

6. Яценко Н.Н. Плавность хода грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко, О.К. Прутчиков. – М.: Машиностроение, 1969. – 219 с.

7. Wan der Pol. A teory of the amplitude of free and forced triode vibrations / Wan der Pol // Radio Review. – 1920. – № 1. – P. 701-710.

8. Грубель М.Г. Резонансні коливання підресореної частини колісних транспортних засобів під час руху вздовж

впорядкованої системи нерівностей / М.Г. Грубель, Р.А. Нанівський, М.Б. Сокил // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця, 2015. – № 1 (118). – С. 155-161.

9. Сенік П.М. Про Атеб-функції / П.М. Сенік // Доп. АН УРСР. – 1968. – № 1. – С. 23-26.

Рецензент: д.т.н., доц. Л.В. Крайник, голова правління ВАТ «Укравтобуспром», Львів.

Оценка влияния нелинейных силовых характеристик подвески на эффективность ведения огня боевых колесных машин

П.П. Ткачук, М.Г. Грубель, М.Б. Сокил, Р.А. Нанівський

Работа посвящена исследованию влияния нелинейных характеристик подвески на эффективность ведения огня БКМ, которые эксплуатируются в сложных условиях движения пересеченной местности. Проведен теоретический анализ влияния параметров подвески БКМ на колебания корпуса БКМ вместе с его боевым модулем. Показана сравнительная таблица эффективности ведения огня из установленного модуля при линейной и нелинейной силовой характеристике системы поддресоривания.

Ключевые слова: боевая колесная машина, колебания боевого модуля, эффективность ведения огня.

Impact assessment of nonlinear force characteristics of suspension on the shooting efficiency of combat wheeled vehicles

P. Tkachuk, M. Hrubel, M. Sokil, R. Nanivskyi

The paper is devoted to research the impact of non-linear force characteristics of the suspension on shooting efficiency of combat wheeled vehicles which are operated in difficult driving conditions over rugged terrain. Was conducted the theoretical analysis of the impact of parameters of the suspension of combat wheeled vehicles on the oscillations of body along with its combat module. Was made the comparative table of shooting efficiency with installed modules at linear and non-linear force characteristics of spring system.

On the basis of the specified physical and the corresponding small-content models of the dynamics of the sprung obtained by in-form mknutomu analytical dependences that describe the impact-tion whole range of external and internal work-ers mounted on the dynamics of military wheeled vehicles combat unit.

Key words: combat wheeled vehicles, oscillation of combat module, shooting efficiency.

УДК 621.37: 629.7.05

О.О. Шпилька, О.Ю. Мирончук¹, А.О. Ткач, С.П. Оверчук, В.О. Катюха, Ю.А. Мирончук²

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут»

² Житомирський військовий інститут

ЗАСТОСУВАННЯ БОРТОВИХ РАДІОПЕЛЕНГАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ У НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ МАЛИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Побудова автономних навігаційних систем на базі МЕМС гіроскопів і акселерометрів утруднена тим, що вони швидко накопичують помилки вимірювань і тому не здатні забезпечити надійне вирішення задач навігації. Більш досконалі лазерні та оптоволоконні гіроскопи мають неприйнятні габарити, масу і вартість. Для автоматичного вирішення завдань навігації раціональне застосування методів пасивного радіопеленгування. Елементи просторової антенної решітки радіопеленгатора можуть бути суміщені з елементами силової конструкції літального апарата. У зонах локальних військових конфліктів зазвичай триває робота стаціонарних джерел радіосигналів цивільного призначення. Такі джерела можуть бути використані в якості радіомаяків. У базі даних бортового комп'ютера літального апарата повинні зберігатися координати і характеристики потенційних радіомаяків.

Точність навігації по радіомаяках залежить від кутової помилки пеленгування і відстані до радіомаяка. У більшості випадків вона достатня для автоматичного польоту за заданим маршрутом і проведення аерофотозйомки.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, автопілот, навігаційна система, радіопеленгація

Вступ

Впродовж останніх років стрімко розвивається застосування малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в найрізноманітніших галузях. Особливо виділяється застосування малих БПЛА у військовій сфері - для ведення розвідки, для аерофото- і відеозйомки, спостереження за полем бою, ретрансляції сигналів зв'язку та ін. В бойових умовах більшість завдань БПЛА повинен виконувати в автоматичному режимі, перебуваючи поза зоною візуальної видимості пілота-оператора.

