мод лазера-передавача для багатофункціональної лазерної системи контролю і управління літальним апаратом (ЛА) та їх використання для суміщення інформаційних і шести вимірювальних каналів, які забезпечують високу точність вимірювання параметрів руху (ВПР) ЛА за рахунок взаємозв'язку параметрів, що вимірюються, нових принципів використання високої стабільності частот міжмодових биттів (МБ) лазерного випромінювання (ЛВ), частотно-часового методу (ЧЧМ) вимірювання, методів «підкрашування» різними частотами МБ і сканування динамічними діаграмами спрямованості (ДС) ЛВ.

Ключові слова: багатофункціональна лазерна система, літальний апарат, суміщення каналів, продовжені моди, точність вимірювання параметрів руху.

Вступ

Постановка проблеми. Концентрація енергії у ЛВ, стабільність частот, що випромінюються дозволяють створити більш багатофункціональну ЛС, компактну та з високою точністю ВПР ЛА, ніж системи радіодіапазону.

Однак, для цього треба подолати наступні науково-технічні проблеми: електромагнітної сумісності багатьох вимірювальних (за параметрами руху ЛА) та інформаційного каналів; підвищення точності вимірювання похилої дальності (відстані) до ЛА; підвищення точності вимірювання швидкості (радіальної) ЛА; підвищення точності вимірювання кутів азимута і місця ЛА; підвищення точності вимірювання кутових швидкостей ЛА; підвищення стійкості і точності автоматичного супроводження ЛА при сумісній обробці параметрів його руху, а також їх похідних за фільтрацією; підвищення ефективності передачі інформаційних каналів тощо.

При подоланні цих проблем багатофункціональна (однопунктна) ЛС отримує ряд переваг перед існуючими системами радіо і оптичного діапазонів довжин хвиль: висока точність вимірювання шести параметрів руху (траекторні вимірювання) ЛА (також за рахунок використання їх взаємозв'язку); висока стійкість кутового автоматичного супроводження ЛА за напрямком (АСН); висока швидкість передачі ін-

формації на ЛА; об'єктивний контроль ЛА у денних і нічних умовах та, за необхідністю, його розпізнавання; обробка, збереження, відображення та передача інформації, що отримується під час проведення випробувань ЛА; висока економічна ефективність; висока точність геодезичної прив'язки; висока точність прив'язки до системи єдиного часу; високі надійність, мобільність тощо.

Таким чином, суміщення та селекція каналів (інформаційного і вимірювальних) багатофункціональної ЛС контролю і управління ЛА за рахунок використання подовжніх мод і частот міжмодових биттів ЛВ, а також розширення функціональних можливостей системи у денний і нічний час доби є актуальною науково-технічною проблемою.

Аналіз літератури. Аналіз існуючих робіт, які присвячені питанням підвищення точності ВПР ЛА, свідчить про те, що сучасні високоточні ЛС широко використовуються в усіх галузях науки і техніки, але досі обмежені у кількості ВПР, а також автоматичне супроводження ЛА досить здійснюється за допомогою додаткової інформації від радіотехнічних або оптичних систем.

Мета статті. Розробка шляхів подолання проблеми створення багатофункціональної ЛС контролю і управління ЛА та пропозицій щодо використання селекції подовжніх мод лазера-передавача системи для суміщення інформаційних і шести вимірювальних каналів.

Основний матеріал

Багатофункціональність радіотехнічних систем (РТС) досягається використанням відповідного числа каналів, які виконують свої функції та застосуванням окремих ортогональних або суміщених сигналів. Завдяки цьому РТС обходиться тільки однією сукупністю антено-передавальних та приймальних пристроїв, що дуже економічно, за зрівнянням з сукупністю однофункціональних систем, потребує лише однієї геодезичної прив'язки і дає можливість взаємно зв'язувати вимірювальні параметри руху ЛА. Такими якостями частково володіють, наприклад, супутникові системи зв'язку з неекваторіальними орбітами.

