

УДК 519.254: 621.396.933: 629.783(045)

Є.А. Знаковська

Національний авіаційний університет, Київ

## АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СУЗІР'Я НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКІВ GPS, GLONASS І GALILEO

Представлено алгоритм ідентифікації сузір'я навігаційних супутників, адаптований для сузір'я, що складається одночасно з супутників GPS, GLONASS і GALILEO, який дозволяє виявляти й вилучати несправні супутники у сузір'ї навігаційних супутників.

**Ключові слова:** алгоритм, навігаційний супутник, ідентифікація, GPS, GLONASS, Galileo.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У складі технічних засобів аеронавігаційної системи особливе місце займають супутникові, а також наземні та бортові радіонавігаційні системи які формують та надають споживачам інформацію про параметри польоту упродовж всього маршруту від зльоту до завершення передпосадкового маневру та самої посадки в аеропорту призначення.

Підвищення ефективності руху повітряного транспорту в Україні шляхом упровадження нових супутникових технологій та завдяки комплексному використанню різних навігаційних засобів являє собою комплексну задачу і досягається в основному за рахунок точної зональної навігації з використанням супутникових систем, що дозволяють реалізовувати концепцію скороченого ешелонування і забезпечити більш розвинену та гнучку структуру маршрутів, а також оптимізувати профілі набору висоти і зниження. Це дозволить підвищити точність, готовність, цілісність і безперервність обслуговування.

Застосування аеронавігаційних засобів на основі супутникових технологій набуває все більшої практичної цінності особливо там, де є необхідність точного місцевизначення, моніторингу та керування рухомими об'єктами. Супутникові радіонавігаційні системи GPS і GLONASS, а в перспективі і GALILEO, у комплексі з наземними, космічними і бортовими функціональними доповненнями стають відповідно до рішень ICAO основними засобами навігації і керування у повітряному транспорті.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Цілісність навігаційної системи є складеною і головною частиною вірогідності навігаційних вимірів. Радіотехнічна комісія з аеронавтики RTCA запровадила два визначення цілісності супутникової радіонавігаційної системи (СРНС).

Під цілісністю при використанні СРНС як допоміжного навігаційного засобу розуміють здатність системи забезпечити своєчасне попередження про

те, що її не слід застосовувати для цілей навігації. На практиці ця вимога допускає, що система повинна бути здатною знайти своє неправильне функціонування (наприклад, через відмову навігаційного супутника) до того, як помилка у вихідних навігаційних параметрах перевищить поріг, заданий для кожної фази (етапу) польоту [1]. Цілісність при використанні СРНС як єдиного (основного) навігаційного засобу означає здатність системи виключити невірну супутникову інформацію з наступної обробки до того, як помилка у вихідних параметрах перевищить заданий поріг, тобто ізолювати супутник, що відмовив. Під відмовою супутника розуміється такий його стан, при якому використання радіонавігаційних параметрів, обумовлених сигналом (сигналами) цього навігаційного супутника, погіршує точність визначення координат і часу споживачем до значення, що перевищує заданий поріг [2].

Останнім часом питанням цілісності навігаційних систем і навігаційного контуру (бортового устаткування) приділяється велика увага у роботах вітчизняних та зарубіжних фахівців [1-5], що робить цю характеристику навігаційних систем порівняною за своїм значенням з точнісними характеристиками систем і комплексів. Тим самим цілісність стає одною з основних характеристик, що відзначається у відповідних нормативних документах [6].

**Мета роботи.** Завданням статті є побудова алгоритму для ідентифікації сузір'я навігаційних супутників GPS, GLONASS та GALILEO, який дозволяє виявити супутники, що передають невірогідну інформацію.

Першою складовою частиною вирішення цієї проблеми є побудова математичної моделі, яка цілком описує процес визначення координат споживача.

### 1. Математична модель, адаптована для ідентифікації сузір'я навігаційних супутників GPS, GLONASS і GALILEO

Нехай  $\epsilon$   $N$  спостережень відстані від споживача до супутників GPS:

$$\bar{r}_{(1)} = (r_1, \dots, r_N)^T;$$

М спостережень від того ж споживача до супутників GLONASS:

$$\bar{r}_{(2)} = (r_{N+1}, \dots, r_{N+M})^T,$$

а також М спостережень аналогічної відстані до супутників GALILEO:

