

УДК 621.396.98:621.37

І.А. Приходько

ОЦІНКА ЦІЛІСНОСТІ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ГЛОБАЛЬНОЇ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ GALILEO

Кафедра аеронавігаційних систем НАУ, ans@nau.edu.ua

Визначення ймовірності виникнення помилкової інформації щодо визначення місцеположення і яка здатна ввести в оману користувача глобальних супутникових навігаційних систем

Ключові слова: глобальна навігаційна супутникова система, цілісність, алгоритм, супутниковий навігаційний приймач.

Постановка проблеми

В наш час супутникова навігація стає основним засобом навігації і тому до систем навігації висувають дуже жорсткі вимоги що до характеристик сигналів в просторі, отже дуже актуальними є різноманітні дослідження та розробки для поліпшення точності та зменшення похибок визначення координат повітряних кораблів (ПК).

Точність вимірювання координат за допомогою глобальних супутникових навігаційних систем (GNSS) для авіації є одним з найважливіших питань, адже можливість застосування новітніх супутникових технологій в авіаційному транспорті, напряду залежать від впевненості в вимірюванні координат місцеположення ПК [1].

Аналіз останніх досліджень

У зв'язку з тим, що супутникова навігація стає основним засобом навігації, відповідно до документів Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) та Євроконтролю, до неї пред'являються підвищені вимоги по точності, надійності, цілісності. Дана стаття пов'язана з навігаційною стратегією держав Європейської конференції у справах цивільної авіації (ECAC).

В конференції розглядалися рішення по відношенню до безпеки польотів ПК і оцінки цілісності GNSS.

Формулювання цілей статті

Метою даної статті є оцінка цілісності GNSS для визначення ймовірності виникнення помилкової інформації, що здатна ввести в оману користувача, за допомогою супутникових навігаційних систем. Та дослідити залежність виникнення помилковою інформації від таких факторів, як кількість супутників в зоні видимості, висота захисного інтервалу ПК, різноманіття сузір'я супутників в зоні видимості користувача, від різних супутникових систем. На підставі отриманих даних зробити висновки, що до поліпшення розрахунків координат ПК.

Виклад основного матеріалу

Цілісність – це міра довіри, яка може бути віднесена до правильності інформації, видаваною системою в цілому. Цілісність включає здатність системи забезпечити користувача своєчасними і обґрунтованими попередженнями (спрацьовуваннями сигналізації) [2].

Щоб упевнитися в тому, що помилка визначення місцеположення є прийнятною, визначений поріг спрацьовування сигналізації відповідає найбільшій помилці визначення місцеположення. Помилка визначення місцеположення не може перевищувати даний поріг без спрацьовування сповіщення. По аналогії з інструментальною системою посадки (ILS) система може деградувати у бік збільшення помилки понад 95%, але не перевищуючи контрольного порогу.

Вимога до показника цілісності навігаційної системи для окремого ПК по забезпеченню польоту по маршруту, операцій в зоні аеродрому, початкового етапу заходу на посадку, неточного заходу на посадку і вильоту вважається рівним $1-1\cdot 10^{-7} / год$.

Сигнал GNSS одночасно обслуговує в широкій зоні велику кількість ПК, що летять по маршруту, і тому наслідки втрати цілісності системи будуть для системи управління повітряним рухом вагоміші, ніж у разі використання традиційних навігаційних засобів.

Для операцій вертикального керування (APV) і точного заходу на посадку вимоги до цілісності сигналу GNSS обирають відповідно до вимог ILS.

Вимоги до цілісності при заході на посадку застосовуються при кожній посадці. Якщо відомо, що певний ризик при конкретному заході на посадку перевищує дані вимоги, операція не повинна виконуватися. Одна з цілей процесу проектування полягає у встановленні певних ризиків, які можуть викликати спотворення інформації, і в зменшенні цих ризиків за рахунок резервування або контролю для забезпечення надійності. Наприклад, для наземної системи потрібні резервні процесори, і крім того, ця система має бути в спроможна автоматично відключатися за відсутності резервування унаслідок відмови процесора.

