Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 621.396

DOI: 10.30748/nitps.2020.38.13

В.П. Деденок, Ю.В. Рєзніков, С.І. Березіна

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ НАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ СПОЖИВАЧІВ ІНФОРМАЦІЇ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

Для організації контролю цілісності глобальних навігаційних супутникових систем в інтересах військових споживачів запропонований критерій відповідності точності навігаційних рішень заданим вимогам, який на відміну від традиційних не вимагає безпосереднього порівняння конкуруючих оцінок по усіх можливих напрямках і ґрунтується на використанні поняття мінімального власного числа матриці. Запропонований метод компенсації ефемеридної похибки на основі формування моделі похибки з можливістю екстраполяції її значень за часом і здійснення псевдодиференціального режиму без організації реального каналу зв'язку з базовою станцією.

Ключові слова: *навігаційне забезпечення Збройних Сил, глобальні навігаційні супутникові системи, контроль цілісності, надійність навігаційної інформації, ефемеридна похибка, режим селективного доступу, диференціальний режим.*

Вступ

Постановка проблеми. Вирішення безлічі цільових завдань сучасної армії неможливе без високоточного, надійного і доступного навігаційного забезпечення (НЗ) частин, підрозділів, озброєння і військової техніки [1]. Зростаюча складність різних систем і зразків озброєнь, посилення залежності між носіями озброєнь і технічних засобів забезпечення бойових дій вимагає чіткої координації дій між частинами і підрозділами за місцем і часом, а також організації інтенсивного інформаційного обміну [2], що дозволяє відображати тактичну обстановку в реальному масштабі часу. В зв'язку з цим провідні спеціалісти України та країн – членів НАТО розглядають навігаційне забезпечення як один із важливих елементів бойового забезпечення військ [3].

Неодмінною передумовою вказаних змін є підвищення ефективності засобів розвідки, цілевказань і наведення, що забезпечується надійною координатно-часовою інформацією, яка отримується за допомогою різних засобів навігації [1]. Досвід розвинутих країн світу свідчить про те, що як сьогодні, так і в найближчій перспективі альтернативи щодо точності і надійності координатно-часового забезпечення на основі інформації глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) не існує. Так, під час війни в зоні Перської затоки [3] коаліційні війська вперше широко використовували для забезпечення бойових дій супутникову навігаційну систему GPS,

що дозволило стратегічній, тактичній авіації, а також підрозділам сухопутних військ багатонаціональних сил діяти цілодобово, незалежно від погодних умов та визначати своє місцезнаходження в будь-якій точці з заданим рівнем точності.

Аналіз складу та характеристик існуючої навігаційної апаратури Збройних Сил (ЗС) України показує, що зараз на озброєнні, на жаль, в основному знаходяться і використовуються морально застарілі навігаційні засоби [4], які не відповідають вимогам до надійності управління, точності та оперативності визначення навігаційних параметрів військових рухомих та нерухомих об'єктів [5]. Як правило, ефективність цих методів і засобів значною мірою залежить від астрокліматичних умов, наявності реперів і орієнтирів, часу, відведеного на вирішення навігаційних завдань. Заданих характеристик можна досягти лише при використанні ГНСС, а в задачах що потребують точності місцевизначення на рівні дециметрів потрібно застосовувати ще й диференціальні методи, а саме використовувати інформацію Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення (СКНЗ) України.

Результати експериментальних досліджень показали, що навіть існуючі на сьогоднішній день сегменти СКНЗ України в основному в стані забезпечити високоточне і надійне визначення координат військових споживачів у реальному часі як у локальному, так і в регіональних масштабах [5]. Однак, при цьому виникає ряд проблемних питань.

По-перше, необхідно застосовувати додаткові алгоритми контролю надійності інформації для урахування впливу аномальних похибок ГНСС та виключення навмисного спотвореної інформації.