$$\bar{r}_{(3)} = (r_{N+M+1}, \dots, r_{N+M+K})^T.$$

Тут  $r_i$  – псевдовідстань до  $i$ -го супутника. Сукупний вектор спостережень

$$\bar{r} = (\bar{r}_{(1)}^T, \bar{r}_{(2)}^T, \bar{r}_{(3)}^T)^T.$$

Нехай

$$e_1 = (\underbrace{1, \dots, 1}_N, \underbrace{0, \dots, 0}_{M+K}),$$

$$e_2 = (\underbrace{0, \dots, 0}_N, \underbrace{1, \dots, 1}_M, \underbrace{0, \dots, 0}_K),$$

$$e_3 = (\underbrace{0, \dots, 0}_{N+M}, \underbrace{1, \dots, 1}_K).$$

Нехай  $\Delta t_{\text{bias}}^{(j)}$  – розходження шкал часу контрольно-коригувальної станції (ККС) та супутників  $j$  - і групи (при  $j = 1$  маємо GPS, при  $j = 2$  – GLONASS, а при  $j = 3$  – GALILEO).

Позначимо також

$$W_j = c \cdot \Delta t_{\text{bias}}^{(j)},$$

де  $c$  – відома швидкість поширення радіосигналів;  $j = \overline{1, 3}$ .

Приймаємо наступну модель спостереження:

$$r = F(X) + \sum_{j=1}^3 W_j e_j + S_\delta \varepsilon.$$

Тут

$$F(X) = (F_1(X), \dots, F_{N+M+K}(X))^T,$$

$$F_i(X) = \sqrt{(X_1 - x_{1i})^2 + (X_2 - x_{2i})^2 + (X_3 - x_{3i})^2},$$

$$1 \leq i \leq \overline{N+M+K},$$

де  $X = (X_1, X_2, X_3)^T$  – координати споживача,  $(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i})^T$  – координати  $i$ -го супутника;

$$S_f = \text{diag}(\sigma_{f1}, \dots, \sigma_{f(N+M+K)}),$$

де  $\sigma_{fi}^2$  – дисперсія флуктуаційної помилки вимірювання псевдовідстані до  $i$ -го супутника;  $\varepsilon$  – випадковий вектор з нульовим середнім та одиничною кореляційною матрицею.

Вважаємо, що  $\sigma_{fi}^2$  відомі з точністю до сталого множника  $\sigma_0^2 = 36$  (дисперсії одиниці ваги), тобто

$$\sigma_{fi}^2 = \sigma_i^2 \cdot \sigma_0^2,$$

де  $\sigma_i^2$  – задані,  $i = \overline{1, N+M+K}$ .

Для даного сузір'я супутників формуємо  $\sigma_i^2$  наступним чином. Нехай відомі паспортні значення дисперсій (так звані номінальні дисперсії) для супутників різних сузір'їв:

$$\sigma_{ij}^2 = 36, j = \overline{1, 3},$$

де значення  $j = \overline{1, 3}$  відповідають GPS, GLONASS та GALILEO.

Тоді покладемо

$$\sigma_i^2 = \sigma_{ij}^2,$$

де

$$j = j(i) = \begin{cases} 1, & i = \overline{1, N}; \\ 2, & i = \overline{N+1, N+M}; \\ 3, & i = \overline{N+M+1, N+M+K}. \end{cases}$$

Такий вибір моделі для дисперсій  $\sigma_{\delta i}^2$  означає наступне: фактичні дисперсії флуктуаційних похибок можуть не співпадати з номінальними дисперсіями, але пропорційні до них – із невідомим множником  $\sigma_0^2$ .

Для даної моделі було побудовано алгоритм ідентифікації сузір'я навігаційних супутників, адаптований для сузір'я навігаційних супутників GPS, GLONASS та GALILEO.

Складові алгоритму, основані на методиці ідентифікації сузір'я навігаційних супутників, детально представлено у [7,8].

## 2. Алгоритм ідентифікації сузір'я навігаційних супутників GPS, GLONASS і GALILEO

Алгоритм ідентифікації сузір'я навігаційних супутників GPS, GLONASS і GALILEO приведено на рис. 1. Даний алгоритм складається з таких кроків:

1. Визначення вектора координат ККС:

$$X = (X_1, X_2, X_3)^T.$$

2. Знаходження величин:

$$W_j = c \cdot \Delta t_{\text{bias}}^{(j)}, j = \overline{1, 3}$$

3. Знаходження регресійної частини моделі спостереження  $\bar{F}(X) = (F_1(X), \dots, F_N(X))^T$  та регресійної частини моделі спостереження для трійки еталонних координат.

