

AERONAVİQASIYA AVADANLIQLARI VƏ KOMPLEKSLƏRİ

UOT 629.7

**İNERSİAL NAVİQASIYA SİSTEMİNİN QURULMA PRİNSİPLƏRİ VƏ
İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ**
Pilotsuz uçuş aparatları üçün İNS modeli.**R.N. Nəbiyev, A.Z. Məmmədov**

Milli Aviasiya Akademiyası

Atmosfer şəraitində və fiziki mühit təsirlərində GPS siqnallarının qısamüddətli yox olması halları baş verir. İnersial naviqasiya sisteminin (İNS) maneələrə qarşı davamlılığı çox yüksək olduğundan yüksək intensivlikli küylər şəraitində etibarlı uçuşları təmin etmək mümkün olur. Məqalədə platformalı və platformasız İNS-in tərkibi, işləmə prinsipi, strukturu, üstünlükləri və çatışmazlıqları kimi məsələlərə baxılmış və bu sistemin istifadəsinin vacibliyini şərtləndirən əsas səbəblər göstərilmişdir. İşdə kiçikölçülü pilotsuz uçuş aparatları üçün yaxşılaşdırılmış parametrlərə malik MEMS (mikroelektromexaniki sistem) giroskop və akselerometri əsasında inersial naviqasiya sisteminin modeli təklif olunmuşdur.

***Açar sözlər:** pilotsuz uçuş aparatı, inersial naviqasiya sistemi, inersial ölçmə modulu, giroskop, kren, tanqaj, kurs, mövqe, sürət, bucaq.*

Giriş. Müasir dünyanı naviqasiya sistemləri olmadan, yəni insan həyatının bütün sahələrini əhatə edən inersial qurğular olmadan təsəvvür etmək çox çətindir. Bu növ duyğuların yaradılması və araşdırılması inersial naviqasiya sistemlərinin (İNS) bir hissəsi olaraq müasir naviqasiya komplekslərində istifadə olunmasına yol açmışdır [1]. Mürəkkəb konstruktiv quruluşlarına, mikroölçülərinə görə mikromexaniki qurğuların və inersial ölçü modullarının (İMU-inertial measurement unit) hazırlanması inkişaf etmiş sənayeyə sahib ölkələrdən yüksək texnologiyalar tələb edir.

Mövzunun aktuallığı. Bir çox texnoloji inkişafın gələcəyi olaraq görülən avtonom nəqliyyat vasitələri, texnoloji imkanların verdiyi qabaqcıl xüsusiyyətləri və imkanları ilə texnologiyaları öz təsir sahəsində saxlayan ölkələr qarşısında bizim üçün vacib əhəmiyyət kəsb edir. Strateji əhəmiyyətə malik olan bu nəqliyyat vasitələrinin təkmilləşdirilib, istehsalının həyata keçirilməsi hədəf olaraq müəyyənləşdirilməlidir. Bu məsələ sənayenin müxtəlif sahələrinə tətbiq oluna bilməsi baxımından da, mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Son illər ərzində İNS raketləri idarə edən elektromexaniki qurğulardan tutmuş, hazırda bir çox müasir nəqliyyat vasitələrində istifadə edilən yarımkeçirici cihazlara qədər təkmilləşdirilmişdir. Bu inkişafın yayılma sürəti 1960-ci illərdə istehsal edilən ballistik raket proqramlarının dövründə artmışdır və həmin dövrdə minlərlə kilometr uzaqlıqda istifadə edilən yüksəkdeqiqlikli avtonom naviqasiya sisteminə böyük ehtiyac var idi [2]. İNS -lərdə peyk və radorabitə sistemləri ilə əlaqə məqsədli şəkildə kəsilərsə, idarəetmə bloku İNS-lə birlikdə ekranlanıb və idarəetmə daxili proqramla aparılsa, onda düşmən də onun fəaliyyətini dayandıra bilməz. Son 20 il ərzində sürətli inkişaf yolu keçən mikromexaniki inersial qurğular vasitəsilə inkişaf etdirilən, kənardan təsir olmadan fəaliyyət göstərən İNS hazırda mülki və hərbi naviqasiya sistemlərinin standart bir hissəsi olaraq uçuş aparatlarının, gəmilərin, raketlərin, kosmik aparatların mühüm bir hissəsinə çevrilmişdir.

Bu formada inkişaf etdirilən sistemlərin, xüsusilə son illərdə müxtəlif nəqliyyat vasitələrinə tətbiqi, avtonom sistemlərin inkişaf etdirildiyi və yüksək nəticələrin əldə edildiyi göz qabağındadır. Buna, limanlarda yük daşıyan avtonom nəqliyyat vasitələrini, dəniz altında araşdırma apara bilən insansız nəqliyyat vasitələrinin müxtəlif məqsədlərdə uğurla istifadə edilməsini, sıx şəhərdaxili və

şəhərlərarası nəqliyyatda insansız yol getmə qabiliyyətinə malik olan maşınların və ya bomba zərərsizləşdirmə robotlarının inkişaf etdirilməsini misal olaraq göstərmək olar [3].

İşin məqsədi avtonom naviqasiya sistemlərinin perspektiv inkişaf istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsi və kiçikölçülü pilotsuz uçuş aparatları üçün optimallaşdırılmış parametrlərə malik inersial naviqasiya sisteminin modelinin qurulmasıdır.

