

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сушич Олексій Петрович

УДК 621.396:621.372

ДОСТУПНІСТЬ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРИ УПРАВЛІННІ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

05.22.13 — Навігація та управління повітряним рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному авіаційному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки
Харченко Володимир Петрович,
Національний авіаційний університет,
завідувач кафедри аеронавігаційних систем,
проректор з наукової роботи НАУ

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор,
Сібрuck Леонід Вікторович,
Національний авіаційний університет,
завідувач кафедри електродинаміки НАУ

- кандидат технічних наук,
Бондаренко Олександр Миколайович,
Міністерство промислової політики України,
головний спеціаліст Департаменту науково-технічного, інноваційного забезпечення

Провідна установа: Авіаційний науково-технічний комплекс
ім. О.К. Антонова Міністерства промислової
політики України, м. Київ

Захист відбудеться “ 7 ” червня 2006 р. о 16³⁰ годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.03 при Національному
авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта
Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету.

Автореферат розісланий “ 5 ” травня 2006 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент _____ С.В. Павлова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Майбутнє повітряного транспорту пов'язане із процесами безпечного й ефективного задоволення зростаючого попиту на авіаперевезення, при забезпеченні більш доступної та точної навігації й збільшенню обсягу спостереження за підтримкою надійних засобів зв'язку, навігації й спостереження в раціонально організованій системі повітряного руху. Для досягнення цієї мети Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) і Євроконтроль рекомендували створити і впровадити нову аеронавігаційну систему з використанням супутникових технологій.

Аналіз останніх досліджень в області оцінки характеристик сигналу супутникових навігаційних систем (СНС) GPS і ГЛОНАСС показав, що у певних районах Землі має місце короткочасне погіршення характеристик сигналу глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS), що приводить до неможливості виконання ряду навігаційних задач (визначення просторових координат, швидкості повітряного судна, тощо) у цих районах. При цьому розташування цих районів, час виникнення і тривалість періоду погіршення характеристик сигналу GNSS постійно змінюються. Зміна характеристик сигналу GNSS у просторі викликано особливостями руху навігаційних супутників (НС) на певних орбітах, що призводить до виникнення унікальної для кожного моменту часу конфігурації розташування НС відносно Землі, внаслідок цього характеристики сигналу GNSS виявляються не завжди придатними для рішення навігаційного завдання, а у окремих випадках рішення завдання стає неможливим.

У зв'язку із цим виникає необхідність попередньої оцінки та моніторингу доступності GNSS, тобто можливості використання GNSS для рішення завдань навігації рухомих об'єктів з необхідною вірогідністю відповідно до міжнародних вимог. При цьому поряд з характеристиками надійності апаратури формування й приймання навігаційної інформації, необхідно враховувати також характеристики положення НС стосовно апаратури споживача. Це передбачає попередню оцінку набору складових характеристик, що впливають на доступність GNSS у кожній точці конкретного маршруту польоту повітряного корабля (ПК).

Питанням оцінки доступності GNSS присвячено ряд робіт. На жаль, у даних роботах немає комплексного підходу до визначення доступності і можливості застосування GNSS для конкретного маршруту польоту ПК.

Тому розробка методик та алгоритмів роботи апаратно-програмних комплексів оцінки доступності GNSS у кожній точці конкретного маршруту польоту ПК є вкрай актуальною та необхідною для ефективного і безпечного управління повітряним рухом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках наступних НДР: 5.03.4 “Автоматизована

система прогнозування доступності навігаційних супутників” договір № ДЗ/10 – 2003 від “29” квітня 2003 р. і угода № 1 від 16 квітня 2004 р. на підставі Наказу Міністерства освіти і науки України від 19 березня 2003 р. № 144, номер держ. реєстрації 0103U006633; № 145ДБ-04 “Дослідження проблеми і розробка методів підвищення завадостійкості супутникових систем навігації” замовлення Міністерства освіти і науки України, номер держ. реєстрації 0104U003742; № 92525/29 “Розробка нової технології захисту екологічно небезпечних промислових об'єктів від радіокерованих засобів поразки із супутниковим наведенням” від 1 квітня 2004 р., замовлення Міністерства промислової політики України, номер держ. реєстрації 0104U008248; №372-01/042-X01/40 “Розробка науково-технічних аспектів впровадження системи CNS/ATM та визначення критеріїв впровадження і економічної доцільності”, замовлення Державного департаменту авіаційного транспорту на 2001-2002 р.р., номер держ. реєстрації 0101U007420; №009ДБ-01 “Розробка методів і комп'ютеризованих засобів багатоальтернативного виявлення та розв'язання конфліктних ситуацій в соціотехнічних системах” номер держ. реєстрації 0101U002726; №814ДБ-98 “Розробка принципів побудови і моделювання на основі інтелектуальних систем із базою знань і розпізнаванням критичних ситуацій ефективної поліергатичної системи”, виконаної за дорученням Кабінету Міністрів України від 26.04.99, №26677/14, спільним Наказом Міністра транспорту та Міністра оборони від 09.10.98, №397/378, розпорядженням Державної авіаційної адміністрації України від 27.05.99, №61, номер держ. реєстрації 0198U000704.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка моделі, методик та алгоритмів апаратно-програмного комплексу оцінки доступності СНС для довільних маршрутів та часу польоту ПК, обладнаного засобами супутникової радіонавігації, для підтримки необхідного рівня безпеки польотів.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

- розробити комплексний підхід визначення доступності СНС для довільних маршрутів та часу польоту ПК;
- вибрати та обґрунтувати методику та критерії оцінки доступності СНС на всіх етапах польоту ПК;
- розробити алгоритмічні та програмні основи визначення доступності СНС;
- розробити склад, функціональне призначення та визначити основні принципи побудови елементів апаратно-програмного комплексу визначення доступності СНС;
- підтвердити ефективність розроблених методик та алгоритмів шляхом верифікації отриманих результатів розрахунку доступності СНС

апаратно-програмним комплексом з даними, отриманими від високоточного двосистемного навігаційного приймача.