4. Побудова моделі псевдовідстаней та еталонних псевдовідстаней до ККС.

5. Моделювання координат ККС на основі еталонних координат ККС за допомогою методу послідовних наближень.

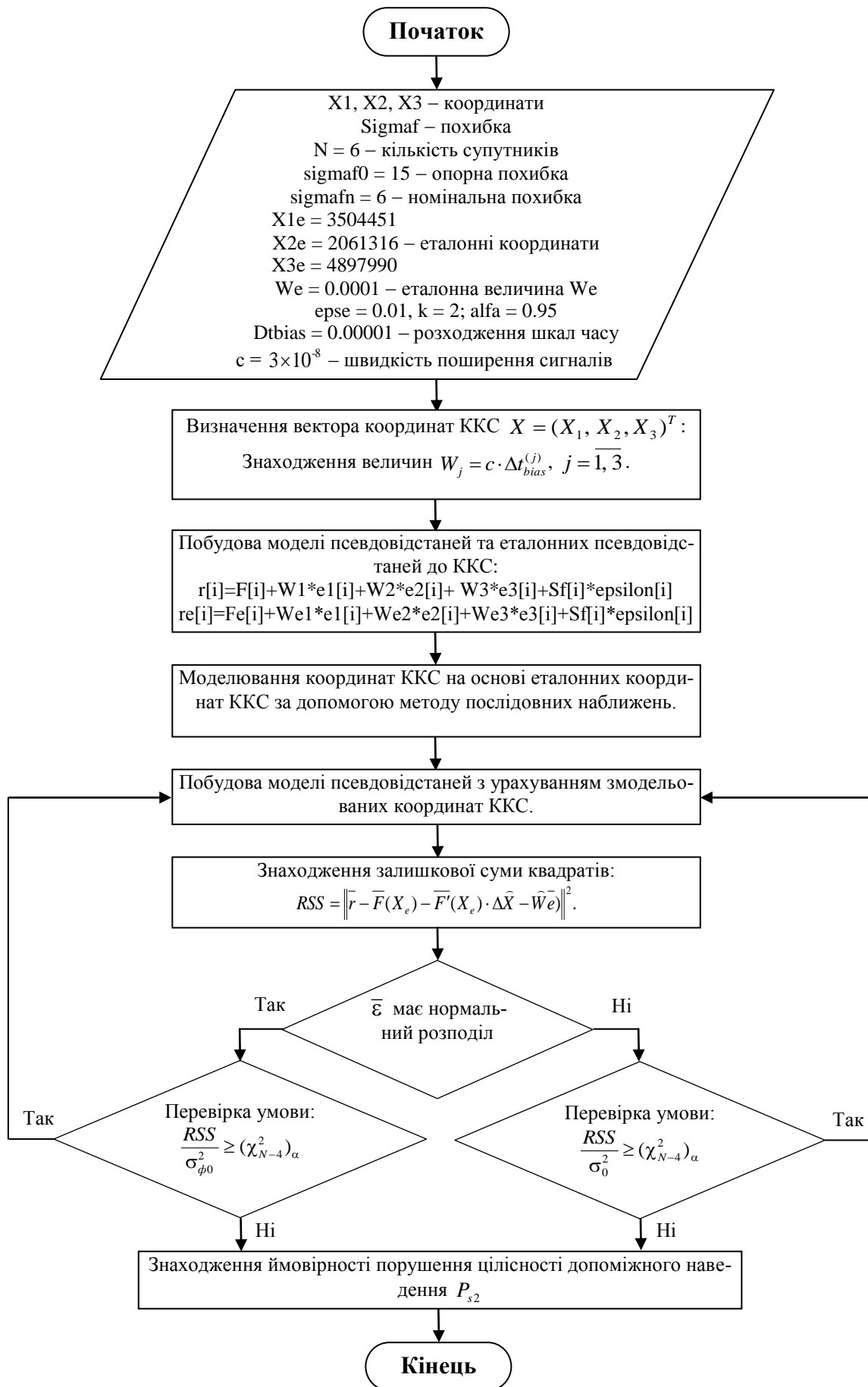


Рис. 1. Алгоритм ідентифікації сузір'я навігаційних супутників GPS, GLONASS і GALILEO

6. Перевірка гіпотези про нормальний режим.

6.1. Побудова моделі псевдовідстаней з урахуванням змодельованих координат ККС.