Məsələnin həlli yolları və müzakirəsi. Gələcəkdə bu tədqiqat çərçivəsində yazılacaq İNS alqoritmi vasitəsilə ölçmələr qiymətləndirilib mövqe, sürət kimi məlumatların əldə edilməsi və bundan başqa konseptual anlayışlara əsasən, bu sistemin xəta modelini qurub Kalman süzgecindən istifadə edilərək xətanın minimallaşdırılması nəzərdə tutulur. İNS üçün təməl olan ölçmələrin inersial ölçü modulundan (IMU) əldə edilməsi və bucaq sürəti və xətti təcil məlumatlarını verən inersial qurğuların birgə işlədiyi ölçmə blokunun işlənməsi məqsədəuyğundur. Aviasiyada uçan aparatların idarə edilməsində naviqasiya sistemlərinin, o cümlədən inersial naviqasiya sistemlərinin vacib, praktiki əhəmiyyəti vardır. Peyk və yerüstü radiotexniki naviqasiya sistemlərinin inkişafı İNS-in tətbiq sahələrini məhdudlaşdırsa da, bir çox hallarda onun istifadəsi əvəzolunmaz əhəmiyyət kəsb edir. Bu yüksək intensivlikli küylər şəraitində uçuşların təmin olunması üçün çox vacibdir. İNS-in maneələrə qarşı davamlılığı çox yüksək olduğundan yüksək intensivlikli küylər şəraitində etibarlı uçuşları təmin etmək mümkün olur. Son dövrlərdə ucuz qiymətli, eləcə də kiçik qabarit ölçülü mikroelektromexaniki sistem (MEMS) texnologiyası əsasında hazırlanmış giroskoplara və akselerometrlərə malik, yeni tip inersial qurğular yaradılmışdır [4]. Buna baxmayaraq hələ ki, MEMS giroskop və akselerometrləri inersial sistemlərin tərkibində istifadə edən zaman dəqiqlik baxımından informasiyanı korreksiya etmək lazım gəlir.

GPS, QLOPASS, Galileo kimi sistemlərin geniş tətbiqi ilə sürətin və koordinatların müəyyən edilməsində kifayət qədər dəqiqlik təmin edilir [5]. Peyk naviqasiya qəbul edicisində qısamüddətli siqnalların yox olması halında, digər korreksiyaedici informasiyadan istifadə oluna bilər. Kompleks naviqasiya sistemləri üçün əsas iş rejimi inersial və peyk sistemlərinin inteqrasiyası hesab olunur. Bir-birindən bu qədər fərqlənən, iki naviqasiya sisteminin inteqrasiyasının vacibliyi onların hər birində olan prinsipial müxtəlif xarakterli xətalara izah olunur. Faktiki olaraq, bir çox naviqasiya tapşırıqları yalnız GPS-in köməyi ilə yerinə yetirilə bilər. İnersial qurğular isə yalnız stabilizasiya və idarəetmə üçün istifadə olunur. Lakin GPS – in maneələrə olan zəifliyi naviqasiya duyğalarının tətbiqinin vacibliyini göstərir və eləcə də, naviqasiya duyğalarından GPS yararlı olmayan yerlərdə (məsələn, hər hansı bir obyektə, tuneldə və ya mağarada) tətbiq oluna bilər.

İNS komponentlərdəki (giroskoplar və akselerometrlər) xətalara səbəbindən mövqeyi tam mükəmməl göstərə bilmir. Həmin xətalara müəyyən edilən mövqedəki xətalara vaxt keçdikcə daha da artmasına səbəb olur. Qısamüddətli uçuşları yerinə yetirən nəqliyyat vasitələrində isə bu xətalara qəbul edilə bilər. Daha uzunmüddətli hərbi tapşırıqları yerinə yetirmək üçün, əsasən İNS-in səbəb olduğu xətalara mümkün olduqca sıfıra yaxın olaraq azaldılması üçün naviqasiya sisteminə korreksiyaedici periodik tədbirlər görülməsi lazım gəlir. Bundan başqa, yüngül və ifrat yüngül uçuş aparatlarının meydana çıxması İNS-ə qoyulan çəki-qabarit tələblərini çox kəskin sərtləşdirmişdir ki, bu da ənənəvi İNS-lərdən imtina olunmasına gətirib çıxarmışdır. GPS bütün dünyada dəqiq fəaliyyət göstərməyi ilə tanınan naviqasiya sistemini təklif edir. Lakin, o da məlumdur ki, ucuz qiymətə yüksək keyfiyyətə malik və özünə məxsus dəqiqliyi ilə tanınan İNS demək olar ki, bütün prosesləri GPS-in köməyi olmadan da yerinə yetirə bilər [6, 7].