Об'єкт дослідження – супутникові радіонавігаційні системи.

Предмет дослідження – доступність СНС при польоті ПК за маршрутом.

Методи дослідження. Проведенні дослідження базуються на методах математичного аналізу, матричної алгебри, теорії ймовірності, статистичного та імітаційного моделювання та технічного проектування, з використанням комп'ютерної техніки і сучасних програмних комплексів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в:

- розробці нового комплексного підходу оцінки доступності СНС із застосуванням агрегативної моделі, як основи для параметризації узагальненого показника доступності СНС і розробки відповідного алгоритмічного забезпечення;

- розробці узагальненої моделі оцінки складових доступності СНС для будь-якої точки маршруту польоту ПК з метою планування і розбору польотів, при плановому відключенні НС та при використанні декількох незалежних СНС;

- підвищенні достовірності оцінки доступності за рахунок використання в моделях експериментальних вхідних даних та порівнянні результатів оцінювання доступності з даними вимірів високоточних супутникових навігаційних приймачів;

- розробці методики оцінки впливу факторів погіршення точності на доступність та похибки позиціювання сучасних СНС, що дозволяє оцінити можливість використання СНС для навігаційних визначень з урахуванням можливих конфігурацій супутників на маршруті польоту ПК;

- отриманні оптимальних умов конфігурації розміщення НС у складі супутникових сузір'їв по відношенню до користувача, які дозволяють мінімізувати вплив факторів погіршення точності на доступність СНС;

- розроблені комплексної методики й узагальненого алгоритму оцінки доступності СНС. Доведено, що запропонована методика й алгоритм є універсальними, і не вимагають переробки у випадку запровадження в дію нових СНС, за винятком частини, в якій проводиться розрахунок координат навігаційних супутників і часу навігаційної системи.

Практичне значення отриманих результатів. Реалізація теоретичних і технічних рішень, одержаних при виконанні дисертаційної роботи, та результати випробувань апаратно-програмного комплексу оцінки доступності дозволяють підтримати необхідний рівень безпеки польотів ПК, обладнаних засобами супутникової навігації, за рахунок того, що ще на етапі планування польоту екіпаж та диспетчер матимуть уже інформацію щодо доступності НС у будь-якій точці маршруту польоту ПК. Застосування подібного комплексу на борту ПК на етапі виконання

польоту, зокрема в умовах вільного польоту (Free Flight), дозволить проводити оперативну оцінку доступності маршруту польоту ПК.

Використання комплексу оцінки доступності в геодезії дозволяє проводити оптимальне планування сеансів геодезичної зйомки місцевості.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи, які становлять суть дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. В працях, виконаних у співавторстві, особисто автором розроблено модель, методику та узагальнений алгоритм комплексної оцінки доступності СНС.

У працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: у праці [2] розробка агрегативної моделі доступності НС; у праці [3] розробка методики моніторингу геометричних факторів СНС; у праці [4] розробка підходу оцінки цілісності радіоелектронних засобів, як джерела аеронавігаційної інформації, за допомогою агрегативної моделі; у праці [5] оцінка визначення похибок позиціювання в інтегрованих СНС; у праці [6] визначення параметрів мінімізації впливу геометричних факторів на точність визначення координат; у праці [7] розробка концепції побудови автоматизованої системи визначення доступності СНС.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи обговорювалися на: IV та V Міжнародній науковій конференції “ABIA-2002” та “ABIA-2003” (Київ, НАУ, 2002, 2003); IV Міжнародній науковій конференції студентів та молодих учених “Політ” (Київ, НАУ, 2004); Конференції, присвяченій Сучасному стану і перспективам розробки, виробництва і застосування безпілотних літальних апаратів в Україні (Київ, НЦ ПС ЗС України, 2005), The Second World Congress “Aviation in the XXI-st Century”: “Safety in Aviation” (Київ НАУ, 2005), XV Науково-технічній конференції “Наукові проблеми розробки, модернізації та застосування інформаційно-вимірювальних систем космічного і наземного базування” (Житомир, ЖВІРЕ, 2006).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових праць, із них 10 статей в збірниках наукових праць, у тому числі 5 статей в провідних фахових виданнях, 5 статей і 3 тези у збірниках праць вітчизняних та міжнародних конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів та висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 136 сторінок, у тому числі 35 рисунків, 10 таблиць. Список використаних джерел містить 102 найменування на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ до дисертації містить обґрунтування актуальності теми досліджень, формулювання мети та завдань дисертаційної роботи, визначення об'єкта та предмета дослідження, методологічну основу

досліджень, опис основних наукових результатів, їхньої новизни та практичної цінності, зв'язок роботи з науковими програмами і темами, а також відомості про публікації, апробацію та структуру роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз особливостей застосування СНС в аеронавігації відповідно до концепції CNS/ATM, Free Flight і забезпечення вірогідності навігаційних визначень з урахуванням ряду внутрішніх і зовнішніх факторів, зроблено детальний аналіз якості функціонування і основних характеристик сучасних СНС та стандарту доступності СНС. В кінці розділу наведено обґрунтування завдань досліджень.