При виконанні програми польоту бортова навігаційна система БПЛА періодично отримує інформацію про його поточне географічне положення від GPS-модуля, який обчислює поточні координати БПЛА за даними радіосигналів від навігаційних супутників. Оскільки в зоні прийому потужність радіосигналів від супутників вельми низька, то в районі ведення бойових дій такі сигнали легко заглушити або спотворити постановкою відповідних радіоперешкод [1]. При цьому автопілот БПЛА втрачає орієнтацію, виконання ним бойових завдань стає неможливим.

На сьогодні для малих БПЛА військового призначення виникла і набула актуальності проблема автоматизації вирішення завдань польотної навігації в умовах неможливості отримання інформації від навігаційних супутників.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Для усунення залежності точності і надійності функціонування навігаційних систем малих БПЛА від можливості своєчасного отримання інформації від навігаційних супутників вимагається пошук методів і засобів отримання навігаційної інформації від інших – супутниконезалежних джерел. При цьому вимагається: щоб такі джерела були поширеними і доступними; щоб отримання інформації від таких джерел могло здійснюватись у автоматичному режимі; щоб масогабаритні параметри бортових засобів отримання інформації відповідали умовам їх розміщення на малих БПЛА; щоб робота бортових засобів отримання інформації не створювала демаскуючих ефектів.

Мета і завдання статті

Метою статті ставиться розгляд та аналіз можливості, доцільності та перспективності застосування у навігаційних системах малих БПЛА методів навігації по радіомаяках. Зокрема, вимагається: виявлення типових постійно діючих наземних випромінювачів радіохвиль, які потенційно можуть бути використані в якості радіомаяків; вибір методів радіопеленгування відповідних параметрам випромінювачів;

встановлення габаритних параметрів антенних решіток пеленгаторного обладнання та розгляд можливостей їх розміщення на борту БПЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальне влаштування бортових навігаційних систем малих БПЛА

Принципи роботи та описи влаштування навігаційних систем малих БПЛА викладені в численних статтях та навчальних посібниках, зокрема [2, 3, 4].

Керуючись вимогами невисокої вартості, малої маси та габаритів, навігаційні системи малих БПЛА прийнято будувати на базі мікроелектромеханічних (MEMS) датчиків - гіроскопів і акселерометрів, які зазвичай прикріплені безпосередньо до елементів конструкції БПЛА і реагують на миттєві зміни лінійних прискорень і кутових швидкостей у інерційному просторі. Сигнали від MEMS-датчиків надходять у процесор (контролер) навігаційної системи, який, здійснюючи інтегрування по часу, перераховує лінійні прискорення і кутові швидкості у лінійні і кутові переміщення.

Головна і найбільш приваблива перевага інерціальної навігаційної системи - її автономність. Тобто, ґрунтуючись на основних законах механіки, теоретично існує можливість обчислювати переміщення БПЛА відносно початкових координат без спостережень за зовнішніми орієнтирами.

Основним недоліком інерціальних навігаційних систем є те, що точність навігаційних обчислень зберігається задовільною протягом відносно коротких проміжків часу. Причина в тому, що MEMS-датчики не забезпечують належної точності і стабільності показів (так, у MEMS-гіроскопів величина дрейфу може сягати понад $300^\circ/\text{год}$ [5, 6]). Тому в ході багаторазово повторюваних інтегрувань при перерахунку кутових швидкостей і лінійних прискорень в кутові і лінійні переміщення відбувається сумування і швидке накопичення похибок розрахунків просторової орієнтації БПЛА та поточних географічних координат.

Для можливості коригування похибок інерціальних датчиків до складу навігаційних систем включають додаткові засоби отримання навігаційної інформації – барометричні висотоміри, магнітометри, пірометри. Виходячи з фізичних принципів, на яких ґрунтується робота таких засобів, їм також властиві досить високі похибки вимірювань.

У комплексних вимірювальних системах при виділенні корисного сигналу із показів кількох датчиків для відсіювання похибок широко застосовуються різні методи фільтрування, зокрема, найбільш популярний – фільтр Калмана. Але виходячи з стохастичної природи походження похибок повне їх відфільтрування принципово неможливе – фільтрування лише сповільнює швидкість накопичення похибок на короткочасних інтервалах.

У загальному випадку бортова навігаційна система включає в себе дві складові - систему орієнтації та систему позиціонування.