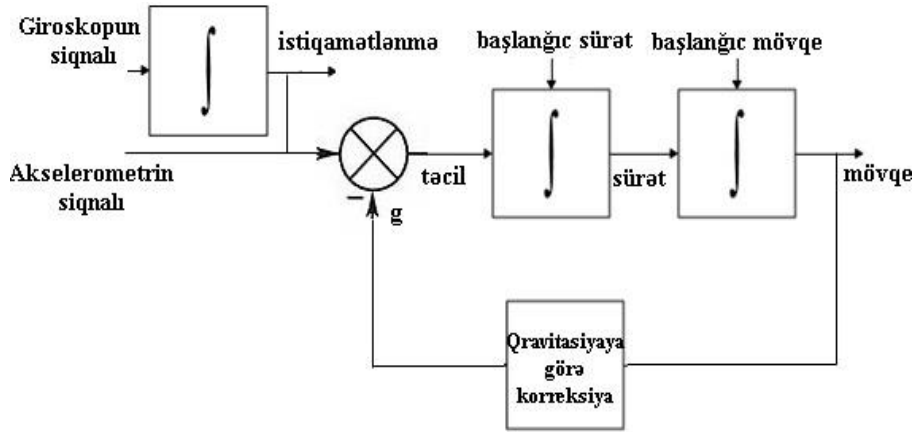
Aydındır ki, hər iki sistemi birlikdə istifadə etdikdə etibarlılığı və naviqasiya kompleksinin işinin dəqiqliyini artıraraq bir-birini tamamlayacaq və korreksiya edəcəkdir. İNS və GPS sistemlərinin birgə istifadəsi kəsilməz informasiya mübadiləsi tələb olunan tətbiqi naviqasiyalarda bir sıra problemlərin həllinə gətirib çıxaracaqdır.

İnersial Naviqasiya Sistemləri (İNS). Aviasiya naviqasiya sistemləri sahəsində texnologiyaların və elmin inkişafına görə uçuş aparatlarının bort cihazlarına olan ümumi tələblər müəyyən olunur [5]. Bu tələblər mülki aviasiya üçün birbaşa olaraq uçuşların təhlükəsizliyinin təmin edilməsinə qoyulan sərt tələblərdən irəli gəlir. Aviasiya üçün vacib sistemlərdən biri də, məhz İNS-dir. İnersial naviqasiyanın mahiyyəti hərəkət edən obyektə quraşdırılmış cihaz və qurğular vasitəsilə obyektin təcilinin və onun bucaq sürətlərinin, həmin verilənlər əsasında isə obyektin

yerinin (koordinatlarının), kursunun, sürətinin, qət etdiyi yolun və digər parametrlərin təyin edilməsindən, eləcə də obyektin stabiləşdirilməsi və onun hərəkətinin idarə edilməsi üçün tələb olunan parametrlərin təyin edilməsindən ibarətdir.

Pilotlu və pilotsuz uçuş aparatlarının naviqasiya sistemlərinin yaradılması ən çətin problemlərdən biri sayılır və bunu həll etmək alimlərin, mühəndislərin və uçuşun təmin edilməsi məsələləri ilə məşğul olan mütəxəssislərin üzərinə düşür. Uçuş aparatının koordinatlarının və Yerə nəzərən uçuş sürəti kimi naviqasiya parametrlərinin müəyyən edilməsi üçün bir sıra metodlar mövcuddur. Bu metodlar avtonom və qeyri-avtonom olmaqla iki yerə ayrılır. Kənar sistemlə əlaqəni tələb etməyən inersial metod avtonomluğu ən yaxşı şəkildə təmin edir. Bu metod, hərəkət edən obyektin koordiantları, sürəti və təcili arasında mexanikadan məlum olan əlaqəyə əsaslanır.

İnersial naviqasiya sistemi (İNS) inersial ölçü modulundan və ya inersial istinad modulundan (İRU-inertial reference unit) və sərbəstdüşmə təcilini hesablamaq üçün naviqasiya təyinedicisindən ibarətdir. Adətən, İMU üç ədəd akselerometr və üç ədəd giroskopdan ibarət olur [8]. İnersial naviqasiya sisteminin struktur sxemi şəkl.1-də göstərilmişdir. Akselerometr uçuş aparatının hərəkət təcilini ölçən zaman onun işinə yerin qravitasiya sahəsi də təsir göstərir. Naviqasiya sistemi təcilin ölçülən qiymətindən bu qiyməti yəni, sərbəstdüşmə təcili g -ni çıxaraq həqiqi qiyməti verir.



Şəkl. 1. İnersial naviqasiya sisteminin struktur sxemi

Burada naviqasiya sistemi giroskopdan alınan sənədləri inteqrallayaraq obyektin istiqamətlənməsini, verilmiş zaman anında obyektin hərəkət təcilini ölçərək onu iki dəfə inteqrallamaqla koordinatı təyin edir. Müəyyən edilmiş koordinatla da əsasən g -nin qiyməti təyin olunur və ölçülən təcildən çıxılır.

İMU-nun əsas funksiyası hava gəmisinin kren (roll), tanqaj (pitch) və vurnuxma (yaw) bucaqları və xətti təcili haqqında informasiyanı hesablayıb lazımi sistemlərə ötürməkdir. Bu məlumatlar naviqasiya hesablamaları və kren-tanqaj displeyləri üçün istifadə olunur [9].

Mülki təyyarələrdə istifadə olunan İNS naviqasiya məlumatlarını lazımi sistemlərə (FMS-Flight management system, EFIS- Electronic flight instrument system və s.) ötürür. Sistem tərkibinə iki və ya üç ədəd İRU daxildir. Burada hər bir İRU üç ədəd lazer giroskopuna və üç ədəd akselerometrə malikdir. Bunlar da uyğun olaraq xətti təcili və bucaq sürətini verirlər. Sistem hava verilənləri kompyuteri (ADC) və uçuşu idarətmə kompyuterindən (FMC) əlavə məlumatlar alaraq naviqasiya parametrlərini hesablayır. Sistemin idarə olunması inersial sistemin rejim panelinin (IRMP-İnertial reference mode panel) köməyiylə həyata keçirilir [9, 10].