Основна функціональна значимість СНС при управлінні повітряним рухом полягає у розв'язанні двох основних завдань: визначення поточних координат ПК і забезпечення необхідного рівня безпеки повітряного руху на всіх етапах маршруту польоту. Перше з перерахованих завдань включає позиціонування в СНС, друге – регламентується необхідними навігаційними характеристиками (RNP) для всіх етапів маршруту польоту ПК, від етапу зльоту до етапу заходу на посадку й посадки.

Точність навігаційних визначень певною мірою залежить від ряду внутрішніх і зовнішніх факторів: взаємного розташування супутників відносно споживача; стабільності часу; якості ефемерид НС; якості обробки сигналу в приймачі споживача; погіршення навігаційного сигналу шумом приймача; рефракції сигналу в іоносфері й тропосфері Землі; багатопроміненості поширення радіохвиль; незапланованих відмов та ін..

Концепція сучасних СНС не передбачає контроль оцінки поточних характеристик визначення місця положення споживача у режимі реального часу, контролюється тільки значення похибки визначення дальності за далекомірним кодом в режимі визначення координат з підвищеною точністю (UREs SIS PPS) у режимі майже реального часу для гарантії забезпечення і дотримання необхідних робочих характеристик. При цьому контроль обмежений зоною видимості станції спостереження її технічними характеристиками і вимогами до забезпечення зв'язку.

Якщо СНС має низьку експлуатаційну готовність, обумовлену орбітальним рухом супутників або зоною покриття, що призводить до похибок на коротких інтервалах часу її застосування можливе при обмеженні часу використання на періоди, коли система недоступна. Для визначення цих часових періодів необхідно проводити попередній аналіз доступності СНС. Доступність безпосередньо пов'язана з зоною покриття і геометричним розташуванням НС відносно споживача чи ПК. Однією з основних кількісних характеристик оцінки доступності є фактор погіршення точності (Dilution of Precision – DOP), що розраховується за даними, переданим з НС, та входить у розрахункові співвідношення для оцінки точності, цілісності, безперервності й експлуатаційної готовності. Для підтримання необхідного рівня доступності значення просторового

фактору погіршення точності (PDOP) не повинно перевищувати заданої величини.

Необхідні навігаційні характеристики є комплексом навігаційних параметрів, які необхідно забезпечувати в межах певного повітряного простору.

Рішення завдання оцінки характеристики доступності СНС з урахуванням фактора погіршення точності пов'язана з певними труднощами. Основною складністю при цьому є відсутність повного набору характеристик, що впливають на доступність СНС. Для цього необхідно:

- визначити узагальнений показник доступності СНС із урахуванням набору її m складових, у тому числі фактора погіршення точності: $F(S_i^D) = \Psi(\varphi_i)$, $i = \overline{1, m}$, де φ_i – функціонал, що описує ступінь впливу i - тої характеристики якості функціонування СНС на її доступність; m – кількість характеристик СНС, які впливають на показник доступності;

- розробити методику оцінки фактора погіршення точності з урахуванням набору складових L , що істотно впливають на доступність СНС: $F_{DOP} = \varphi(\zeta_l)$, $l = \overline{1, L}$, де ζ_l – функціонал, що описує ступінь впливу складової l на фактор погіршення точності; L – кількість характеристик, які впливають на фактор погіршення точності;

- обґрунтувати вимоги до структури й характеристик апаратно-програмного комплексу визначення доступності сузір'я НС на маршруті польотів ПК.

У **другому розділі** розроблено моделі оцінки доступності СНС, що забезпечують необхідний рівень безпеки польотів, та враховують характеристики основного фактора погіршення точності, проведено якісну та кількісну оцінку його впливу на погіршення точності і доступності СНС.

Для оцінки доступності СНС, як джерела аеронавігаційної інформації, розроблено агрегативну модель, яка враховує такі складові впливу на доступність СНС: фактор погіршення точності, середовище поширення радіохвиль та якість функціонування апаратури споживача й i - того НС.

Агрегатами моделі виступають укрупнені функціональні елементи апаратури формування навігаційної інформації НС, що перебуває в зоні видимості апаратури споживача. Вихідними характеристиками моделі є параметри надійності кожного елемента, що дозволяє враховувати ступінь його впливу на доступність СНС.

З урахуванням фактора погіршення точності – DOP, імовірнісна характеристика доступності сузір'я з N НС у загальному вигляді, має вид:

$$P(S^D) = P_{DOP}(t)P_{CP}(t)P_{AP}(t)\prod_{i=1}^N P_{Si}(t), \quad (1)$$

де $P_{DOP}(t)$ – імовірнісна характеристика впливу фактора погіршення точності на доступність; $P_{CP}(t)$ – імовірнісна характеристика впливу середовища поширення радіохвиль на доступність; $P_{AP}(t)$, $P_{Si}(t)$ – імовірнісна характеристика ступеня впливу якості функціонування апаратури споживача й i - того НС на доступність, відповідно; N – кількість НС, що знаходяться у зоні дії апаратури споживача.

Для оцінки впливу геометрії сузір'я НС доступність СНС було проведено дослідження зміни фактора погіршення точності при позиціонуванні, мірою оцінки доступності відповідно до стандарту визначення місця положення зі звичайною точністю є PDOP.