На відміну від РТС, вимірювальні ЛС, які працюють з динамічними ЛА, мають обмежену можливість передачі декількох різномірних каналів в одному ЛВ, оскільки можлива лише амплітудна і поляризаційна модуляція сигналу. Навіть для декількох інформаційних каналів можливий лише часовий розподіл сигналів з синхронізацією у загальній смузі в одиницю Гігабайтів, хоча стаціонарний лазер може мати хвильову мультиплікацію до 40 Гб.

Шляхи подолання проблеми створення багатофункціональної ЛС контролю і управління ЛА.

Проблему електромагнітної сумісності в багатофункціональній ЛС пропонується вирішувати за допомогою частотної селекції каналів, тому що у спектрі одномодового багаточастотного лазера-передавача вже є набір подовжніх мод (частот). Причому рознесення цих частот, яке зветься міжмодовими биттями, достатньо велике для доброї селекції. Тому, з виходу лазера-передавача системи за допомогою модифікованого селектора подовжніх мод [1] виділяються зі спектра необхідні подовжні моди, різниця частоти яких відповідає кожному з каналів (рис. 1).

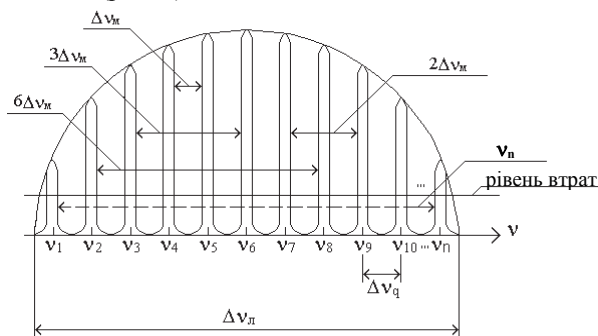


Рис. 1. Виділення зі спектра одномодового багаточастотного із синхронізацією подовжніх мод ЛВ подовжніх мод

При цьому розширюються можливості системи для будь-якої модуляції інформаційного (телеметричного) каналу модуляцією подовжньої моди, для

«підкрашування» (розпізнавання) каналу з рухомими ДС ЛВ, для зрівняння доплерівської міжмодової частоти з такою ж опорною. Причому набір опорних частот береться з того ж лазера-передавача.

Дві пари парціальних ДС ЛВ («підкрашені» різницею частотами МБ) рухаються у двох ортогональних площинах, для яких використовуються комбінації частот продовжніх мод (рис. 2):

$$\Delta v_{54} = v_5 - v_4 = \Delta v_M, \quad \Delta v_{97} = v_9 - v_7 = 2\Delta v_M,$$

$$\Delta v_{63} = v_6 - v_3 = 3\Delta v_M, \quad \Delta v_{82} = v_8 - v_2 = 6\Delta v_M.$$

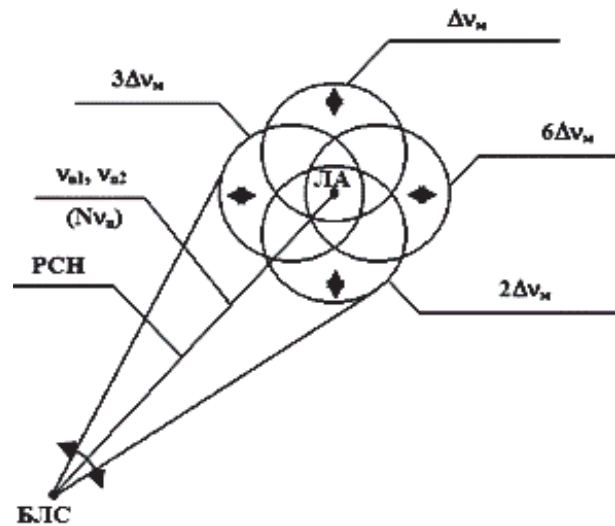


Рис. 2. Сканування чотирма парціальними ДС ЛВ у двох ортогональних площинах та сумарною ДС ЛВ

Лазерні сигнали N інформаційних каналів для зв'язку з ЛА використовують окремі несучі частоти (подовжні моди).