İnersial naviqasiya sistemi əsasən 2 qrupa ayrılır:

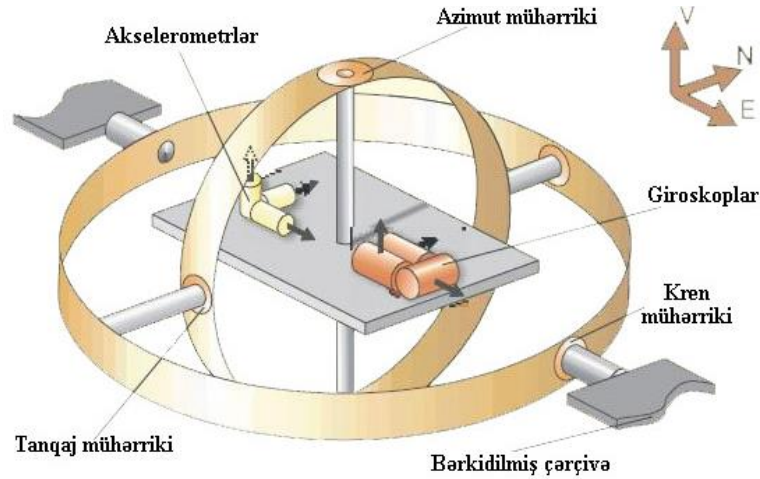
- Platformalı (Gimbale) sistemlər
- Platformasız (Strap-down) sistemlər

Platformalı sistemlərdə dayaq koordinat sistemi giroskop və akselerometrlərin stabiləşdirilmiş platformada yerləşdirilməsi yolu ilə alınır. Müasir İNS əsasən platformasız şəkildə qurulur. Burada akselerometrlərin ani çıxış sənədləri birbaşa kompyutərə daxil olur və dayaq

koordinat sistemində həm ani istiqamət, həm də bu istiqamətə uyğun korreksiya siqnalları hesablanır.

Platformalı İNS. Kardan asqı sistemi (Gimbaled) adlanan quruluş mexaniki bir sistemdir. Burada bir-birinə perpendikulyar olan sərbəst fırlanan ox üzrə istiqamətlənmiş üç ədəd akselerometr və 3 ədəd giroskopdan istifadə edilir. Bu qurğunun mərkəzində bir tərpnəmz lövhə üzərinə üç istiqamətdə ölçü apara biləcək şəkildə giroskoplar və akselerometrlər yerləşdirilmişdir. Platformalı İMU-nun quruluşu şək. 2-də göstərilmişdir [7, 11].

Sabit platforma üzərində olan giroskoplar platformanın hər hansı bir dönmə anını müəyyən etmək üçün istifadə edilir. Əldə edilən məlumatlar əsasında platformanın müvazinətdə qala bilməsini təmin etmək məqsədilə əks əlaqə dövrləri istifadə edilir.

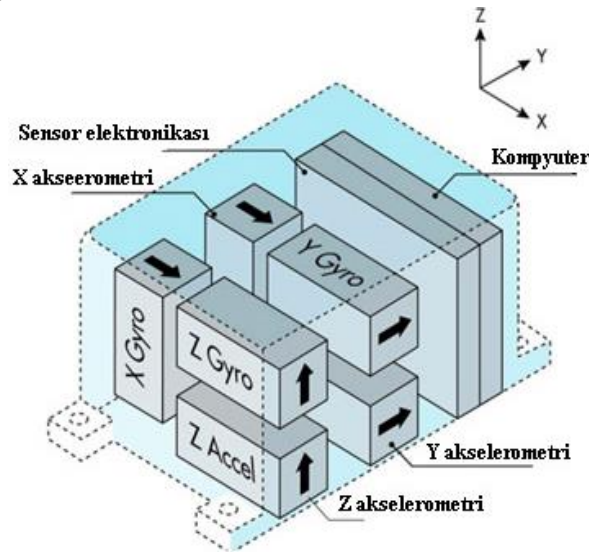


Şək. 2. Platformalı İMU

Bu növ sistem bəzi çatışmazlıqlara malikdir:

- bağlantı nöqtələri sürtünməyə məruz qalır;
- platforma sistemini naviqasiya sisteminə uyğun hala gətirə bilmək üçün enerji tələb olunur;
- sistemin kalibrasiyası çox çətindir və davamlı texniki xidmət tələb edir;
- enerji sərfi çoxdur, böyük kütləyə, qabaritə malikdir və bahadır.

Platformasız İNS. Platformasız İNS platformalı İNS sistemi ilə müqayisədə daha sadə konstruksiyaya malikdir. Platformasız (Strapdown) inersial naviqasiya qurğusunda ümumi sxem konstruksiyasının MEMS duyğacıları sabit bir çərçivə üzərinə üç istiqamətdə ölçü apara biləcək şəkildə yerləşdirilir (şək. 3).