Дослідження дали такі результати: PDOP змінюється в межах $1,6 < PDOP < \infty$, 29 супутників на відкритій місцевості забезпечують надійне визначення координат у 98% випадків при відсутності зовнішніх завад – $PDOP < 6$, надійні визначення мають місце при кутах закриття обрію не більше 7,5 градусів, при кутах закриття 30 градусів визначення з високою точністю практично неможливі, а при кутах 40 градусів задача рішення не має.

Для оцінки впливу геометрії сузір'я НС на доступності та точність позиціонування СНС використано закон поширення похибки або коваріаційний закон:

$$Cov(\Delta U) = (G^T G)^{-1} G^T \cdot Cov(\Delta \bar{\rho}) \cdot G^T (G^T G)^{-1}, \quad (2)$$

де $Cov(\Delta U)$ – коваріаційна матриця оцінки похибки визначення координат користувача; $Cov(\Delta \bar{\rho})$ – коваріаційна матриця похибок псевдовідстаней; G – матриця геометрії, її елементами є напрямки від користувача до НС, що перебуває в зоні його видимості.

Якщо в останньому рівнянні вважати, що модель похибок однакова для всіх вимірів з деяким некорельованим нульовим середнім значенням і стандартним відхиленням (дисперсією) σ_ρ , тоді:

$$Cov(\Delta \bar{\rho}) = \sigma_\rho^2 \cdot I, \quad (3)$$

де I – одинична матриця.

Коваріаційний закон з урахуванням (3) набуде вигляду:

$$Cov(\Delta U) = (G^T G)^{-1} \cdot \sigma_\rho^2.$$

Для кількісної оцінки впливу геометрії сузір'я НС на доступність СНС було виконано моделювання зміни PDOP залежно від значення кутів φ й γ між одиничними векторами \bar{e}_{Si} (рис. 1.), проведеними від споживача до НС та кількості НС від 4 до 12.

Результати моделювання визначення PDOP для 4 НС наведені на рис. 2 – 5.

На рис. 2 по осі X відкладено кут φ , по осі Y – кут γ , а по осі Z – PDOP, яке обмежено значенням 6; на рис. 3 показано залежність PDOP від кутів φ та у γ площині XY на рівні PDOP, що дорівнює 6; на рис. 4 – залежність значення PDOP від кута φ ; на рис. 5 – залежність значення PDOP від кута γ .

Аналогічним способом отримані результати моделювання визначення PDOP для 5 – 12 супутників.

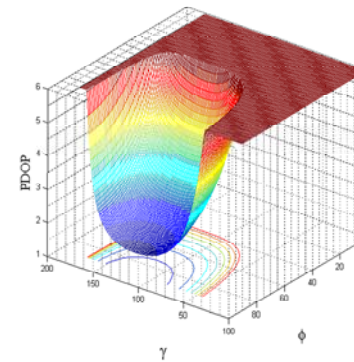
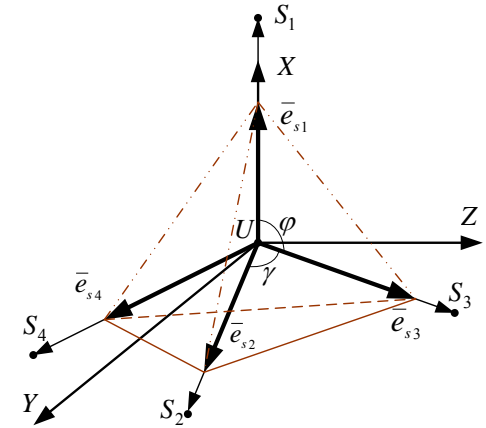


Рис. 2. Значення PDOP для 4-х НС

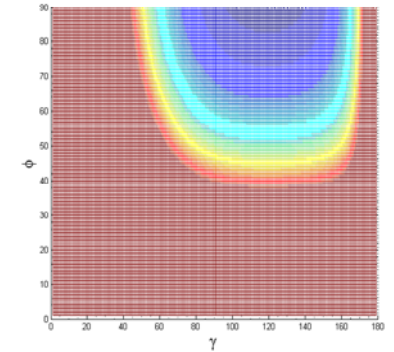


Рис. 3. Залежність PDOP для 4-х НС від кутів φ та у γ площині XY

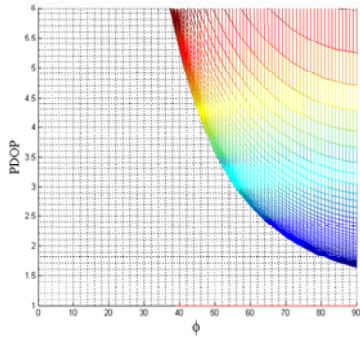


Рис. 4. Залежність значення PDOP для 4-х НС від кута φ

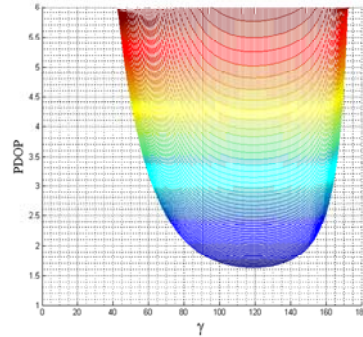


Рис. 5. Залежність значення PDOP для 4-х НС від кута γ

Значення PDOP знаходиться в межах $1,6330 < PDOP < \infty$ для 4 НС і $1,2061 < PDOP < \infty$ для 12 НС. Таким чином, найкраща можлива геометрія обмежується площиною обрію. Оптимально можливі кути φ і γ між одиничними векторами становлять $\varphi = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ для чотирьох НС та $\varphi = 90^\circ$, $\gamma = 32,7272^\circ$ для дванадцяти НС.