Таким чином, кожний просторовий вимірювальний канал багатофункціональної ЛС створюється незалежно парою подовжніх мод та відрізняється різницею оптичних несучих, тобто міжмодовими биттями, якими можна також «підкрашувати» динамічні за кутами канали. Це дозволяє створити селекцію каналів і використати ЧЧМ вимірювання кутів та швидкостей ЛА [2].

Діаграми спрямованості ЛВ рухаються в кожній з двох ортогональних площин за кутами азимута α і місця β періодично назустріч і навпаки та зміщуються на півширини ДС ЛВ. Для їх руху використовується модифікований блок дефлекторів на передавальному кінці оптичної лінії.

Оскільки динамічні ДС ЛВ незалежні, інформаційний сигнал на несучих частотах Nv_n та лазерні сигнали з модуляцією поляризації (v_{n1}, v_{n2}), що необхідні для розпізнавання ЛА, проходять у вздовж рівносигнального напрямку (РСН).

Для рішення проблеми підвищення точності вимірювання похилої дальності до ЛА на старті можуть застосовуватись широкі можливості комбіна-

цій частот міжмодових биттів для формування потрібного набору гармонік, які необхідні для фазового багатоскальованого методу вимірювання з використанням більш завадостійкої їх вузькосмугової фільтрації і точних цифрових методів вимірювання. У якості опорних частот використовуються ті ж гармоніки безпосередньо з лазера-передавача (або традиційні методи модуляції).

Проблему вимірювання радіальної швидкості ЛА доцільно вирішувати за ефектом Доплера та за методом цифрового підрахунку частоти на оптимальному вимірювальному інтервалі часу на великих відстанях. Але здвиг частоти на оптичній несучій може змінюватись у широкому діапазоні. Тому смугу фільтрації після фотодетектора (ФТД) системи треба брати великою, що не покращує завадостійкість, або для вузькосмугового каналу підвищувати час пошуку сигналу фазовою автоматичною підстроюкою частоти (ФАПЧ). Підбором оптимальних зондуючих частот міжмодових биттів можна підвищити якість вимірювання радіальної швидкості ЛА.

Проблему підвищення точності вимірювання кутів азимута і місця ЛА доцільно вирішувати наступним чином. Зустрічне сканування пар парціальних ДС ЛВ в кожній з двох ортогональних площин, забезпечує на приймальній стороні багатифункціональної ЛС можливість вимірювання кутів азимута і місця за рахунок зрівняння здвигів періодів огинаючих різницею частот міжмодових биттів за один повний прохід ДС ЛВ у прямому та зворотному напрямку сканування. Часову тривалість різниці здвигів періодів огинаючих сканування ДС ЛВ раціонально вимірювати методом заповнення цього інтервалу еталонними імпульсами, що формовані, наприклад, з першої частоти міжмодових биттів. Це дає можливість обчислювати половину і знак різниці здвигу огинаючих періодів (пульсацій) та формувати сигнали похибки за двома вісями координат (перестроювати РСН за допомогою дефлекторів) і визначати кути азимута α і місця β ЛА каналом АСН.

Точність оцінки кутового положення ЛА відносно РСН залежить від крутизни пульсацій міжмодових биттів, від завад та від похибки дискретності.

Виконавчі механізми за кутами повертають приймально-передавальну платформу багатифункціональної ЛС таким чином, щоб ЛА знаходився на РСН чотирьох парціальних ДС ЛВ.

Цифрові дані вимірювань, отримані від всіх параметрів руху ЛА, дають змогу їх обробки у єдиної обчислювальної машині системи.