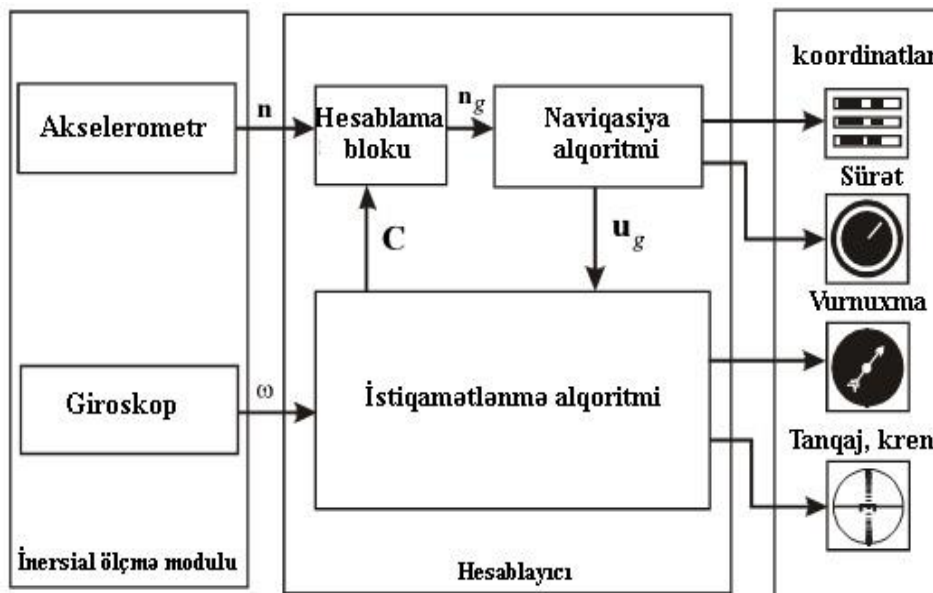


Şək. 3. Platformasız İMU

Platformasız İNS hərəkətli obyekt üzərində quraşdırılaraq, 3 ədəd akselerometr, 3 ədəd giroskop, duyğaların elektronikasından və hesablayıcıdan ibarət olub, mexaniki hərəkətə malik deyildir. Burada, qravitasiya sahəsinin intensivliyinin akselerometrlərdə hərəkətdən yaranan təcil ilə qarışmasını əngəlləyən mexaniki sistem platformasız konstruksiyada yoxdur.

Platformasız İNS-in qurulması üçün lazım olan əsas blokları ayırmaq olar (şək. 4.) [11].

- akselerometrlər bloku; giroskoplar bloku; hesablama bloku; naviqasiya alqoritmi; istiqamətlənmə alqoritmi.



Şək. 4. Platformasız İNS-in ümumiləşdirilmiş funksional sxemi

Elektronika və mikroprosessor texnikasının inkişafı nəticəsində ölçmələrin yüksək sürətlə aparılması platformasız İNS-ə keçməyə imkan vermişdir. Platformasız naviqasiya sistemlərində hesablama prosesi iki alqoritmə ayrılır: istiqamətlənmə alqoritmi və naviqasiya alqoritmi. Naviqasiya alqoritmi - obyektin olduğu yerin koordinatlarını və sürətlərini hesablamaq üçün nəzərdə tutulmuşdur və əlavə olaraq normal koordinat sisteminin u_g mütləq bucaq sürətinin vektorunu formalaşdırır. İstiqamətlənmə alqoritmi – istiqamətlənmə məsələsini həll etmək və hesablama blokunda istifadə olunan C keçid matrisini formalaşdırmaq üçün istifadə edilir. İstiqamətlənmə alqoritmi Eyer-Krilov bucaqları, istiqamətlənmiş kosinuslar, kvaternionlar və s. kimi müxtəlif kinematik parametrlərdən istifadə edilərək qurula bilər [12].

Qeyd edək ki, Platformasız İNS girostabiləşdirilmiş platformalı İNS ilə müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir. Mürəkkəb elektromexanika qurğusu olan girostabiləşdirilmiş platformanın olmaması, konstruksiyanın kiçikölçülü olması, aşağı enerji sərfiyyatı və ucuz olaraq istehsal edilə bilməsi baxımından, son illərdə daha geniş istifadə olunur. Bundan əlavə, İNS sistemi və onun içərisində yerləşən ümumi quruluş hərbi baxımdan bir çox döyüş maşınlarında (sualtı qayıqlar, tanklar və s.) və ya avtomatlaşdırma sistemlərində də istifadə oluna bilər.

İnersial sistemlərin xətalari. İNS-in dizaynı üçün standartlar olmadığından burada xəta mənbələri olduqca çoxdur [7]:

- Mövqe və sürətin ilkin qiymətlərinin müəyyənəşdirilməsindən yaranan sıfırlama xətalari.
- Kardan asqı sisteminin başlanğıc istiqamətlənmə vaxtları və ya strapdown sistemlərdə orientasiya istiqamətinin naviqasiya oxlarına görə kosinusdan meydana gələn istiqamət xətalari.
- Zaman keçdikcə duyğaların kalibrasiyasında yaranan dəyişikliklərdən meydana gələn kompensasiya xətalari.
- Qravitasiya model xətalari.

İnersial naviqasiyada istifadə edilən giroskoplar üçün xəta modelləri əsasən iki məqsəd üçün istifadə edilir:

1. Giroskopun parametr funksiyalarının müəyyən edilməsi.

2. Yaranan xətlərin kalibrasiyası və kompensasiya edilməsi.

Giroskoplarda əsas xəta mənbələri sıfırın dreyfi, ox sürüşmələri, təcilə həssaslığı və s. aiddir. Akselerometrlər üçün əsas xəta mənbələri isə meyletmələr, sərbəstdüşmə təcilinin təsirləri, bucaq təcili həssaslığı və s. aiddir [8].