Третій розділ присвячений розробці алгоритмічного забезпечення визначення доступності НС на маршруті польотів ПК. Для цього розроблена методика оцінки похибок позиціонування сучасних СНС та узагальнений алгоритм визначення доступності СНС на всіх етапах польоту ПК.

Вихідними даними методики оцінки доступності є просторово-часові координати ПК і НС.

Вихідними даними просторово-часових координат НС є альманах. Розрахунок координат НС проводиться відповідно до інтерфейсних контрольних документів GPS і ГЛОНАСС. Просторово-часові координати ПК задаються в географічній системі координат (B, L, h, t – широта, довгота, висота, час), а альманах навігаційних супутників в орбітальній та геоцентричній системі координат ($e, t_{oa}, i_o, \dot{\Omega}, \sqrt{A}, \Omega_o, \omega, M_o$ – ексцентриситет орбіти, час створення альманаху, нахилення орбіти, швидкість зміни прямого сходження, корінь квадратний з великої півосі орбіти, довгота висхідного вузла орбіти, аргумент перигею орбіти, середня аномалія), а також даних, передбачених інтерфейсними контрольними документами GPS та ГЛОНАСС.

Після визначення координат ПК і НС визначаються кути видимості супутників відповідно споживача в системі координат схід - північ -

нормаль до дотичної площини в точці розташування споживача, далі обчислюються основні фактори погіршення точності.

Можливість використання супутникової навігації, як джерела навігаційної інформації, визначається за значеннями величини факторів погіршення точності.

Узагальнений алгоритм визначення доступності GNSS наведений на рис. 6.

Основні характеристики складових узагальненого алгоритму визначення доступності СНС:

- алгоритми перетворення координат: алгоритм переходу від абсолютної системи координат до систем WGS-84 і ПЗ-90 і назад, алгоритми переходу в топоцентричну систему координат;

- алгоритми розрахунку координат навігаційних супутників GPS і ГЛОНАСС на будь-який момент часу;

- алгоритми розрахунку часу систем GPS, ГЛОНАСС і справжнього зоряного часу на нульовому меридіані;

- алгоритми розрахунку іоносферної корекції;

- алгоритми розрахунку координат споживача, геометричних факторів, кутів видимості навігаційних супутників GPS і ГЛОНАСС.

Узагальнений алгоритм є універсальним і не вимагає переробки у випадку запровадження в дію нових СНС, (наприклад, Galileo) за винятком частини, в якій проводиться розрахунок координат навігаційних супутників і часу навігаційної системи.

На його основі розроблено блок-схему алгоритму роботи апаратно-програмного комплексу визначення доступності (АПК-ВД), визначені основні бази даних та програмні функції, необхідні для рішення завдання з визначення доступності НС у будь-якій точці будь-якого маршруту.

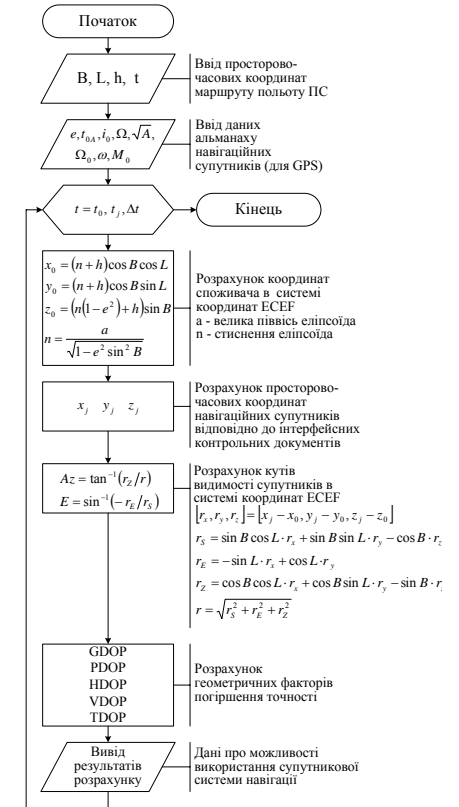


Рис. 6. Узагальнений алгоритм визначення доступності GNSS

Четвертий розділ присвячено розробці АПК-ВД НС на маршруті польотів ПК. Основними принципами побудови АПК-ВД є модульність. Склад функціональних вузлів і елементів АПК-ВД наведено на рис.7. Зовнішній вигляд макету АПК-ВД показано на рис. 8.

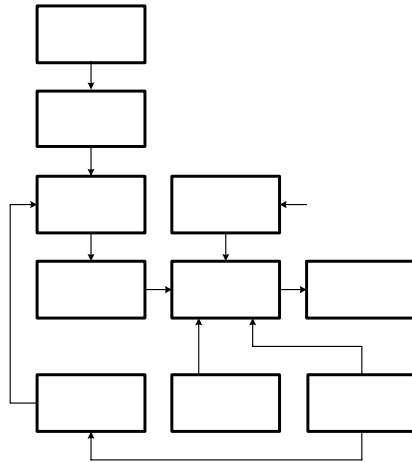


Рис. 7. Склад функціональних вузлів і елементів АПК-ВД



Рис. 8. Зовнішній вигляд макету АПК-ВД

Макет складається з антени з придушенням багатопроменевості, базової станції ProPak-G2 і персонального комп'ютера. Оригінальною складовою частиною АПК-ВД є програмне забезпечення, що за спеціальними алгоритмами виконує обробку даних, прийнятих навігаційним приймачем із супутників, і формує критерії доступності СНС у будь-якій точці маршруту, за яким прогнозується політ ПК.