Точність вимірювання кутів азимута і місця ЛА тим вище, чим крутіше дискримінаційна крива. Максимальне значення крутизни дискримінатора обирається з залежності рівня сигналу (ДС ЛВ) від часу:

$$G(\theta) = G_0 \cdot \exp\left\{\frac{-\theta^2(t)}{2\Delta\theta_x^2}\right\} = G_0 \cdot \exp\left[-\frac{k^2 t^2}{2\Delta\theta_x^2}\right], \quad (1)$$

де $k = \frac{2\Delta\theta_x}{T_{\text{СК}}}$ – швидкість сканування ДС ЛВ;

$\Delta\theta_x = \frac{k \cdot T_{\text{СК}}}{2}$ – ширина ДС ЛВ; $T_{\text{СК}}$ – час сканування ДС ЛВ; G_0 – максимальний рівень сигналу;

$\theta_{\text{max}} = \frac{\Delta\theta_x}{2}$ – максимальний кут сканування ДС ЛВ (відхилення від РСН).

Перша похідна у часі від виразу (1) відповідає крутизни дискримінатора:

$$G'_t(t) = \frac{dG}{dt} = G_0 \cdot \exp\left(-\frac{k^2 t^2}{2\Delta\theta_x^2}\right) \cdot \left(-\frac{2k^2 t}{2\Delta\theta_x^2}\right). \quad (2)$$

Оптимальне значення розузгодження $\Delta\theta_{\text{opt}}$ за одним з кутів, при якому крутизна найбільша, дорівнює половині ДС ЛВ ($\Delta\theta_x$): $\Delta\theta_{\text{opt}} = k \cdot t_{\text{max}} = \Delta\theta_x$.

$$\text{за час } t_{\text{max } G'} = \frac{\Delta\theta_x}{k} = \frac{\Delta\theta_x \cdot T_{\text{СК}}}{2\Delta\theta_x} = \frac{T_{\text{СК}}}{2}.$$

Відносний рівень сигналу при такому розузгодженні дорівнює:

$$\frac{G}{G_0} = e^{-\frac{k^2 \cdot T_{\text{СК}}^2}{4 \cdot 2\Delta\theta_x^2}} = e^{-\frac{\Delta\theta_x}{2\Delta\theta_x^2}} = e^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{e}}. \quad (3)$$

Максимальна крутизна дискримінаційної характеристики:

$$G' = G_0 \cdot \exp\left(-\frac{k^2 T_{\text{СК}}^2}{4 \cdot 2\Delta\theta_x^2}\right) \cdot \left(-\frac{2k^2}{2\Delta\theta_x^2} \cdot \frac{T_{\text{СК}}}{2}\right) = -\frac{G_0 k}{\Delta\theta_x} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\right), \quad (4)$$

де $U_c = U_m \cdot G_0 \Rightarrow U'_c = U_m \cdot G'_0$; U_c – огинаюча сигнал; U_m – максимальне значення огинаючої.

Середньоквадратична похибка (СКП) часу розузгодження між періодами огинаючих:

$$\sigma_{t_1}^2 = \frac{\sigma_{\text{ш}}^2}{(U_{\Delta\theta_x}^1)^2} = \frac{\sigma_{\text{ш}}^2}{U_{\text{max}}^2 \frac{1}{e} \left(\frac{G_0 k}{\Delta\theta_x}\right)^2} = \frac{e \cdot \Delta\theta_x^2}{q \cdot k^2}, \quad (5)$$

де $q = \frac{(U_m G_0)^2}{\sigma_{\text{ш}}^2}$ – відношення сигнал/шум за потужністю; $\sigma_{\text{ш}}^2$ – шуми ФТД.

СКП оцінки положення 2-х фронтів:

$$\sigma_{\Delta\Gamma}^2 = \frac{e}{2q} \cdot \left(\frac{2\Delta\theta_x}{k}\right)^2 = 2e \cdot \frac{\Delta\theta_x^2}{q \cdot k^2}. \quad (6)$$

СКП кута відхилення ДС ЛВ від РСН:

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

Для випадків, коли потребується пошук сигналу в широкому апріорному діапазоні кутів, він реалізується перестроюкою (багатоскальним методом).