Система орієнтації виробляє інформацію про поточну просторову орієнтацію БПЛА щодо вектора гравітаційного тяжіння і вектора напрямку польоту (поточні значення кутів крену, рискання і тангажа). Оновлення інформації про орієнтацію повинне проводитися з високою частотою, оскільки на її підставі автопілот повинен виробляти керуючі команди для рульових механізмів для забезпечення аеродинамічно стійкого положення БПЛА в атмосфері. Наслідком запізнення в отриманні інформації про поточну орієнтацію може бути втрата стійкості і падіння БПЛА.

Система позиціонування відпрацьовує інформацію про географічне положення БПЛА щодо поверхні Землі (поточні географічні координати, курс, висота і швидкість польоту). Оновлення інформації про географічне позиціонування потрібне для коригування положення БПЛА щодо заданого маршруту і може проводитися з відносно низькою частотою. Мінімально необхідна частота оновлення визначається співвідношенням допустимої похибки позиціонування і швидкості переміщення БПЛА.

На сьогодні загальноприйнято системи позиціонування будувати на принципах отримання інформації від глобальних супутникових навігаційних систем (GPS, GLONAS). В цьому випадку система позиціонування виходить легкою, компактною, високоточною, енергоощадною.

Взаємодія системи орієнтації і системи позиціонування при штатному режимі роботи навігаційної системи відбувається за алгоритмом:

- система позиціонування з інтервалом ≈ 1 с обробляє сигнали від супутників і обчислює поточне географічне розташування БПЛА;

- поточна виміряна позиція БПЛА порівнюється з попередніми вимірами, проводиться обчислення фактичних параметрів польоту (курс, висота, швидкість);

- на підставі інформації з системи позиціонування проводиться обнуління накопичених похибок інерціальної системи орієнтації;

- інерціальна система орієнтації переводиться в циклічний режим визначення поточного просторового положення БПЛА (кути крену, тангажа, рискання) і передачі їх автопілоту для аналізу і вироблення керуючих сигналів на рульові механізми;

- в проміжках між надходженнями інформації від системи позиціонування поточне розташування БПЛА визначається розрахунковим шляхом за інформацією, що надходить від інерціальної системи орієнтації.

Проблеми навігації військових БПЛА в умовах бойових дій

Очевидно, що в умовах бойових дій кожною з воюючих сторін будуть широко застосовуватись

засоби радіоелектронної боротьби для протидії застосуванню БПЛА противником. При цьому критично слабким місцем бортових навігаційних систем БПЛА військового призначення є система позиціонування за сигналами супутникових навігаційних систем. Постановка радіоперешкод, що заважають прийому сигналів від супутників або спотворюють ці сигнали, або транслюють неправдиві навігаційні сигнали, в кінцевому підсумку призводить до втрати орієнтації БПЛА і, як наслідок, унеможливають виконання покладених на нього завдань.

Для забезпечення можливості виконання БПЛА поставлених завдань в умовах дії радіозавад системі супутникової навігації можливі різні шляхи. Коротко розглянемо деякі з них.

Дуже простим і привабливим виглядає радіоуправління польотом БПЛА людиною-оператором, керуючись інформацією з відеокамери, встановленої на борту БПЛА. Але такий спосіб є найгіршим з можливих. У найпростішому випадку канал радіоуправління може бути заглушений радіоперешкодами. У більш радикальному випадку радіовипромінювання БПЛА і наземної станції управління дозволяє противнику їх виявити і знищити.

Можна повністю відмовитися від супутникової навігації і покладатися тільки на інформацію від інерціальної бортової навігаційної системи, якщо її виконати на базі лазерних, або волоконно-оптичних, або хвильових твердотільних гіроскопів. У таких гіроскопів низький дрейф нуля $0,01 \div 1^\circ/\text{год}$. Але їх масогабаритні характеристики і вартість істотно вищі, ніж у MEMS-датчиків і виходять за межі вантажопідйомності малих БПЛА.