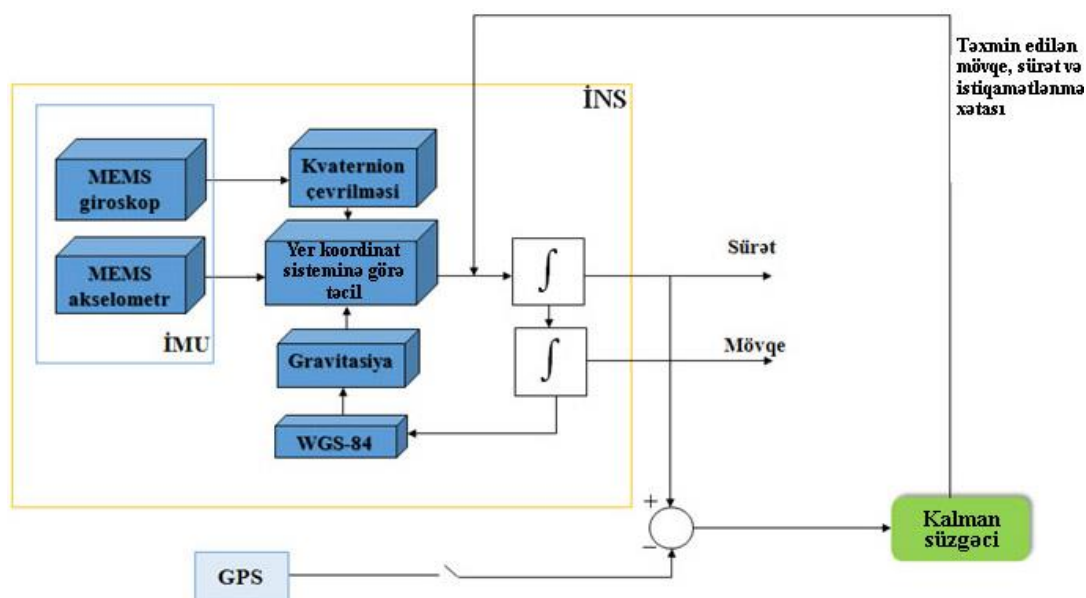
Pilotsuz uçuş aparatları üçün İNS modeli. Avtonom nəqliyyat vasitələrində mövqenin hesablanması üçün ilk əvvəl gövdəyə nəzərən ölçülən təcil qiymətlərinin Yer koordinat sistemində çevrilməsi lazımdır. Bunun üçün kvaternion çevrilməsi alqoritmi və ya DCM (Direction Cosine Matrix) matrisləri istifadə edilir. Yuxarıda qoyulan məsələnin reallaşdırılması üçün kvaternionlar üzərində qurulmuş kinematik tənliklərdən istifadə olunması ən optimal yoldur. Kvaternion üsulu W.R. Hamilton tərəfindən riyazi məqsədlər üçün hazırlanmış, olduqca mürəkkəb və yüksək səmərəli bir metoddur. Bu tip tənliklər xəttidir və obyektin müxtəlif vəziyyətlərində xəta yaratmır. Bundan əlavə kvaternion tənliklərinin sayı 4-dür və onlar bir əlaqə tənliyi tətbiq olunmaqla qurula bilər [3, 12].

Şək. 5-də kiçikölçülü pilotsuz uçuş aparatları üçün MEMS duyğacıları əsasında İNS-in modeli təklif olunmuşdur. Burada kvaternion çevrilməsində giroskoplardan alınan bucaq sürətlərindən təyyarənin bucaq vəziyyəti hesablanır. Əldə edilən bucaq məlumatı istifadə edilərək, təyyarə istinad sistemindən Yer koordinat sistemində çevirici matris tapılır. Bu matris ilə akselerometrlərdə ölçülən təcil vurulur. Alınan qiymətlərdən sərbəstdüşmə təcili çıxıldığında Yer koordinat sistemində görə təyyarənin təcilləri əldə edilir. Yer koordinat sistemindəki təcillər inteqrallanaraq təyyarənin sürət və mövqeyi hesablanır. Bundan başqa, sərbəstdüşmə təcili koordinatlara və hündürlüyə görə dəyişdiyindən mövqe məlumatına görə qravitasiyanın hesablanması lazımdır. İnersial naviqasiya sisteminin WGS-84 (1984 Dünya Geodezik Sistemi) modelə görə qravitasiyanın hesablanması da, ölçmələrin dəqiq olması baxımından vacib olan bir faktordur.

Ən optimal variant Kalman süzğəci istifadə edilərək GPS kimi köməkçi bir qəbulədicinin qoşulduğu İMU-dan alınan təcil və bucaq sürətindən istifadə edilərək yaradılan süzğəc modelidir. Məlum olduğu kimi, Kalman süzğəcində sistem və müşahidə modeli olaraq, iki model mövcuddur və modelin çıxışında xəta minimuma endirilir. Bu modellərdə sistem modelini nəqliyyat vasitəsinin kinematik tənlikləri və əlaqədar vəziyyət dəyişənləri təşkil edir. Köməkçi sistem və ya müşahidə modeli isə mövqe və sürət məlumatlarını verən GPS və s. kimi naviqasiya sistemləridir. Əgər PUA-ya xüsusi hallarda radioəlaqə olmadan uçuşu davam etdirmək tapşırığı verilsə, bu zaman sistem GPS-i birmənalı (mikroelektromexaniki) ayıraraq yalnız İNS məlumatlarına əsasən uçuşu yerinə yetirə bilər. Bu zaman İNS kənar təsirlərin qarşısını almaq üçün xüsusi olaraq ekranlaşdırılmalıdır.

