



75-річчю Національного авіаційного університету присвячується

ПЕРЕДМОВА

З розвитком та вдосконаленням літальних апаратів(ЛА), ускладненням та розширенням виконуваних ними польотних завдань розвивались та вдосконалювались пілотажно-навігаційні прилади і системи, які з впровадженням в бортове обладнання високопродуктивної обчислювальної техніки стали об'єднувати в пілотажно-навігаційні комплекси (ПНК).

ПНК є логічним наслідком еволюції систем навігації та керування і є якісно новим ступенем в автоматизації літаководіння. До складу ПНК сучасного літального апарата будь-якого класу входять декілька навігаційних систем, зокрема, інерціальні (ІНС) та супутникові (СНС) системи навігації. Завдяки різній фізичній природі та різним принципам формування навігаційного алгоритмічного забезпечення, ІНС та СНС добре доповнюють одна одну, що природно визначило їхню інтеграцію в складі сучасних ПНК. Спільне використання цих систем дозволяє, з одного боку, обмежити зростання похибок менш точної але більш інформативної інерціальної системи, а, з іншого боку, підвищити темп видачі інформації бортовим споживачам, істотно підняти рівень завадозахищеності та знизити шумову складову похибок високоточної супутникової системи.

В навчальному посібнику достатньо детально викладено матеріал, що стосується принципів побудови інерціальних і супутникових систем навігації, також детально описані алгоритми комплексної обробки навігаційної інформації.

Навчальний посібник відрізняється від попередньо виданих тим, що в ньому систематизовано викладено матеріал, який стосується найбільш перспективного напрямку розвитку авіаційної навігації, яка поєднує переваги високоінформативної та автономної інерціальної системи з високоточною супутниковою системою навігації.

До навчального посібника включено результати наукових досліджень, проведених авторами в ході виконання ними робіт за замовленням конструкторських організацій, що займаються розробкою і впровадженням інерціально-супутникових систем навігації.

Матеріал навчального посібника буде досить корисним не лише для студентів технічних вищих навчальних закладів, але й для спеціалістів з дослідження і випробувань авіаційного та пілотажно-навігаційного обладнання.

ВСТУП

Однією з центральних ідей розвитку навігаційного обладнання літальних апаратів (ЛА) є функціональне, інформаційне й апаратне об'єднання навігаційних вимірників в інтегрований навігаційний комплекс. Більшість ЛА мають у складі свого бортового обладнання ряд навігаційних систем, серед яких найбільш поширеними є радіотехнічні системи: апаратура радіотехнічних систем ближньої (РСБН) та дальньої (РСДН) навігації, радіолокаційні станції, курсо-доплерівські системи, супутникові системи навігації (СНС), а також автономні нерадіотехнічні навігаційні системи.

Основними автономними засобами навігації ЛА є інерціальні навігаційні системи (ІНС), які використовують на ЛА різного призначення. Курсо-повітряні системи застосовують на літаках і вертольотах, обладнаних курсовими системами, та засобами визначення повітряної швидкості. Всі повітряні судна мають також засоби виміру барометричної та геометричної висоти польоту. На деяких літаках, крім цього, є банк даних про висоту рельєфу місцевості. До складу багатьох навігаційних комплексів рухомих об'єктів входять датчики часу (бортові еталони точного часу).

Об'єднання (інтеграція) такого обладнання в єдиний функціонально, структурно і конструктивно взаємозалежний навігаційний комплекс дозволяє повніше використовувати наявну на борту ЛА надмірну інформацію, завдяки цьому з'являється можливість розширити коло розв'язуваних задач і поліпшити якість їхнього виконання. Метою комплексування навігаційного обладнання є об'єднання різних вимірників у єдиний навігаційний комплекс (НК), який має більш високі характеристики точності, завадостійкості та надійності навігаційних визначень у порівнянні з окремими вимірниками.

Підвищення рівня та ступеня інтеграції обладнання в складі навігаційного комплексу виявляється в реалізації наступних принципів комплексування:

– об'єднання функцій різних радіотехнічних систем, що приводить до появи сполучених систем і багатофункціональних інтегрованих комплексів;

– об'єднання технічних засобів, які вимірюють ті самі або функціонально зв'язані навігаційні параметри.