Проблема підвищення точності вимірювання кутової швидкості ЛА багатофункціональною ЛС вирішується наступним чином. Оскільки високі кутові швидкості при супроводженні сучасних ЛА потребують високих темпів оновлення інформації, які становляться недосяжними для вузької ДС ЛВ системи за причиною зриву супроводження ЛА, то проблема вирішується підвищеними вимогами до високій ймовірності утримання РСН на ЛА, за рахунок підвищення поля зору ЛВ, або підвищенням точності супроводження ЛА за рахунок використання вимірювання його кутової швидкості. Підвищення надійності і точності супроводження ЛА доцільно здійснювати за двома факторами: звуженням ДС ЛВ, тобто підвищенням енергетичного потенціалу та використанням інформації про кутову швидкість. Для цього потрібно застосувати поданий прямий метод вимірювання кутових швидкостей ЛА [3].

Треба відмітити, що в звичайних вимірювальних системах радіо і оптичного діапазонів хвиль безпосереднє вимірювання кутових швидкостей ЛА невідоме. Однак, далі поданий такий можливий принцип [3] за рахунок зустрічного сканування парами ДС ЛВ в двох ортогональних площинах.

Головна ідея полягає у тому, що напівперіоди огинаючої ДС ЛВ відбитого сигналу міжмодових биттів від ЛА, що співпадає з напрямком руху ДС ЛВ, мають більшу довжину, а при зворотному русі (не співпадаючому з рухом ЛА) – більш коротше. Різниця довжини напівперіодів огинаючої пропорціональна тангенціальній швидкості руху ЛА:

$$V_{\tau} = \frac{V_{\text{л}}}{2} \cdot \frac{\Delta T_{\text{р}}}{T_{\text{СК}}}, \quad (8)$$

де $\Delta T_{\text{р}}$ – результуючий час (різниця часових інтервалів); $V_{\text{л}}$ – швидкість сканування ДС ЛВ.

Для стабільних $V_{\text{л}}$ та $T_{\text{СК}}$ СКП V_{τ} :

$$\sigma_{V_{\tau}}^2 = \frac{V_{\text{л}}^2}{4T_{\text{СК}}^2} \sigma_{\Delta T}^2. \quad (9)$$

Оцінки вимірювань тангенціальної швидкості ЛА та дисперсії похибки у двох площинах ідентичні, але вимірювання здійснюється на своїх частотах міжмодових биттів. Для того, щоб виключити залежність від дальності, можна взяти від автоматичного регулювання підсилення у якості порога половину пікової напруги та використовувати її для порога виявлення міжмодових биттів.

Вирішення проблеми підвищення стійкості і точності супроводження ЛА багатофункціональною ЛС полягає у наступному. В системі принципово можливо врахувати не тільки прямі оцінки шістьох

параметрів руху ЛА, але і їх уточнення за рахунок використання взаємозв'язків параметрів руху та їх похідних. Більше того, при звуженні ДС ЛВ та при відповідному збільшенню енергетичного потенціалу, визначення кутових швидкостей є пріоритетним, для чого потрібне підвищення стійкості та точності супроводження ЛА за напрямком. Підвищення енергетичного потенціалу і забезпечення потрібної точності супроводження ЛА можливо за допомогою звуження смуги пропускання за рахунок застосування фільтра Калмана-Бьюсі.

Звужуючи таким чином смугу пропускання каналу АСН за рахунок фільтрації і за рахунок слідкування, можна підвищити точність і надійність слідкування каналу АСН, тим самим підняти енергетичний потенціал системи, тобто підвищити дальність дії і точність вимірювання за іншими параметрами.

Оцінка стійкості каналу АСН здійснюється ймовірністю зриву супроводження ЛА за напрямком, або підвищенням відповідного квантіля для випадку простішої одномірної фільтрації для центрованого процесу за методом Калмана-Бьюсі, який враховує результати вимірювань похідних параметру. Застосування вузькосмугових фільтрів призводить до підвищення часу кореляції і дає змогу точніше прогнозувати процес.