Унікальним аспектом *GNSS* є варіювання в часі її характеристик унаслідок зміни базовій геометрії розташування супутників. У протоколах космічного функціонального доповнення (*SBAS*) і наземного функціонального доповнення (*GBAS*) передбачені методи урахування цих змін за рахунок використання рівнів захисту, що забезпечують припинення використання системи у тому випадку, коли конкретний ризик для цілісності стає занадто високим [2].

Характеристики *GNSS* можуть також змінюватися в межах обсягу обслуговування залежно від геометрії видимих супутників базового угруповання. Просторові зміни характеристик системи можуть також посилюватися у тому випадку, коли наземна система працює в режимі деградації після відмови таких компонентів системи, як станції контролю або лінії зв'язку. Ризик внаслідок просторових змін в роботі системи також має бути передбачений в рівнях захисту, тобто при передаванні поправки.

Функціональні доповнення *GNSS* також схильні до впливу ряду атмосферних явищ, зокрема іоносферних. Просторові і тимчасові зміни в іоносфері можуть зумовити місцеві або регіональні похибки, пов'язані з іоносферними затримками, які не можуть бути скоректовані в архітектурі *SBAS* або *GBAS* унаслідок визначених протоколів повідомлень. Такі події є рідкісними, і їх вірогідність залежить від регіону, проте ними не слід нехтувати. Результируючі похибки можуть бути настільки великими, що викличуть спотворення інформації, і їх наслідки повинні враховувати в конструкції системи за допомогою обліку їх впливу на передані параметри і контролю ненормованих умов у разі неадекватності переданих параметрів. Вірогідність таких подій слід враховувати при розробці будь-якого контрольного пристрою системи.

При проектуванні наземної системи слід враховувати і такий аспект впливу навколишніх умов, як похибки внаслідок впливу перевідбиття в наземних еталонних приймачах, які залежать від фізичних умов розташування антен контрольно-коригувальних станцій, а також перевищень супутників і часу спостереження.

Розглянемо методику оцінки цілісності перспективної супутникової навігаційної системи *GNSS GALILEO* з урахуванням вимог Європейського космічного агентства (*European Space Agency*) [3].

Вихідними даними для оцінки цілісності системи *GNSS* є:

- координати користувача в географічній системі координат – B (широта), L (довгота);
- координати користувача в геоцентричній Декартовій системі координат – x_0, y_0, z_0 ;
- координати навігаційних супутників, що перебувають у зоні видимості споживача – x_i, y_i, z_i ;
- похибка визначення дальності між супутником і споживачем, обумовлена наземним сегментом *GNSS – SISA*;
- еквівалентна користувачька похибка визначення псевдо дальності – *UERE*;
- захисний інтервал, по горизонталі та вертикалі – *HOL* та *VOL* відповідно.

Для отримання реальних даних для проведення оцінки цілісності *GNSS* використовувався експериментальний комплекс в склад якого входить двосистемний, двочастотний супутниковий навігаційний приймач *ProPak-V3* (рис. 1).

Узагальнений алгоритм оцінки цілісності *GNSS* зображено на рисунку 2.

В якості вхідних даних для проведення дослідження використовуються логічні файли, отримані з супутникового навігаційного приймача *ProPak-V3* в режимі прийому *ASCII*:

- географічні координати користувача (лог *GPGLL*) містять дані про місце розташування прийомного обладнання, широту й довготу, наприклад,
\$GPGLL,5107.0013414,N,11402.3279144,W,205412.00,A,A*73;
- координати користувача в геоцентричній системі координат (лог *BESTXYZ*) містить дані про позицію й швидкості приймача в геоцентричній Декартовій системі координат, наприклад,
#BESTXYZA,COM1,0,55.0,FINESTEERING,1419,340033.000,00000040,d821,2724;
SOL_COMPUTED,NARROW_INT,-1634531.5683,-3664618.0326,4942496.3270,