Як один з перспективних напрямів підвищення захищеності від перешкод роботі супутникових систем навігації на сьогодні відоме створення радіоприймальних засобів, побудованих на основі цифрових антенних решіток, які мають підвищену завадостійкість [7]. Зокрема, для цифрових антенних решіток можливе налаштування гострих діаграм спрямованості, націлених на навігаційні супутники, - при цьому джерела радіоперешкод виявляються за межами зон прийому. Але масогабаритні параметри таких пристроїв створюють проблеми їх розміщення на малих БПЛА. Також очевидно, що супутники систем навігації відносяться до категорії об'єктів, які в разі серйозних військових конфліктів підлягають першочерговому знищенню - після цього системи позиціонування БПЛА, орієнтовані на обробку супутникових сигналів, стають безкорисним вантажем.

Слід врахувати, що в історичному розвитку поява систем супутникової навігації мала на меті спростити і полегшити вирішення навігаційних завдань типовими масовими користувачами (штурманами морських і повітряних суден), підвищити швидкість і точність вирішення навігаційних задач, забезпечити автоматизацію

їх вирішення, звівши до мінімуму вплив людського фактора і ймовірність внесення ним помилок. Тобто, людством напрацьований величезний історичний досвід вирішення найрізноманітніших навігаційних задач з прийнятною точністю без залучення систем супутникової навігації. І на цей досвід слід спиратися при розробці супутниконезалежних навігаційних систем.

Навігація по радіомаяках

Метод навігації по радіомаяках широко застосовується на флоті і в авіації [8]. Якщо ще недавно цей метод був одним з основних, то на сьогодні він слугує доповненням до супутникової навігації.

У військовій сфері можливість застосування для малих БПЛА навігації по радіомаяках викликає інтерес з ряду причин.

Локальні і регіональні військові конфлікти та супроводжуючі їх бойові дії, як правило, відбуваються в регіонах з високим рівнем урбанізації. При цьому в зоні конфлікту зазвичай триває функціонування вузлових об'єктів соціально-економічної інфраструктури, в тому числі і засобів радіозв'язку - передавальних телевізійних станцій, місцевих радіостанцій, базових станцій систем мобільного зв'язку та ін. Сукупно такі засоби охоплюють широкий частотний діапазон. Постановка радіоперешкод роботі таких засобів спотворює випромінюваний ними сигнал, але не впливає на координати передавача. Найчастіше придушення роботи таких засобів радіозв'язку не вигідне жодній з воюючих сторін.

Потенційно будь-яке стаціонарне джерело радіосигналу може бути використане як радіомаяк. При цьому БПЛА повинен бути обладнаний засобами для радіопеленгації. Також в базу даних бортового комп'ютера БПЛА повинні бути введені координати і параметри радіосигналу (частота, тип модуляції, потужність, час роботи та ін.) потенційних радіомаяків. При відомих (з бази даних) координатах двох радіомаяків і при наявності поточних значень вимірних пеленгів на ці радіомаяки бортовий комп'ютер розраховує географічне положення БПЛА розв'язанням задачі побудови трикутника по стороні і двох кутах з прив'язкою цього трикутника до місцевості. Можливість використання пеленгів більше ніж на два радіомаяки підвищує точність визначення поточних координат БПЛА. Для критичних випадків може бути застосований відомий метод послідовного (через деякий проміжок часу) отримання пеленгів на один радіомаяк.

БПЛА, оснащений радіопеленгаторним обладнанням, автоматично стає здатним виконувати завдання радіорозвідки – зокрема, виявляти і пеленгувати джерела радіовипромінювання, які відсутні у його бортовій базі даних.

На сьогодні у вільному продажу пропонується різноманітний асортимент досить компактного

радіопеленгаторного обладнання з широким діапазоном можливостей. Як приклад наводяться деякі технічні можливості надшвидкого цифрового скануючого пеленгатора [9] «напрямок пеленгу визначається цифровими методами, тобто комплексні напруги антен вимірюються високоякісним триканальним пеленгаторним приймачем, який працює подібно векторному аналізатору, і потім оцифровуються. Пеленги всіх сигналів обробляються паралельно і незалежно один від одного за допомогою математичних алгоритмів. Можливе використання і класичних методів пеленгації, таких як метод Ватсона-Ватта, і сучасного методу кореляційного інтерферометра». «Широкий діапазон частот від 0,3 (0,009) МГц до 3000 МГц». «Висока швидкість сканування до 30 ГГц/с (в режимі кореляційного інтерферометра)». «Можливість використання пеленгаторних антен з широкою апертурою і мінімальним числом антенних елементів (переважно кільцевих антенних решіток)». «Системна точність пеленгації (в польових умовах) - 1°ср.кв.»