Таким чином, застосування методу вимірювання тангенціальної (кутової) швидкості ЛА дозволяє використовувати результати вимірювань в каналі АСН, практично вилучити динамічну і флуктуаційну похибки, а також підвищити відношення сигнал/шум. У зв'язку цим доповнений одномірний фільтр Калмана-Бьюсі для центрованих процесів [4] введенням C з різницевим блоком – для віднімання прогнозованого значення динамічної похибки; блоком формування результуючої оцінки кутової швидкості A зі вхідним зв'язком B – введенням вимірювальної інформації від каналу кутової швидкості.

Модернізований одномірний фільтр Калмана-Бьюсі для центрованих процесів, що пропонується для структури каналу АСН, може бути використаний у якості фільтра нижніх частот (ФНЧ). Диференціальне рівняння фільтру для оцінки сигналу на виході модернізованого фільтра Калмана-Бьюсі:

$$\frac{d\hat{\epsilon}_p(t)}{dt} = a(t)\hat{\epsilon}(t) + \hat{\epsilon}_{\text{пв}} + b(t)[(y(t) - \delta\hat{\theta}) - \hat{\epsilon}(t)], \quad (10)$$

де інтенсивність білого шуму на вході формуючого фільтра, який входить у фільтр каналу АСН, визначається змінним ваговим коефіцієнтом передачі вхідного каскаду підсилювача $b(t)$; $a(t)$ – змінний коефіцієнт передачі підсилювача формуючого фільтру; $\hat{\epsilon}_{\text{пв}}$ – оцінка прямих вимірювань кутової швидкості ЛА від каналу вимірювання кутової швидко-

сті, яка необхідна для уточнення вимірювання θ ;
 $\varepsilon(t) = \hat{\theta}(t) - \theta(t)$ – похибка фільтрації.

Результуюча зважена оцінка $\hat{\theta}_p$ знаходиться з розподілу ймовірності зваженої оцінки:

$$p(\hat{\theta}_p) = p(\hat{\theta}_{K-B}) \cdot p(\hat{\theta}_{ПВ}), \quad (11)$$

де $\hat{\theta}_{K-B}$ – оцінка кутової швидкості ЛА фільтром Калмана-Бьюсі.

З рівності коефіцієнтів при $\hat{\theta}_p^2$:

$$\sigma_p^{-2} = \sigma_{K-B}^{-2} + \sigma_{ПВ}^{-2}. \quad (12)$$

Отже, результуюча зважена оцінка дорівнює:

$$\hat{\theta}_p = \frac{\sigma_{K-B}^{-2}}{\sigma_p^{-2}} \cdot \hat{\theta}_{K-B} + \frac{\sigma_{ПВ}^{-2}}{\sigma_p^{-2}} \cdot \hat{\theta}_{ПВ}. \quad (13)$$

Оцінка стійкості каналу АСН визначається передаточною функцією:

$$W(p) = \frac{bW_1(p)}{1 + bW_1(p)}, \quad (14)$$

де $W_1(p) = \frac{b}{p-a}$ – передаточна функція формулюючого фільтра.

Тоді:

$$W(p) = \frac{b/(p-a)}{1 + b/(p-a)} = \frac{b}{p + b - a}. \quad (15)$$

Модернізований одномірний фільтр Калмана-Бьюсі для центрованого процесу буде стійкий за критерієм Раussa-Гурвіця, якщо характеристичний поліном матиме позитивні коефіцієнти, при яких перехідні процеси затухають. Тобто, фільтр стійкий завжди, якщо виконується умова: $1 > b - a > 0$.