0.0099,0.0219,0.0115,SOL_COMPUTED,NARROW_INT,0.0011,-0.0049,-0.0001,
0.0199,0.0439,0.0230,"AAAA",0.250,1.000,0.000,12,11,11,11,0,01,0,33*e9eafeca;



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального комплексу

- координати супутника в геоцентричній системі координат (лог *SATXYZ*) цей набір даних містить необхідну інформацію, для обчислення наступних даних: координати супутника (*ECEF WGS84*), виправлення годинника супутника, іоносферні й тропосферні виправлення (Модель *Hopfield*). Ці виправлення враховуються при визначенні псевдо дальності, наприклад,

#SATXYZA,COM1,0,45.5,FINESTEERING,1337,409729.000,00000000,6f3c,1984;0.0,11,
1,8291339.5258,-17434409.5059,18408253.4923,1527.199,2.608578998,
3.200779818,0.000000000,0.000000000,

...

14,18951320.4329,-16297117.6697,8978403.7764,-8190.088,4.139015349,
10.937283220,0.000000000,0.000000000*8a943244\;

- псевдодальність від супутника до користувача (лог *PSRPOS*). містить дані псевдодальності, обчислені приймачем, наприклад,

#PSRPOSA,COM1,0,58.5,FINESTEERING,1419,340037.000,00000040,6326,2724;
SOL_COMPUTED,SINGLE,51.11636177893,-114.03832396506,1062.5470,-16.2712,
WGS84,1.8532,1.4199,3.3168,"",0.000,0.000,12,12,0,0,0,06,0,33*d200a78c;

- похибка визначення псевдодальності (*SISA*) – прогнозування мінімального середньоквадратичного відхилення (*1-sigma*), очікуване значення *SISA* < 85 см.;

- загальна помилка *URE* (для режиму стандартного визначення координат – *SPS*) знаходиться звичайно поблизу 25 метрів. Коли селективний доступ – *SA* відключений, загальна помилка *URE* повинна бути менше 5 метрів, причому основну похибку вносять іоносферна затримка й ефект перевідбиття сигналу. Користувачі двочастотних приймачів (режим точного визначення координат – *PPS*) мають можливість виключити практично всі іоносферні затримки з вимірів псевдодальності, і відповідно одержують меншу помилку *URE*. У майбутньому, використовуючи нові цивільні *GALILEO* сигнали цивільні користувачі так само зможуть компенсувати іоносферну затримку й одержати неперевершений рівень *URE*;

- значення захисного інтервалу по горизонталі та вертикалі (*HAL* та *VAL*) задається користувачем, залежно від умов польоту, та типів необхідних навігаційних характеристик (*RNP*) [4].

Для оцінки цілісності *GNSS* на кафедрі аеронавігаційних систем Національного авіаційного університету був проведений експеримент із застосуванням сучасного супутникового обладнання. У експерименті виконувалась оцінка цілісності системи *GPS* та ГЛОНАСС для різноманітних конфігурацій орбітальних угруповань та значень захисних інтервалів.

Як приклад отриманих результатів у таблиці 1 показана вірогідність втрати цілісності в залежності від величини захисного інтервалу по горизонталі для окремого орбітального угруповання *GPS*.