Сполучення радіотехнічних систем, в яких часто використовуються складні радіосигнали, дозволяє створювати багатофункціональні комплекси, які мають привабливі конструктивні й експлуа-

таційні характеристики. При реалізації першого принципу комплексування багатофункціональні радіотехнічні системи створюються на базі існуючих одно-функціональних систем зв'язку та навігації. Прикладом такого комплексування є об'єднана супутникова навігаційна система GPS/ГЛОНАСС, а також інтеграція СНС з радіотехнічними системами ближньої та дальньої навігації

При другому принципі комплексування здійснюється спільна (комплексна) обробка інформації декількох пристроїв або систем навігаційного комплексу, які визначають ті ж самі або функціонально зв'язані навігаційні параметри. Наприклад, за допомогою ІНС, РСБН, РСДН, СНС та інших вимірників є можливість з певною надмірністю знаходити координати місцезнаходження та швидкість споживача. Надвисока точність СНС з визначення навігаційних параметрів робить її найбільш привабливою для комплексування.

Прогрес в супутниковій навігації різко прискорився в зв'язку зі створенням не тільки американської (GPS) і російської (ГЛОНАСС) супутникових систем, але і з підключенням країн Європейського Союзу до розвитку загальної мережі супутникових систем (проекти EGNOS, Galileo). Це привело до появи цілої індустрії виробництва систем супутникової навігації для найрізноманітніших застосувань. В той же час використання тільки цих систем для задач навігації та керування польотом ЛА явно недостатньо.

Сформована в даний момент практика створення та застосування комплексних навігаційних систем заснована на використанні інтегрованих інерціально-супутникових систем навігації (ІССН). При цьому ІССН можуть бути у свою чергу інтегровані з барометричними або радіотехнічними висотомірами й іншими бортовими вимірниками. Це зв'язано з такими причинами:

– для задач керування польотом необхідний аналоговий вимір лінійних і кутових параметрів польоту, або, принаймні, необхідно, щоб частота квантування цих параметрів вимірювалася десятками герц. У той же час супутникова радіонавігаційна система забезпечує частоту квантування сигналів положення і швидкості ЛА з частотою 1гц (у кращому випадку 0,5гц), що явно недостатньо для систем керування польотом ЛА. Інерціальні системи навігації забезпечують високу швидкість видачі інформації (до 100 Гц);

– інерціальні системи навігації мають високу інформативність, тобто вимірюють як лінійні так і кутові параметри, а супутникові системи вимірюють тільки лінійні параметри (вектор положення ЛА в деякій геоцентричній системі координат і вектор його

швидкості). В принципі СНС можна використовувати і для виміру кутових координат, але для цього необхідно застосовувати декілька антен, встановлених на деякій відстані одна від одної, і декілька приймачів, що різко ускладнює і здорожує систему. Застосування ІНС, коректованої від СНС, дозволяє вимірювати кутове положення ЛА з досить малою похибкою;

– похибки, що виникають в ІНС і СНС, мають різний характер. Для ІНС є характерним необмежений ріст похибок у часі, який може бути компенсований тільки за допомогою зовнішньої корекції. У той же час, випадкові погрішності первинних вимірів ІНС досить добре згладжуються за допомогою операцій інтегрування. З іншої боку, в СНС одержання основної інформації про вектори положення і швидкості ЛА не засновано на інтегруванні. Тому похибки вихідних сигналів СНС також мають місце, але на відміну від ІНС вони обмежені хоча дисперсія випадкових помилок вихідних сигналів СНС досить висока;

– сигнали СНС мають високу частоту та малу потужність. Слабка потужність сигналу, багаторазове відбиття прийнятого сигналу від навколишніх поверхонь, природні іоносферні, атмосферні та тропосферні завади значно зменшують відношення “сигнал-шум” й істотно знижують ефективність приймача СНС в таких умовах. Радіотехнічні контури стеження за сигналами навігаційних супутників можуть легко “загубити” супутник при наявності активних завад. З іншого боку, ІНС мають повну автономність, високою завадостійкістю та надійністю навігаційного забезпечення.

Вищезазначені причини приводять до необхідності інтегрованих інерціально-супутникових систем для навігації і керування ЛА практично всіх типів. Тому комітет ІКАО з майбутніх навігаційних систем (FANS- Future Air Navigation System) прийняв рішення про обов'язкове використання систем супутникової навігації в поєднанні з ІНС.

У даному навчальному посібнику розкриваються основні принципи побудови інерціальних і супутникових систем навігації, а також можливі варіанти та схеми їхнього комплексування.