6.2. Знаходження залишкової суми квадратів

$$RSS = \sum_{i=1}^{N+M+K} \frac{1}{\sigma_i^2} \left( r_i - F_i(\hat{X}) - \sum_{j=1}^3 \hat{W}_j \delta_{j,j(i)} \right)_i^2.$$

6.3. Перевірка закону розподілу  $\bar{\epsilon}$ . Якщо  $\bar{\epsilon}$  має нормальний розподіл, то виконується перехід до п. 6.4, у противному випадку – до п. 6.5.

6.4. Перевірка умови

$$\frac{RSS}{\sigma_{fo}^2} \geq \frac{N+M+K-6}{\alpha}.$$

Якщо вона справедлива, то відхиляється гіпотеза про нормальний режим, і виявляються й вилучаються несправні супутники. Якщо умова не справедлива то виконується перехід до п. 7.

6.5. Перевірка умови

$$\frac{RSS}{\sigma_o^2} \geq \frac{N+M+K-6}{\alpha}.$$

Якщо вона справедлива, то відхиляється гіпотеза про нормальний режим, і виявляються й вилучаються несправні супутники. Якщо умова не справедлива то виконується перехід до п. 7.

7. Знаходження ймовірності порушення цілісності допоміжного наведення  $P_{s2}$ .

## Висновки

Запропонований алгоритм ідентифікації сузір'я навігаційних супутників дозволяє визначити і вилучити супутники, що передають невірні дані інформацію про координати ККС, а також отримати ймовірність порушення цілісності основного наведення для методики оцінки цілісності аеронавігаційної системи.

## Список літератури

1. Конин В.В. Системы спутниковой радионавигации / В.В. Конин, В.П. Харченко. – К.: Холтех, 2010. – 520 с.
2. Бабак В.П. Супутникова радіонавігація / В.П. Бабак, В.В. Конін, В. П. Харченко. – К.: Техніка, 2004. – 328 с.
3. Oehler V. Use Integrity Risk Calculation at the Alert Limit without Fixed Allocations / V. Oehler, Luongo, P. Boyero, R. Stalford, H.L. Trutenberg // Proc. ION GNSS 2004. – Long Beach, California, USA, September 2004.
4. Иванов Ю П Метод оценки целостности спутниковой навигационной системы / Ю. П Иванов, В Г Никитин, А А Рогова, О И Саута, С П Соболев // Изв вузов России. Радиоэлектроника / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2006. – Вып 5. Радиоэлектроника и телекоммуникации. – С. 69-77
5. Толоконников С В Свойства алгоритма автономного контроля целостности спутниковой навигационной информации для бортового оборудования навигации и посадки / А А Рогова, С П Соболев, С.В Толоконников // Изв ГЭТУ / СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия Государственного электротехнического университета). — 2004. — Вып 2. Радиоэлектроника и телекоммуникации. – С. 55-60.
6. Глобальный аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM. – 3-е изд. – Doc. 9750-AN/963, ICAO, 2007. – 139 с
7. Харченко В.П. Перевірка гіпотези нормального функціонування супутникової радіонавігаційної системи / В.П. Харченко, О.Г. Кукуш, Є.А. Бабак // Матеріали ІV МНТК. – К.: НАУ, 2002. – Секція 21. – Т. 2. – С. 21.159-21.162.
8. Харченко В.П. Математична модель для ідентифікації сузір'я навігаційних супутників GPS, GLONASS і GALILEO / В.П. Харченко, О.Г. Кукуш, Є.А. Знаковська // Вісник НАУ. К.: НАУ, 2012. – № 3 (52). – С. 5-8.

Надійшла до редколегії 5.09.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., В.В. Павлов, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАНУ та МОНМСУ, Київ.

## АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОЗВЕЗДИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ GPS, GLONASS И GALILEO

Е.А. Знаковская

Представлено алгоритм идентификации созвездия навигационных спутников, адаптированный для созвездия, которое состоит одновременно из спутников GPS, GLONASS и GALILEO, который позволяет выявлять и изымать неисправные спутники в созвездии навигационных спутников.

**Ключевые слова:** алгоритм, навигационный спутник, идентификация, GPS, GLONASS, Galileo.

## ALGORITHM OF NAVIGATING SATELLITES GPS, GLONASS AND GALILEO CONSTELLATION IDENTIFICATION

Е.А. Znakovska

It is presented algorithm of the navigating satellites constellation identification, adapted for constellation which consists simultaneously of satellites GPS, GLONASS and GALILEO which allows to reveal and withdraw faulty satellites in navigating satellites constellation.

**Keywords:** algorithm, the navigating satellite, identification, GPS, GLONASS, Galileo.