İMU-dan gələn ölçmələrin tezliyi yüksək olduğundan dolayı hesablama baxımından yük böyük olur. Bu çatışmamazlığı aradan qaldırmaq üçün birbaşa və dolayı əks əlaqəli metodlardan istifadə oluna bilər. Bu metodlarda təxmin edilən vəziyyət dəyişmələri xəta qiymətləridir. İNS və köməkçi naviqasiya sistemlərinin ölçmələri arasındakı fərq müşahidə edilən xəta olaraq müşahidə modelində istifadə edilir. Eyni qayda ilə sistem modeli də xətanın inersial naviqasiya tənlikləri ilə modelləşdirilməsini özündə birləşdirir. Dolayısı əks əlaqəli süzğəcinin çatışmamazlığı xəta qiymətlərindəki sonsuz artma vəziyyətidir. Buna görə də, ən optimal variant kimi birbaşa əks əlaqəli metoddan istifadə etmək daha məqsədəuyğundur. Bu metodda təxmin edilən xətanın qiyməti birbaşa inersial naviqasiya sistemində geri qaytarılır. Bu tip əks əlaqə birləşməsindən istifadə etməklə müşahidə edilən xəta qiymətlərinin artmasını minimuma endirmək olar.

PUA-lardan sualıtı qayıqlara qədər, bir çox hərəkətli vasitələrdə istifadə edilən İNS-in ölçmə nəticələrinin çox həssas və dəqiq olması, bu sistemi xüsusilə GPS siqnallarının olmadığı hallarda daha da gərəklidir. Bundan əlavə mövqenin tapılmasında istifadə ediləcək alqoritm yüksək bir seçmə tezliyində təkrar ediləcəyi üçün hesablama nə qədər sadə olarsa, sistemin yekun məlumatı formalaşdırılma müddəti də, bir o qədər azalacaqdır.



Şəkil 5. Pilotsuz uçuş aparatları üçün İNS modeli

Nəticə. Mikromexaniki akselerometr və giroskop əsasında maneələrə qarşı dayanıqlı İNS-in optimal modelinin işlənməsi və tədqiqi istifadə edilə biləcək yüksək texnologiyalı müdafiə sistemlərini inkişaf etdirməyə, eləcə də kənar təsirlərdən asılılığını mümkün qədər azaltmağa imkan verə bilər. İşdə inersial naviqasiya sistemlərinin qurulma prinsipləri araşdırılmış, perspektiv inkişaf istiqamətləri müəyyənləşdirilmiş və kiçikölçülü pilotsuz uçuş aparatları üçün optimallaşdırılmış parametrlərə malik MEMS qurğuları əsasında inersial naviqasiya sisteminin modeli təklif olunmuşdur. Modeldə GPS və Kalman süzgəci istifadə edildiyindən müşahidə edilən xəta qiymətlərinin artması minimuma endirilir. Təklif edilən İNS modelinin əsas üstünlükləri avtonomluq, universallıq, maneəyə davamlılıq və dəqiqlikdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Тимошенко С.П. Применение МЭМС - сенсоров в системах навигации и ориентации подвижных объектов / С.П. Тимошенко, А.П. Кульчицкий // Известия вузов. Электроника. 2012. - №6 .– С.51-56.
2. George T. Schmidt. INS/GPS Technology Trend. Advances in Navigation Düyğacs and Integration Technology, Published February 2004. ISBN 92-837-1114-9.
3. E. Büşdok, A.E. Özçelik İnersiyal navigasyon sistemleri. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu UZAL-CBS 2008, Kayseri. Səh. 585-594.
4. Nəbiyev R.N., A.Z. Məmmədov. Mikroelektromexaniki akselerometr və giroskopların parametrlərinin müqayisəli təhlili. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı-2018, №3, Cild10. səh. 7-20. (iyul-sentyabr).
5. Степанов О.А. Особенности построения и перспективы развития навигационных инерциально-спутниковых систем. /Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации. Сб. статей докл. СПб. 2001.
6. KEVIN J. WALCHKO, "Low cost Inertial Navigation: Learning to Integrate Noise and Find Your Way" A Thesis Presented to The Graduate School of The University Of Florida in Partial Fulfillment of The Requirements For The Degree of Master of Science (2002).
7. Özçelik A.E., 2009. "Kalman Filtrləmə Yöntemi kullanilaraq GPS/İNS Veri Entegrasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
8. A.Z. Bədəlov, R.N. Nəbiyev, A.Z. Məmmədov. Uçuş aparatlarının şaquli sürətlərinin ölçülməsinin xüsusiyyətləri. Monoqrafiya. Bakı, MAA, 2018, 208 səh.
9. A.Z. Bədəlov, R.N. Nəbiyev, A.Z. Məmmədov. Aviasiya cihazları və informasiya-ölçmə sistemləri. Dərslik. Bakı, MAA, 2017, 382 səh.
10. Boeing 767 Maintenance Training Manual. Navigation Systems. 2012.