По-друге, в деяких випадках традиційні диференціальні методи або не задовольняють вимогам певного класу військових споживачів, та не забезпечують заданої точності та надійності навігаційних рішень, або не можуть бути застосовані внаслідок особливостей здійснення навігаційного забезпечення в умовах бойових дій.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

По-перше, на даний час для контролю точності навігаційних рішень, тобто цілісності системи, використовуються різні підходи [6]. Основним методом контролю цілісності навігаційного рішення є алгоритм RAIM (англ. Receiver Autonomous Integrity Monitoring). Основною задачею цього алгоритму є виявлення й виключення зі складу вимірів споживача аномальних даних (у т.ч. внаслідок спуфінг атаки). Можливість такого підходу заснована на надмірності проведених вимірів [6–8], коли розраховуються координати споживача, місцеположення якого заздалегідь відомо, шляхом поступового вилучення з рішення однієї з псевдовідстаней.

Для функціонування алгоритму RAIM необхідно визначити значення порога η_0 . Якщо для обраного сузір'я з $(N-1)$ супутників нев'язки по координатах перевищують поріг η_0 , то це означає, що в даному сузір'ї супутників присутній аномальний супутник.

Можна показати [9], що використання традиційних показників для зіставлення досягнутої точності оцінювання навігаційних параметрів (псевдовідстаней) з необхідною (порогом) не гарантують у багатомірному випадку, що ступінь розсіювання оцінки не гірше заданої. Простота показників точності, у яких ігнорується необхідність зіставлення в багатомірному випадку розсіювання конкуруючих оцінок по кожному з можливих напрямків, призводить у багатьох випадках до помилкових висновків.

По-друге, для вирішення завдання високоточного координатно-часового забезпечення військових споживачів потрібно застосовувати традиційні диференціальні методи [7]. Але бувають такі випадки, коли застосування класичних реалізацій диференціального режиму утруднено, або неможливо внаслідок, наприклад, унеможливлення організації каналу передачі диференціальної інформації [5]. В цьому випадку необхідна розробка альтернативних методів формування корегуючої інформації.

Отже, для військових споживачів питання цілісності та доступності координатно-часової інформації відіграє надзвичайно важливу і навіть вирішальну роль, тому метою статті є підвищення надійності навігаційного забезпечення споживачів ЗС при використанні ГНСС.

Виклад основного матеріалу

Як відомо [9], показники точності навігаційних рішень й засновані на них критерії можна розглядати як евристичні, а їхнє різноманіття є наслідком відмови від пошуку більш строгого підходу при вирішенні задач зіставлення якості оцінок векторних параметрів. В такому випадку слід розглянути можливість одержання строгого критерію досягнення необхідної точності оцінювання.

Якщо відомі коваріаційна матриця розподілу оцінок точності виміру координат споживача K та характеристики матриці необхідної (заданої) точності K_z , то у відповідності до математичній статистики і теорії оцінювання можна записати [9]:

$$\frac{v^T \cdot K \cdot v}{v^T \cdot K_z \cdot v} \leq 1, \quad (1)$$

де v^T – довільний вектор такої ж розмірності, що й вектор оцінюваних параметрів.

З урахуванням позитивної визначеності матриць K та K_z та використовуючи властивості узагальненого відношення Релея можна стверджувати, що:

$$\mu_{\min} \leq \frac{v^T \cdot K^{-1} \cdot v}{v^T \cdot K_z^{-1} \cdot v} \leq \mu_{\max}, \quad (2)$$

де $\mu_{\min} \mu_{\max}$ – мінімальне й максимальне власні значення матриці $(K_z \cdot K^{-1})$ відповідно. З урахуванням (2) для виконання умов (1) при будь-якому значенні вектора v необхідно й достатньо, щоб виконувалась умова:

$$\mu_{\min}(K_z \cdot K^{-1}) \geq 1. \quad (3)$$

Для спрощення практичного застосування критерію (3) можуть бути запропоновані квазіоптимальні критерії. Так, наприклад, мажоруючий аналог може бути представлений у вигляді:

$$Q = \left(Sp(K \cdot K_z^{-1}) \right)^{-1} \geq 1. \quad (4)$$

Таким чином, перевірка критерію (3) не вимагає безпосереднього зіставлення розсіювання конкуруючих оцінок по всіх можливих напрямках, оскільки відповідає перевірці за найгіршим (у змісті розсіювання) напрямком. Застосування запропонованого оптимального критерію і його квазіоптимальних аналогів дозволяє більш строго здійснювати контроль відповідності поточної (або планованої) точності оцінювання навігаційних параметрів необхідному рівню точності і контролювати цілісність системи ГНСС.