Зважаючи на стаціонарність та незалежність сигналу і фонових шумів ФТД багатофункціональної ЛС, результуюча СКП σ_p^2 оцінки сигналу дорівнює сумі СКП σ_θ^2 вихідного сигналу (оцінки), обумовленої неточним відпрацюванням каналом АСН та СКП σ_n^2 згладжених фонових шумів на виході самого модернізованого фільтра:

$$\sigma_p^2 = \sigma_\theta^2 + \sigma_n^2. \quad (16)$$

Фонові завади на виході фільтра:

$$\sigma_n^2 = N_0 \cdot \Delta\omega_{\text{еф}} = N_0 \frac{b^2}{2(b-a)}, \quad (17)$$

де $\Delta\omega_{\text{еф}} = \frac{b^2}{2(b-a)}$; N_0 – згладжений фоновий шум

ФТД.

Результуюча СКП оцінки сигналу дорівнює:

$$\sigma_p^2 = \frac{\sigma_s^2 a + N_0 b^2}{2(b-a)}. \quad (18)$$

Умова стійкості каналу АСН доповнена умовою незриву автоматичного супроводження ЛА для його нерухомого стану:

$$\beta_x \sigma_\theta = \beta_x \sigma_p \cdot G'_\theta \leq \frac{\Delta\theta_x}{2}, \quad (19)$$

де β_x – квантіль відповідний заданої довірчої ймовірності; $\sigma_p \cdot G'_\theta$ – перерахунок СКП вимірювань фронтів огинаючих сигналу сканування ДС ЛВ у прямому і зворотному напрямках з СКП оцінки кутової розбіжності.

Отже, показником якості незриву (стійкості) автоматичного супроводження ЛА каналом АСН у кожній площині сканування ДС ЛВ може служити квантіль за умовою:

$$\beta_x \geq \frac{\Delta\theta_x \cdot 2(b-a)}{2(\sigma_s^2 \cdot a + N_0 \cdot b^2) \cdot G'_\theta}. \quad (20)$$

Так як всі три погрішності наведення РСН на ЛА незалежні та існують одночасно, то додатна погрішність підкоряється композиції законів їх розподілу. Для гаусових законів додатна погрішність також розподілена гаусово з дисперсією:

$$\sigma_\Sigma^2 = \sigma_p^2 + \sigma_d^2 = \frac{(G'_\theta)^2}{2(b-a)} \cdot (\sigma_s^2 \cdot a + N_0 \cdot b^2) + \frac{\sigma_{\dot{\theta}_x}^2}{a^2}, \quad (21)$$

де σ_d^2 – динамічна похибка фільтрації.

Проблема підвищення ефективності і принципів передачі інформаційних (телеметричних) каналів вирішується наступним чином. Особливістю дії ФТД багатофункціональної ЛС є те, що по суті він перетворює амплітудну модуляцію оптичних коливань у широкосмуговий відеосигнал. Смугу такої модуляції обмежує як модулятор, так і ФТД.

Сучасна смуга модулятора і ФТД поки не перевищує 1,2 ГГц. Тому багатофункціональна ЛС зможе вирішити проблему підвищення швидкості передачі інформації, якщо використовувати для передачі багато пар подовжніх мод ЛВ з несуттєво меншими смугами. При цьому виникає проблема електромагнітної сумісності інформаційних каналів з розподіленими сигналами на частотах міжмодових биттів.

Використання у всіх вимірювальних каналах частот міжмодових биттів можливе, оскільки кожна пара рівних за амплітудою подовжніх мод перетворюється у радіосигнал, який можна модулювати шляхом будь-якої модуляцією одної подовжньої моди, а детектувати звичайним детектором на радіочастоті.

Частотна розв'язка повинна задовольняти необхідну якість, оскільки різниця між частотами міжмодових биттів складає величину порівняну з

ними частотами. Для вимірювальних каналів проблеми електромагнітної сумісності каналів майже не існує, тому що смуги каналів після багатократного перетворення несучої (міжмодової) частоти дуже малі. Недоліком багатоканального методу може бути те, що потужність лазера повинна зростати майже пропорційно числу каналів і те, що динамічний діапазон ФТД повинен відповідати додатній потужності сигналу, в залежності від числа каналів.