Загальний вигляд інтерфейсу макету АПК-ВД та результати оцінки доступності НС зображені на рис. 9 – 10: фактори погіршення точності через геометричне розташування НС відносно споживача та доступність НС системи GPS і ГЛОНАСС в процесі спостереження відповідно.

Достовірність та ефективність розроблених методик та алгоритмів була підтверджена шляхом верифікації одержаних АПК-ВД даних з даними, одержаними від високоточних супутникових навігаційних приймачів GG24 та ProPak-G2. Верифікації підлягали такі характеристики:

- номер НС, видимого на час обчислення розрахунків;
- місце розташування НС по азимуту;
- кут піднесення НС;
- математичні очікування значень, що перелічені на кожному НС окремо;

- різниця даних між даними АПК-ВД та даними навігаційного приймача;
- фактори погіршення точності;
- математичне очікування значення факторів погіршення точності;
- дисперсія похибки погіршення точності.

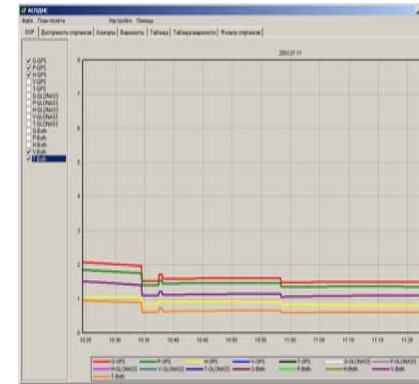


Рис. 9. Фактори погіршення точності



Рис. 10. Доступність НС системи GPS і ГЛОНАСС

На рис. 11 – 14 графічно зображені результати верифікації даних оцінки значення факторів погіршення точності GDOP (рис. 11), PDOP (рис. 12), HDOP (рис. 13), TDOP (рис. 14) де пунктирною лінією показано значення від високоточного супутникового навігаційного приймача, а суцільною значення від АПК-ВД.

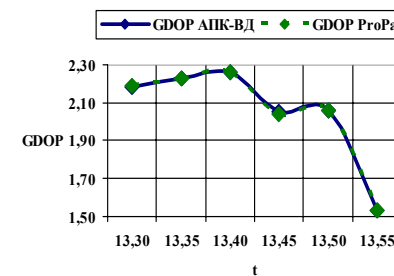


Рис. 11. Верифікація даних параметра GDOP

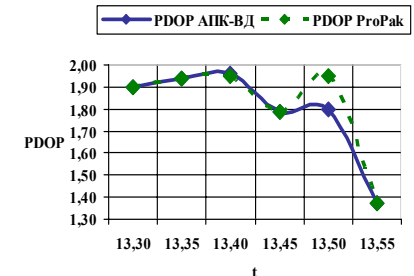


Рис. 12. Верифікація даних параметра PDOP

Пристрій
сполучення з
Internet

До мережі Internet

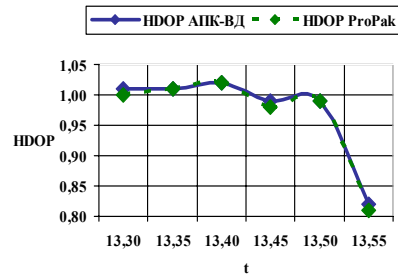


Рис. 13. Верифікація даних параметра HDOP

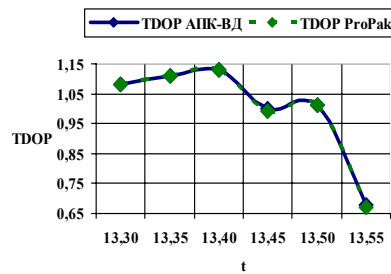


Рис. 14. Верифікація даних параметра TDOP

Застосування АПК-ВД в авіакомпаніях дозволить оцінити доступність НС на маршруті польоту ПК ще на етапі планування та підготовки до польоту, що забезпечить підтримку заданого рівня безпеки польотів під час управління повітряним рухом.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-технічне завдання - розроблено експериментально-теоретичну модель та апаратно-програмний комплекс оцінки доступності СНС на довільних маршрутах польоту ПК, що дозволяє забезпечити гарантований рівень безпеки польотів за рахунок прогнозованої інформації.

При цьому отримані такі результати:

1. Розроблено комплексну методику оцінки доступності СНС із застосуванням агрегативної моделі і узагальненої моделі доступності СНС. В процесі побудови моделей поряд з точнісними характеристиками складових радіо інформаційних каналів навігаційних вимірів враховувались характеристики фактора погіршення точності та набір складових навігаційних систем, що істотно впливають на доступність СНС. Розглянуті моделі можуть бути використані під час розробки методик оцінки доступності СНС, параметризації узагальненого показника доступності і розробки відповідного алгоритмічного забезпечення, що дозволить дати кількісну оцінку ступеню впливу основних характеристик СНС на доступність навігаційної системи вздовж маршруту польоту ПК.

2. На основі запропонованої комплексної методики оцінки доступності СНС вибрано критерії та розроблено методику оцінки доступності при використанні декількох незалежних СНС. Методика є основою розробки алгоритмічного забезпечення автоматизованого апаратно-програмного комплексу оцінки доступності СНС на маршруті польоту ПК та дозволяє проводити оцінку доступності СНС із

урахуванням фактора погіршення точності, виробляти практичні рекомендації щодо вибору оптимального сузір'я СНС на маршруті, що дає можливість здійснювати оптимальні навігаційні визначення.