У силу малих габаритів БПЛА виникають суттєві обмеження на габарити розміщуваних на їх борту антенних систем, що негативно позначається на точності пеленгації. Але при малих радіусах дії, характерних для малих БПЛА, при порівняно високих кутових помилках вимірювання пеленгів можливе отримання прийнятних величин абсолютних помилок позиціонування. Наприклад, при відстані до радіомаяків по 20 км і при кутовій помилці пеленгів $\pm 1^\circ$ помилка позиціонування не перевищуватиме ± 350 м, що можна порівняти з типовою шириною смуги відеозахвату при виконанні аерофотозйомки. Для компенсації такої помилки досить провести 2-3 додаткові прольоти над територією зйомки.

Додатково слід акцентувати, що поточна похибка позиціонування за сигналами MEMS-датчиків (без GPS) наростає зі збільшенням тривалості польоту та збільшенням інтенсивності маневрування - це створює проблему забезпечення допустимої точності позиціонування при поверненні БПЛА до заданого місця посадки при здійсненні польоту в автоматичному режимі.

При застосуванні радіопеленгаційного методу поточна похибка позиціонування визначається лише поточними значеннями відстаней від БПЛА до радіомаяків.

Розміщення антенних решіток на борту БПЛА

Для ефективного прийому слабких сигналів лінійні розміри елементів антенної решітки повинні бути співставимі з довжиною хвилі радіовипромінювання. При характерних для малих БПЛА габаритних розмірах 1 ÷ 3 м (розмах крил, довжина фюзеляжу) можливе розміщення антенних решіток, які ефективно

працюють в діапазонах метрових (телебачення) і більш коротких хвиль.

Просторова орієнтація елементів антенної решітки повинна забезпечувати можливість прийому радіохвиль різної поляризації. Так, випромінювання телевізійних веж має горизонтальну поляризацію, випромінювання базових станцій мобільного зв'язку - вертикальну поляризацію. Можливість визначення просторової орієнтації БПЛА щодо площини поляризації дає додаткову інформацію для обнуління накопичених похибок інерціальної системи орієнтації.

У загальному випадку антенна решітка повинна мати співставимі кількості горизонтальних і вертикальних елементів. При цьому щоб не збільшувати вагу БПЛА, необхідно використовувати принципи багатofункціональності конструктивних елементів - функції елементів антенної решітки повинні виконувати силові елементи конструкції БПЛА.

На БПЛА типу «коптер» функції горизонтальних елементів антенної решітки можуть виконувати балки двигунів. Для отримання набору рознесених вертикальних елементів на кінцях балок можна розташувати подовжені посадкові опори.

На БПЛА літакового типу в якості горизонтальних елементів решітки можливе використання лонжеронів і нервюр. Обмежену кількість вертикальних елементів антенної решітки можна поєднати з елементами конструкції вертикального хвостового оперення БПЛА – зокрема, хвостове оперення може бути виконаним по рознесеній двокільовій схемі. Для збільшення числа вертикальних елементів антенної решітки їх можна кріпити до нервюр і виконати виступаючими з поверхні крила перпендикулярно до його площини. З огляду на те, що виконання розвідувальних задач є одним із основних призначень малих БПЛА, причому їх виконання вимагає польоту з малими швидкостями, можна згадати про колись популярну біпланну схему, яка забезпечує високу підйомну силу і високу маневреність при низьких швидкостях польоту. Біпланна схема БПЛА зручна для суміщення елементів просторової антенної решітки з елементами конструкції здвоєних крил біплана, які з'єднуються між собою вертикальними стійками.

Висновки

Створення для малих БПЛА військового призначення систем навігації на основі застосування пасивної радіопеленгації дозволяє:

- застосовувати БПЛА при наявності перешкод роботі систем супутникової навігації;
- приховано виконувати польоти в повністю автоматизованому режимі, без демаскуючих сеансів радіозв'язку;
- застосовувати БПЛА для радіорозвідки і пеленгування джерел радіовипромінювання.