11. Т.С. Milli Egitim Bakanliđı, Uçak Bakım., Modul “Digital Uçak Sistemleri”. Ankara-2011, 80 səh.
12. Матвеев В.В. Инерциальные навигационные системы: Учебное пособие. Изд –во ТулГУ, 2012.-199 с.

REFERENCES

1. Тимошенков С.Р. Применение MGMS - дуьгачов в системах навигации и ориентации подвижных объектов / С.Р. Тимошенков, А.Р. Кургчиукий // Известия вузов. Электроника. 2012. - №6 .– S.51-56.
2. George T. Schmidt. INS/GPS Technology Trend. Advances in Navigation Dyuğacs and Integration Technology, Published February 2004. ISBN 92-837-1114-9.
3. Bushdok E., Ozchelik A.E. İnersiyal navigasyon sistemleri. Uzaktan Algılama ve Cografi Bilgi Sistemleri Sempozyumu UZAL-CBS 2008, Kayseri. Seh. 585-594.
4. Nabiyev R.N., A.Z. Mammadov. Mikroelektromekhaniki akselerometr ve giroskopların parametrlerinin muqayiseli tahlili. Azərbaycan Muhandislik Akademiyasının Xaberleri, Bakı-2018, №3, Cild10. seh. 7-20.
5. Stepanov O.A. Osobennosti postroeniya i perspektivy razvitiya navigatsionnykh inertsiyalno-sputnikovyx sistem. /İnteqrirovannıe inertsiyalno-sputnikovıe sistemi navigatsii. Sb. statey dokl. SPb. 2001.
6. KEVIN J. WALCHKO, “Low cost Inertial Navigation: Learning to Integrate Noise and Find Your Way” A Thesis Presented to The Graduate School of The University Of Florida in Partial Fulfillment of The Requirements For The Degree of Master of Science (2002).
7. Ozchelik A.E., 2009. “Kalman Filtrleme Yontemi kullanilaraq GPS/İNS Veri Entegrasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Universitesi Fen Bilimleri Enstitusu, Kayseri.
8. Badalov A.Z., Nabiyev R.N., Mammadov A.Z. Uchush aparatlarının shaquli suretlerinin olchulmesinin hususiyetleri. Monoqrafiya. Bakı, MAA, 2018, 208 seh.
9. Badalov A.Z., Nabiyev R.N., Mammadov A.Z. Aviasiya cihazları və informasiya-olchme sistemleri. Derslik. Bakı, MAA, 2017, 382 seh.
10. Boeing 767 Maintenance Training Manual. Navigation Systems. 2012.
11. Т.С. Milli Egitim Bakanliđı, Uçak Bakım., Modul “Digital Uçak Sistemleri”. Ankara-2011, 80 seh.
12. Matveev V.V. İnersiyalnye navigatsionnye sistemi: Uchebnoe posobie. İzd –vo TulQU, 2012.-199 s.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Р.Н. Набиев, А.З. Мамедов

Из-за атмосферных условий и физической среды наблюдается исчезновение коротковременных сигналов GPS. Помехоустойчивость инерциальной навигационной системы (ИНС) очень высока, поэтому надежность полетов обеспечивается даже при условиях высокоинтенсивных шумов. В данной статье рассмотрены вопросы по принципу работы, структуре, по преимуществу и недостаткам платформенных и бесплатформенных ИНС и показаны основные причины, подтверждающие важность использования этих систем. В работе предложена модель ИНС на основе МЭМС датчиков с оптимизированными параметрами для малогабаритных беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, инерциальная навигационная система, инерциальный измерительный модуль, гироскоп, крен, тангаж, курс, позиционирование, скорость, угол.

**PRINCIPLES OF CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES OF
INERTIAL NAVIGATION SYSTEM**

R.N. Nəbiyev, A.Z. Məmmədov

Because of the atmosphere condition and physical environmental impacts there occurs the short-term disappearance of GPS signals. As the high durability of inertial navigation system (INS) again obstacles it becomes possible to provide reliable flights in high intensive noisy condition. In this article various issues have been discussed, including the structure, functioning principles, advantages and disadvantages of the gimbaled and strapdown INS, and the main reasons, conditioning the importance of this system. In the work there has been proposed the model of INS on the base of MEMS with optimized parameters for small-sized unmanned aerial vehicles.

Key words: *unmanned aerial vehicle, inertial navigation system, inertial measurement unit, gyroscope, roll, pitch, heading, positioning, rate, angle.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı: Nəbiyev Rasim Nəсіб oğlu

İş yeri: Milli Aviasiya Akademiyası, ETNAPİ

Vəzifəsi: Aviasiya elektronikasısı şöbəsinin rəisi, t.e.d., professor

Maraq sahəsi: aviasiya texnikası; aeronaviqasiya, cihazqayırma, elektronika.

E-mail: nabiyevrasim@gmail.com

Əlaqə telefonu: +994 55 754 76 46

Soyadı, adı, atasının adı: Məmmədov Aftəndil Zəkəli oğlu

İş yeri: Milli Aviasiya Akademiyası

Vəzifəsi: Aerokosmik cihazlar kafedrasının dosenti, t.f.d.

Maraq sahəsi: cihazqayırma; naviqasiya sistemləri

E-mail: aftandil855@mail.ru

Əlaqə telefonu: +994 77 420 01 65

Rəyçi: *t.f.d., dos., T.İ. Kərimli*