Іншим завданням підвищення точності та надійності навігаційної інформації для військових споживачів є використання диференціального режиму вимірів в умовах, коли організація каналу передачі даних утруднена.

Залежно від характеру впливу різних фізичних процесів на виміри навігаційних параметрів основні складові навігаційної похибки визначають наступним чином [6]:

- похибки, обумовлені неточним прогнозом ефемерид навігаційних космічних апаратів (НКА);
- похибки, обумовлені неточним урахуванням регулярної складової коефіцієнта заломлення тропосфери;
- похибки, обумовлені неточним обліком регулярної складової коефіцієнта заломлення іоносфери;
- похибки, обумовлені нестабільністю супутникових еталонів часу й частоти відносно шкали часу й частоти наземного комплексу керування ГНСС (системною шкалою часу та частоти ГНСС);
- похибки, обумовлені штучним загробленням точності навігаційних рішень, шляхом, наприклад, введення навмисних похибок до шкали часу або частоти НКА по аналогії з режимом “селективного доступу” GPS.

Вплив тропосферних та іоносферних складових визначає похибку виміру псевдовідстані та є достатньо вивчений в багатьох наукових працях, методи та принципи компенсації добре відомі [6]. В той же час ефемеридна похибка не має внеску в визначення псевдовідстані і потребує інших підходів її оцінювання і, відповідно, компенсації.

Аналіз штатних ефемеридних даних (розрахованих згідно [10–12] по переданим з борта НКА навігаційним повідомленням) і еталонних значень вектору положення НКА показав, що середня похибка визначення положення НКА становить близько 1...2 м, однак, необхідно відзначити, що вплив ефемеридної складової значно збільшується при використанні режимів, аналогічних режиму селективного доступу (СД) GPS. При цьому середня ефемеридна похибка (щодо еталонних значень) може складати біля 50...300 м (рис. 1), а середньоквадратичне відхилення (СКВ) біля 20 м (при зсуві шкали часу годин НКА на 0,3 с).

Рис. 1. Похибки розрахунку координат споживача при використанні режиму СД

Рішення завдання корекції навігаційної інформації для компенсації ефемеридної складової в апаратурі споживача ГНСС як і в класичному випадку можна заснувати на підходах, пов'язаних з формуванням коригувальних поправок за результатами вимірів одержуваних опорною станцією з відомим місцем розташування, але без організації каналу передачі даних. В якості опорної станції може виступати штатна двочастотна базова апаратура ГНСС, прив'язана до опорної точки.

Для компенсації ефемеридної складової похибки визначення місцеположення пропонується використати метод, при якому по даним одного (основного) приймача оцінюються параметри моделі нев'язки вимірів псевдовідстані, на підставі яких виробляється прогноз нев'язки у часі і здійснюється розрахунок коригувальних поправок до вимірів другого (заданого) приймача $\hat{R}_{i_{np2}}$. Під нев'язками вимірів псевдовідстані $\Delta\hat{R}_{i_{ef}}$ розуміється різниця між розрахунковим (отриманим шляхом розрахунку $\hat{R}_{розр_{np1}}$ з використанням ефемерид НКА (x_1, y_1, z_1) й точних значень координат основного приймача $(x_{np1}, y_{np1}, z_{np1})$ і виміряним значенням відстані до НКА $\hat{R}_{i_{np1}}$ (рис. 2):

$$\Delta\hat{R}_{i_{ef}} = R_{розр_{np1}} - \hat{R}_{i_{np1}}, \quad (5)$$

$$R_{розр_{np1}} = \sqrt{(x_i - x_{np1})^2 + (y_i - y_{np1})^2 + (z_i - z_{np1})^2}, \quad (6)$$

$$\hat{R}_{i_{np2}} = \hat{R}_{i_{np2}} + \Delta\hat{R}_{i_{ef}}. \quad (7)$$

Рис. 2. Псевдодиференціальний режим

Важливою перевагою розглянутого методу компенсації є його стійкість при зниженні точності ефемеридних даних НКА (у тому числі при навмисному загробленні ефемерид, що підтверджується моделюванням такого режиму).