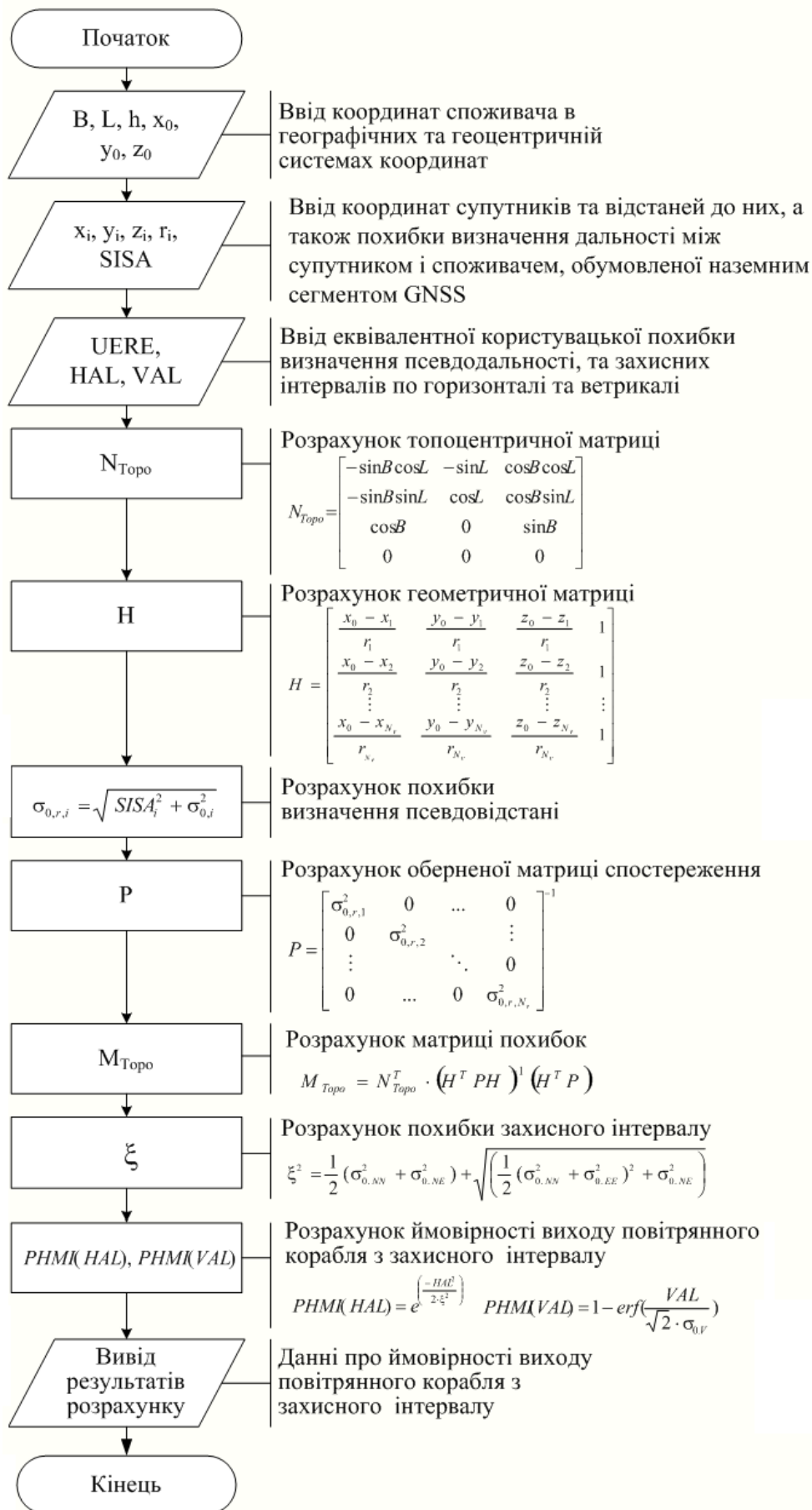


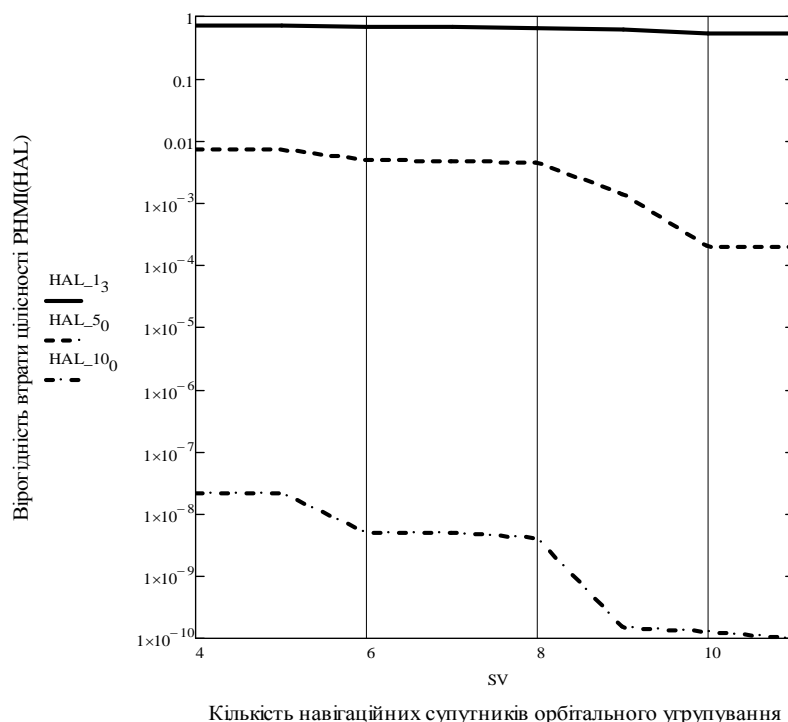
Рис. 2 Узагальнений алгоритм оцінки цілісності GNSS

Таблиця 1

Вірогідність втрати цілісності *GPS*

<i>HAL</i> , м.	Кількість супутників <i>GPS</i> окремого орбітального угруповання							
	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1	0,9982	0,9982	0,9980	0,9980	0,9979	0,9976	0,9969	0,9969
0,3	0,9765	0,9765	0,9742	0,9741	0,9740	0,9689	0,9610	0,9610
0,7	0,7700	0,7700	0,7450	0,7445	0,7400	0,7000	0,6300	0,6250
1,3	0,6950	0,6950	0,6700	0,6650	0,6600	0,6200	0,5400	0,5400
5,0	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
10,0	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$0,5 \cdot 10^{-8}$	$0,5 \cdot 10^{-8}$	$0,4 \cdot 10^{-8}$	$0,01 \cdot 10^{-8}$	$0,001 \cdot 10^{-8}$	$0,001 \cdot 10^{-8}$

На рис. 3 зображено вірогідність втрати цілісності для окремого орбітального угруповання *GPS*. По вісі *X* відкладена кількість навігаційних супутників окремого орбітального угруповання *GPS*, а по вісі *Y* вірогідність втрати цілісності при заданих величинах захисних інтервалів по горизонталі 1.3, 5.0 та 10.0 метрів відповідно.

Рис. 3 Вірогідність втрати цілісності для окремого орбітального угруповання *GPS***Висновки**

Результати експериментальної оцінки цілісності *GNSS* показали, що ймовірності втрати цілісності на пряму залежить від кількості видимих супутників, величини захисного інтервалу, геометричного фактора зниження точності вимірювання координат, комбінації супутникових угруповань, та інших факторів, які вносять похибки при розрахунку координат ПК.

Для забезпечення безпеки польоту ПК при застосуванні *GNSS* необхідно виділяти такі розміри захисних інтервалів по горизонталі і вертикалі щоб унеможливити ризик втрати цілісності, за умов врахування найменшої кількості видимих супутників та найгірших умов позиціонування, що здатні спотворити сигнал від супутника на приймачі ПК.

Список літературних джерел

1. Системы спутниковой радионавигации / В.В. Конин, В.П. Харченко. – К.: Холтех, 2010. – 520 с.
2. Радионавигационные средства. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т. 1. ICAO, 2006. – 598 с.
3. <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>.
4. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP). – Doc. 9613-AN/937, ICAO, 1994, p. 46.