3. Розроблено узагальнений алгоритм визначення доступності СНС на всіх етапах польоту ПК. Визначено основні характеристики складових узагальненого алгоритму, що дозволяє оптимізувати процес розрахунку критичних ділянок маршруту, де супутникова навігація не може застосовуватись. Узагальнений алгоритм доступності НС є складовим і являє собою сукупність обчислювальних процедур, у результаті виконання яких для будь-якого заздалегідь обчисленого місця розташування ПК буде визначений узагальнений параметр. Це дозволяє оцінити доступність СНС, тобто можливість або неможливість її застосування для навігаційних визначень ПК у даний момент часу. Застосування запропонованих науково обґрунтованих методик та алгоритмів визначення доступності НС та похибок позиціонування дозволить істотно підвищити рівень безпеки польотів ПК, обладнаних засобами супутникової навігації, за рахунок виявлення можливих потенційно конфліктних ситуацій на маршруті ще на стадії підготовки до польоту.

4. Розроблено нову структуру апаратно-програмного комплексу оцінки доступності СНС, структуру керуючої програми апаратно-програмного комплексу та наведено детальний опис програмних функцій обробки даних навігаційних супутників. Керуюча програма виконує завдання запиту й формування вхідних і вихідних даних, процедури направлення потоків даних між навігаційним приймачем, спеціалізованою програмою Jerpesen, Internet, програмними функціями, що беруть участь у проведенні розрахунків і рішень, виводу рішень на екран монітора й/або документування. Інтерфейс апаратно-програмного комплексу передбачає відображення інформації з доступності навігаційних супутників в автоматичному й ручному режимі, на кутах видимості супутника (азимут, кут місця), з доступності маршруту польоту ПК за часом і координатами ПК. Апаратно-програмний комплекс, використовуючи інформацію, отриману безпосередньо з НС, забезпечує в реальному масштабі часу або безпосередньо перед вильотом ПК оцінку можливості використання СНС для навігаційних визначень у будь-якій точці маршруту польоту ПК.

5. Достовірність та ефективність розроблених методик та алгоритмів була підтверджена шляхом верифікації отриманих результатів розрахунку доступності СНС на макеті апаратно-програмного комплексу з даними, отриманими від високоточного супутникових навігаційних приймачів GG24 та ProPak-G2. Верифікації підлягали такі характеристики: кути видимості всіх навігаційних супутників, що перебувають у зоні видимості споживача та фактори погіршення точності позиціонування GDOP, PDOP, HDOP, TDOP.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сушич О.П. Прогнозування похибок позиціонування супутникових навігаційних систем // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 13. – С. 90–94.
2. Конін В.В., Мелкумян В.Г., Сушич О.П. Оцінювання доступності супутникових навігаційних систем // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 12. – С. 90–93.
3. Харченко В.П., Конін В.В., Погурельський О.С., Сушич О.П. Моніторинг супутникових систем GPS та EGNOS // Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал. – Х.: ХАИ, 2005. – Вып. 7 (23). – С. 250–259.
4. Мелкумян В.Г., Сушич О.П. Узагальнена агрегативна модель цілісності радіоелектронних засобів аеронавігаційної інформації // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – Д.: Навч. книга, 2004. – Т.8. – С. 116-121.
5. Беляевський Л.С., Кравець О.І., Дедяйкін М.П., Сушич О.П. Моделирование и оптимизация точностных характеристик защищенных комплексных навигационных систем // Захист інформації. Науково-технічний журнал – К.: КМУЦА, 2000. – № 4. С. 49-56.
6. Беляевський Л.С., Сушич О.П. Геометричні умови вибору сузір'їв супутникових систем навігації за критеріями точності // Вісник Центрального наукового центру Транспортної Академії України. – К.: Укравтодор, 2000. – Окремий вип. №3. – С. 21–22.
7. V.V. Konin, O.P. Sushich, D. Babeychuk, S.V. Vodopianov. Computer – Aided System of Navigation Systems Accessibility Forecasting // Proceedings the Second World Congress “Aviation in the XXI-st Century”: “Safety in Aviation”. – Kyiv.: NAU, 2005. – P. 3.57–3.61.
8. Сушич О.П. Автоматизована система прогнозування доступності навігаційних супутників // Наука і молодь. Прикладна серія: Збірник наукових праць. – К.: НАУ, 2004. – Вип. 4 – С. 143–146.
9. Сушич О.П. Вплив геометричного фактору на точність глобальних супутникових систем навігації // Аерокосмічні системи моніторингу та керування: Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „ABIA-2002”. – К.: НАУ, 2002. – Т.2. – С. 21.87–21.90.
10. Сушич О.П. Факторы снижения точности определения координат спутниковых навигационных систем // Аерокосмічні системи моніторингу та керування: Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції „ABIA-2003”. – К.: НАУ, 2003. – Т.2. – С. 21.107–21.109.
11. Сушич О.П. Просторовий фактор погіршення точності супутникової навігаційної системи GPS // Матеріали IV Міжнародної

наукової конференції студентів та молодих учених „ПОЛІТ”. – К.: НАУ, 2004. – С. 91.

12. Сушич О.П. Апаратно-програмний комплекс прогнозування доступності навігаційних супутників // Матеріали IV Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених „ПОЛІТ”. – К.: НАУ, 2004. – С. 92.