В табл. 1 приведені результати розрахунку залишкової ефемеридної похибки (з її прогнозом по

часу) для ГНСС приймачів POLV (м. Полтава) і BOGI (м. Богова Гора, республіка Польща) для випадку використання в якості базової (координати якої відомі з високою точністю) станції GLSV (м. Київ) при відстані до POLV і BOGI – 300 км і 700 км відповідно.

Як можна побачити з табл. 1, пропонується метод за рахунок реалізації механізму оцінки поширення в часі й просторі параметрів моделі зміни нев'язки вимірів псевдовідстані дозволяє забезпечити залишкову ефемеридну похибку вимірів місцевизначення до декількох одиниць метрів при похибках в ефемеридах НКА до 3 м, при цьому одночасно корегується і відхилення бортового годинника НКА щодо системної шкали часу.

Таблиця 1

Залишкова похибка місцевизначення з імітацією навмисного загрошення точності ефемерид НКА

Тривалість прогнозу, хв	POLV, відстань від GLSV 300 км		BOGI, відстань від GLSV 700 км	
	Середнє, м	СКВ, м	Середнє, м	СКВ, м
15	1,18	0,72	3,23	2,42
30	2,64	1,57	3,70	2,72
45	4,96	2,96	5,35	3,41

З метою оцінки характеристик точності позиціювання при використанні ефемеридної корекції були проведені дослідження з використанням реальних вимірів ГНСС. Виміри траєкторії виконувалися близько 9000 секунд або з 01:16:52 до 03:46:52 місцевого часу, 18.08.2018 при русі по трасі Харків-Дніпропетровськ.

В рамках досліджень у якості приймача ГНСС використався одностатотний GPS+ГЛОНАСС приймач DL-V3, розташований на легковому автомобілі, що рухався із середньою швидкістю близько 80 км/ч. У якості базової станції ГНСС з відомими координатами використалася станція SURE (Харківський національний університет радіоелектроніки), виміри якої у форматі RINEX у вигляді навігаційних файлів і файлів спостережень були доступні у моменти часу, відповідні вимірам рухомої апаратури ГНСС.

На інтервалі вимірів змінювалось сузір'я супутників GPS+ГЛОНАСС та відповідно змінювались кількість видимих супутників і геометричний фактор. Величина геометричного фактора перевищувала значення 10 для 7.2 % вимірювальних епох (загальне число епох – 618).

Еталонні значення координат точок траєкторії руху було отримано на основі постсеансної обробки з використанням геодезичних методів ГНСС на основі сумісного використання вимірів рухомої апаратури ГНСС та базової станції SURE. Еталонні значення координат отримані програмою GRAFNAV.

При проведенні досліджень також розглядався варіант навмисного загрошення ефемерид супутників GPS (по аналогії з режимом селективного досту-

пу). Такий режим був реалізований шляхом зсуву шкали часу всіх супутників GPS на 0,01 с (режим 1) і 0,05 с (режим 2). Похибка, внесена при цьому в ефемерида, склала (30–150) м.

У табл. 2 представлені узагальнені дані по відносній кількості рішень, що мають абсолютну похибку більш ніж 9 м (СКВ – 3 м).