Висновки

Таким чином, використання селекція подовжених мод лазера-передавача для суміщення інформаційних та шести вимірювальних каналів дозволить побудувати багатофункціональну ЛС контролю і управління ЛА.

Висока точність вимірювальних каналів системи забезпечується за рахунок використання методів: формування лазерних сигналів, що зондують багатофункціональною ЛС; «підкрашування» різними частотами міжмодових биттів динамічних ДС ЛВ; сканування ДС ЛВ; вимірювання кутів азимута і місця ЛА, похилої дальності, радіальної і кутових (тангенціальних) швидкостей; взаємозв'язку вимірювальних параметрів руху ЛА; ЧЧМ вимірювання; вузькосмугової фільтрації тощо.

Список літератури

1. Патент на корисну модель № 43725, Україна, МПК Н04 Q 1/453. Модифікований селектор подовжених мод / О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, В.В. Белімов та ін. –

№ и 200903693; заяв. 15.04.2009; опубл. 25.08.2009; Бюл. № 16. – 6 с.

2. Коломійцев О.В. Адаптована структура приймально-передавальної частки вимірювальних каналів для синтезу лазерної інформаційно-вимірювальної системи з використанням частотно-часового методу / О.В. Коломійцев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2011. – Вип. 4(94). – С. 28-31.

3. Информационные технологии и системы в управлении, образовании, науке. [Коллективная монография]. [А.В. Коломийцев и др.]; под ред. В.С. Пономаренко. – Х.: Цифрова друкарня № 1, 2013. – 278 с.

4. Деклараційний патент України на винахід №56943А, Україна, МПК Н03G5/08. Фільтр нижніх частот для підвищення стійкості і точності кутового автосупроводження літальних апаратів / О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин, Д.П. Пашков. – № 2002129790; заяв. 06.12.2002; опубл. 15.05.2003; Бюл. № 5. – 4 с.

5. Kudriashov V. 'Experimental Evaluation of Opportunity to Improve the Resolution of the Acoustic Maps'. In: Kountchev R. and Nakamatsu K. (eds.), *New Approaches in Intelligent Image Analysis, Intelligent Systems Reference Library 108*, pp. 353-373. Springer International Publishing Switzerland 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-32192-9_11, SJR: 0.154

Надійшла до редколегії 20.02.2017

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

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Г.В. Алешин, А.В. Коломийцев, В.В. Посохов

Предложена селекция продольных мод лазера-передатчика для многофункциональной лазерной системы контроля и управления летательным аппаратом (ЛА) и их использование для совмещения информационных и шести измерительных каналов, которые обеспечивают высокую точность измерения параметров движения ЛА за счет взаимосвязи измеряемых параметров, новых принципов использования высокой стабильности частот межмодовых биений (МБ) лазерного излучения (ЛИ), частотно-временного метода измерения, методов «подкрашивания» разными частотами МБ и сканирования динамическими диаграммами направленности ЛИ.

Ключевые слова: многофункциональная лазерная система, летательный аппарат, совмещение каналов, продольные моды, точность измерения параметров движения.

PROBLEMS OF CREATION BY MULTIFUNCTION LASER CHECKING AND MANAGEMENT SYSTEMS BY AIRCRAFT

G.V. Aleshin, O.V. Kolomiitsev, V.V. Posokhov

The selection of longitudinal fashions of laser-transmitter is offered for the multifunction laser checking and management system by an aircraft (A) and their use for combination of informative and six measuring channels, that provide high exactness of measuring of parameters of motion of A due to intercommunication of measureable parameters, new principles of the use of high stability of frequencies of beatings (BB) of laser radiation (LR), frequency-temporal method of measuring, methods of «tinting» different frequencies of BB and scan-out by the dynamic diagrams of orientation LR.

Keywords: multifunction laser system, aircraft, combination of channels, longitudinal fashions, exactness of measuring of parameters of motion.