13. Харченко В.П., Конін В.В., Сушич О.П. Прогнозування доступності траєкторії польоту безпілотного літального апарату, оснащеного засобами супутникової навігації // Сучасний стан і перспективи розробки, виробництва і застосування безпілотних літальних апаратів в Україні: Тези доповідей та виступів учасників конференції НЦ ПС ЗС України. – К.: 2004. – С. 47.

АНОТАЦІЯ

Сушич О.П. Доступність супутникових навігаційних систем при управлінні повітряним рухом. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – “Навігація та управління повітряним рухом”. – Національний авіаційний університет, Київ, 2006.

Дисертацію присвячено розробці експериментально-теоретичної моделі та апаратно-програмного комплексу оцінки доступності супутникових радіонавігаційних систем для довільних маршрутів та часу польоту ПК, обладнаного засобами супутникової радіонавігації, з метою підтримки гарантованого рівня безпеки польотів.

Розроблено методики оцінки доступності супутникових навігаційних систем із застосуванням агрегативної моделі і узагальненої моделі доступності СНС.

Розроблено узагальнений алгоритм визначення доступності СНС на всіх етапах польоту ПК та визначені його основні характеристики.

Розроблено нову структуру та створено апаратно-програмний комплекс оцінки доступності СНС, структуру керуючої програми апаратно-програмного комплексу та наведено детальний опис програмних функцій обробки даних НС.

Достовірність та ефективність розроблених методик та алгоритмів була підтверджена шляхом верифікації отриманих результатів розрахунку доступності СНС на макеті апаратно-програмного комплексу з даними, отриманими від високоточних супутникових навігаційних приймачів GG24 та ProPak-G2.

Ключові слова: управління повітряним рухом, супутникові навігаційні системи, доступність, агрегативна модель, фактор погіршення точності, методики та алгоритми оцінки доступності, апаратно-програмний комплекс.

АННОТАЦИЯ

Сушич А.П. Доступность спутниковых навигационных систем при управлении воздушным движением. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.13 – “Навигация и управление воздушным движением”. – Национальный авиационный университет, Киев 2006.

Диссертационная работа посвящена вопросам разработки экспериментально-теоретической модели и аппаратно-программного комплекса оценки доступности спутниковых радионавигационных систем в любой момент времени и в любой точке маршрута полета воздушного судна (ВС), оснащенного средствами спутниковой радионавигации, с целью поддержки гарантированного уровня безопасности полетов при управлении воздушным движением.

В работе рассмотрены вопросы применения спутниковых систем в аэронавигации, а также проведен анализ основных характеристик спутниковых навигационных систем (СНС) и их влияния на обеспечение достоверности навигационных определений.

Разработана методика оценки доступности СНС с применением агрегативной модели и обобщенной модели доступности СНС, а также методика оптимизации навигационных определений при использовании нескольких независимых СНС.

Разработана методика и обобщенный алгоритм определения доступности СНС на всех этапах полета ВС, определены основные характеристики составляющих обобщенного алгоритма.

Разработана новая структура и создан аппаратно-программный комплекс оценки доступности СНС, структура управляющей программы аппаратно-программного комплекса и приведено детальное описание программных функций обработки данных навигационных спутников.

Достоверность и эффективность разработанных методик и алгоритмов была подтверждена путем верификации полученных результатов расчета доступности СНС на макете аппаратно-программного комплекса с данными, полученными от высокоточных спутниковых навигационных приемников GG24 и ProPak-G2.

Реализация теоретических и технических решений, полученных при выполнении диссертационной работы, и результаты испытаний аппаратно-программного комплекса оценки доступности позволяют поддерживать необходимый уровень безопасности полетов ВС за счет того, что еще на этапе планирования полета экипаж и диспетчер будут иметь информацию о доступности навигационных спутников на маршруте полета ВС.

Применение подобного комплекса на борту ВС, на этапе выполнения полета, в частности в условиях свободного полета (Free

Flight), позволяет проводить оперативную оценку доступности маршрута полета ВС.

Ключевые слова: управление воздушным движением, спутниковые навигационные системы, доступность, агрегативная модель, фактор ухудшения точности, методики и алгоритмы оценки доступности, аппаратно-программный комплекс.

ABSTRACT

Sushich Aleksey. Satellite navigation systems availability at air traffic Management.

The Thesis for Candidate of Technical Sciences degree on specialty 05.22.13 – Navigation and Air Traffic Management. – National Aviation University, Kiev, 2006

Development of Experimental and theoretical model as well as hardware and software complex for estimation of satellite radionavigation systems availability at any time moment and in any point of aircraft flight route is made for aircraft that is equipped with satellite radionavigation means to keep the guaranteed level of flight safety.

The method of radionavigation systems availability estimation is developed. This method uses (is based on) aggregative model and on generalized model of satellite navigation systems availability. The method of satellite navigation systems availability estimation is proposed. The complex procedure of navigation definitions optimization when several independent satellite navigation systems are used is developed.

The method and generalized algorithm for determination of satellite navigation systems availability at any operation phase of aircraft is developed. The basic characteristics of generalized algorithm components are defined.

The new structure of hardware and software complex of Satellite navigation systems availability estimation as well as the structure of control program for the hardware and software complex are developed. The detailed list of program functions of processing navigation satellite data is given.

Reliability and efficiency of developed methods and algorithms are verified with calculation results of satellite navigation systems availability. The results are obtained with hardware and software complex breadboard using the data of high frequency satellite receivers GG24 and ProPak-G2.

Key words: Air traffic control, satellite navigation systems, availability, aggregative model, geometric quotient, methods and algorithms of availability estimation, hardware and software complex.