Таблиця 2

Відносна кількість рішень, що мають похибку більш ніж 9 м

Розрахунок	Без СД	Режим 1	Режим 2
Без корекцій	96,0 %	72,2 %	0,3 %
Прогноз 100 с	95,5 %	87,0 %	83,7 %
Прогноз 300 с	94,9 %	85,5 %	81,2 %
Прогноз 600 с	92,8 %	84,1 %	75,7 %

Висновки

Таким чином, поставлена мета статті досягнута. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про те, що використання запропонованого алгоритму корекції ефемеридної похибки дозволяє навіть при відсутності каналу зв'язку з базовою станцією на інтервалах часу більш ніж 10 хвилин забезпечувати точність визначення координат військових навігаційних споживачів з СКВ не більше 3 м, що практично відповідає характеристикам традиційного диференціального режиму, при цьому, вказані характеристики досягаються навіть при використанні власниками систем ГНСС режиму навмисного загрошення ефемерид.

Вказаний часовий інтервал, протягом якого забезпечується необхідна точність навігаційного забезпечення, дозволяє вирішувати, наприклад, такі завдання, як наведення на ціль ракет різного класу, супроводження використання за призначенням безпілотних літальних апаратів, і взагалі, будь-які завдання ЗС, при неможливості використання традиційних диференціальних методів протягом встановленого проміжку часу.

Практичне впровадження нових поглядів в структуру навігаційного забезпечення ЗС України, застосування розроблених методів та алгоритмів, доповнень до існуючої структури СКНЗ України дозволить значно підвищити точність, надійність та оперативність визначення місцеположення військових споживачів ГНСС.

Крім того, впровадження нових розробок та відповідне вдосконалення структури Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України дозволить знизити залежність від країн-власників систем та підвищити перешкодозахищеність супутникової навігаційної апаратури в умовах як навмисного так і ненавмисного спотворення інформації ГНСС.

Результати досліджень можуть бути реалізовані при розробці документів та методичних рекомендацій, які регламентують питання щодо використання інформації СКНЗ в інтересах ЗС України.

Список літератури

1. Навігаційне забезпечення Збройних Сил України з використанням космічних систем: монографія / С.В. Козельков, К.С. Козелькова, С.М. Неділько, [та ін.] / За ред. С.М. Неділько. – Кіровоград: Вид-во КЛА НАУ, 2013. – 628 с.
2. Про схвалення основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.06.2017 № 398-р.
3. Магась Г.А. Тенденції розвитку збройної боротьби у сучасних умовах / Г.А. Магась // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 79-95.
4. Технічна характеристика навігаційної апаратури СН3003М “Базальт” / А.А. Водяних, В.Ю. Тимчук, І.О. Кондратюк, Д.І. Заруднев // Академія Сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного: Військово-технічний збірник. – 2011. – Вип. 1 (4). – С. 198-205.
5. Резніков Ю.В. Пропозиції щодо забезпечення підрозділів Збройних Сил України необхідною координатно-часовою інформацією з використанням глобальних супутникових навігаційних систем / Ю.В. Резніков, О.І. Солонець, С.В. Логачов // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 3(39). – С. 54-57.
6. Cai C. Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning / C. Cai, Y. Gao // GPS Solution. – 2013. – № 17(2). – P. 223-236.
7. Xu L. Study on RAIM algorithm of multimode navigation system / L. Xu, H. Zhang, X. Li // Journal of Time and Frequency. – 2011. – № 34(2). – P. 131-138.
8. Martini I. Advanced RAIM architecture design and user algorithm performance in a real GPS, GLONASS and Galileo scenario / I. Martini, M. Rippl, M. Meurer // 26th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GNSS 2013, 2013. – P. 2624-2636.
9. Деденок В.П. Обоснование критериев достижения требуемой точности оценивания навигационных параметров космических аппаратов / В.П. Деденок, В.А. Кочура, Е.В. Мигура // Системи обробки інформації. – 2011. – № 1(11). – С. 51-57.
10. Coming Soon: the international GNSS real-time service / M. Caissy, L. Agrotis, G. Weber, M. Hernandez-Pajares, U. Hugentobler // GPS world. – 2012. – № 23(6). – P. 52-58.
11. Montenbruck O. Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective / O. Montenbruck, P. Steigenberger, A. Hauschild // GPS Solutions. – 2015. – № 19. – P. 321-333. <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0390-8>.
12. El-Mowafy Ahmed. ARAIM for Vertical Guidance using GPS and BeiDou / Ahmed El-Mowafy // Journal of Global Positioning Systems. – 2013. – № 12(1). – P. 28-37. <https://doi.org/10.5081/jgps.12.1.28>.