Список літератури

1. Антонов О.Е. Радиопомехи для беспилотников [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://bpla.ru/radiopomexi-dlya-besplotnikov/>
2. Матвеев В.В. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. / В.В. Матвеев, В.Я. Распопов; под ред. В.Я. Распопова. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2009. – 280 с.
3. Распопов В.Я. Микросистемная авионика: учеб. пособие / В.Я. Распопов. – Тула: «Гриф и К», 2010. – 248 с.
4. Харченко В.П., Чепіженко В.І., Тунік А.А., Павлова С.В. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І. Чепіженко, А.А. Тунік, С.В. Павлова; за ред. В.П. Харченка. – К.: ТОВ «Абрис-принт», 2012. – 464 с.
5. Белокуров В. А. Использование трехосных MEMS гироскопов и акселерометров для задач определения пространственной ориентации подвижных объектов / [В. А. Белокуров, В. Н. Горкин, В. Г. Костилов и др.] // Вестник РГРТУ. – Рязань, 2012. – № 3. – С. 26–31.
6. Бакмачев А. МЭМС-гироскопы и акселерометры Silicon Sensing: английские традиции, японские технологии // Компоненты и технологии. 2014. – № 4. – С. 18–26.
7. Слюсар В. Цифровые антенные решетки. Решения задач GPS [Электронный ресурс] / В. Слюсар // Электроника НТБ. – 2009. – Выпуск № 1. – С. 74–78. – Режим доступа : http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_163_187.pdf
8. Сарайский Ю.Н., Липин А.В., Либерман Ю.И. Аэронавигация. Часть II. Радионавигация в полете по маршруту: Учебное пособие. / Ю.Н. Сарайский, А.В. Липин, Ю.И. Либерман. – СПб.: Университет ГА, 2013. – 298 с.
9. Сверхбыстрый цифровой сканирующий пеленгатор ВЧ/ОВЧ/УВЧ диапазона «DDF0xA» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4445&tbl=04.01.01.01.01>.

Рецензент: д.т.н., проф. Правда В.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ.

**Применение бортовых радиопеленгаторных средств
в навигационных системах беспилотных летательных аппаратов**

А.А. Шпилька, А.Ю. Мирончук, А.А. Ткач, С.П. Оверчук, В.А. Катюха, Ю.А. Мирончук

Построение автономных навигационных систем на базе MEMS гироскопов и акселерометров затруднительно из-за того, что они быстро накапливают ошибки измерений и поэтому не способны обеспечить надежное решение задач навигации. Более совершенные лазерные и оптоволоконные гироскопы имеют неприемлемые габариты, массу и стоимость. Для автоматического решения задач навигации рационально применение методов пассивного радиопеленгования. Элементы пространственной антенной решетки радиопеленгатора могут быть совмещены с элементами силовой конструкции летательного аппарата. В зонах локальных военных конфликтов обычно продолжается работа стационарных источников радиосигналов гражданского назначения. Такие источники могут быть использованы в качестве радиомаяков. В базе данных бортового компьютера летательного аппарата должны храниться координаты и характеристики потенциальных радиомаяков.

Точность навигации по радиомаякам зависит от угловой ошибки пеленгования и расстояния до радиомаяка. В большинстве случаев она достаточна для автоматического полета по заданному маршруту и проведения аэрофотосъемки.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, автопилот, навигационная система, радиопеленгация.

The application of the on-board devices radio direction-finding in the navigation systems of drones

A. Shpilka, A. Myronchuk, A. Tkach, S. Overchuk, V. Katiuha, Yu. Myronchuk

Problems of the solving the tasks of navigation in the conditions of use by the enemy jammers radio signals from global navigation satellite systems is actual for small military drones during the fighting. Without navigation information unmanned aerial vehicle strays off course and lose the ability to perform combat missions. When you try to control the aircraft by active radio then the stealth mode is broken. This gives the opponent the opportunity to destroy the not hidden aircraft and ground control station.

Construction of autonomous navigation systems based on MEMS gyroscopes and accelerometers is difficult due to the fact that they quickly accumulate measurement errors and therefore are not able to provide a reliable solution to problems of navigation. More perfect laser and fiber optic gyros have unacceptable size, weight and cost.

The using the passive radio direction finding method is rational for automatically solving navigation tasks. Elements of the spatial antennas arrays of direction finder can be combined with elements of the primary structure of the aircraft. In the zones of local military conflicts usually work continues stationary sources of radio signals civilian use. Such sources can be be used as radio beacons. The coordinates and characteristics of potential radio beacons must to be stored in the database of the on-board computer of aircraft.

The accuracy of navigation by radio beacons depends on the angular error of direction finding and distance to beacon. In most cases, it is sufficient for the automatic flight on a given route and aerial photography.

Key words: drone, autopilot, navigation system, radio direction finding.