References

1. Kozelkov, S.V., Kozelkova, K.S. and Nedil'ko, S.M. (2013), “*Navigacijne zabezpechennja Zbrojnih Sil Ukrayini z vikoristannyam kosmichnih sistem*” [The navigation providing of Armed Forces of Ukraine with the use of the space systems], KLA NAU, Kirovograd, 628 p.
2. Order of Cabinet of Ministers of Ukraine (2017), “*Pro skhvalennja osnovnih napryamiv rozvitku ozbroennja ta vijs'kovoyi tekhniki na dovgostrokovij period. No. 398-r vid 14.06.2017*” [About approval of basic directions of development of armament and military technique on long-term period No. 398-r dated 14.06.2017], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/398-2017-p>.
3. Magas, G.A. (2015), “*Tendenciyi rozvitku zbrojnoyi borotbi u suchasnihi umovah*” [Progress of the armed fight trends are in modern terms], *Collection of scientific works of the National academy of Government frontier service of Ukraine*, No. 1, pp. 79-95.
4. Vodyanih, A.A., Timchuk, V.YU., Kondratyuk, I.O. and Zarudnev, D.I. (2011), “*Tekhnichna harakteristika navigacijnoyi aparaturi SN3003M “Bazalt”*” [Technical description of navigation apparatus of CH3003M “Basalt”], *Academy of Ground forces of the name of hetman Petro Sagajdachniy: Military-technical collection*, No. 1(4), pp. 198-205.
5. Reznikov, YU.V., Solonec, O.I. and Logachov, S.V. (2014), “*Propoziciyi shchodo zabezpechennja pidrozdiliv Zbrojnih Sil Ukrayini neobhidnoyu koordinatno-chasovoyu informaciyu z vikoristannyam globalnih suputnikovih navigacijnih sistem*” [Suggestions in relation to providing of subdivisions of Armed Forces of Ukraine by necessary coordinate-sentinel information with the use of global satellite navigational], *Systems of Arms and Military Equipmen*, No. 3(39), pp. 54-57.
6. Cai, C. and Gao, Y. (2013), Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning, *GPS Solution*, No. 17(2), pp. 223-236.
7. Xu, L. and Zhang, H. (2011), Study on RAIM algorithm of multimode navigation system, *Journal of Time and Frequency*, No. 34(2), pp. 131-138.
8. Martini, I., Rippl, M. and Meurer, M. (2013), Advanced RAIM architecture design and user algorithm performance in a real GPS, GLONASS and Galileo scenario, *26th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GNSS*, pp. 2624-2636.
9. Dedenok, V.P., Kochura, V.A. and Migura, E.V. (2011), “*Obosnovanie kriteriev dostizheniya trebuej tochnosti ocenivaniya navigacionnyh parametrov kosmicheskikh apparatov*” [Ground of criteria of achievement of the required exactness of evaluation of navigation parameters of space vehicles], *Information Processing Systems*, No. 1(11), pp. 51-57.
10. Caissy, M., Agrotis, L., Weber, G., Hernandez-Pajares, M., and Hugentobler, U. (2012), Coming Soon: the international GNSS real-time service, *GPS world*, No. 23(6), pp. 52-58.
11. Montenbruck, O., Steigenberger, P. and Hauschild, A. (2015), Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective, *GPS Solutions*, No. 19, pp. 321-333.
12. El-Mowafy, Ahmed (2013), ARAIM for Vertical Guidance using GPS and BeiDou, *Journal of Global Positioning Systems*, No. 12(1), pp. 28-37. <https://doi.org/10.5081/jgps.12.1.28>.

Надійшла до редколегії 10.01.2020

Схвалена до друку 11.02.2020

Відомості про авторів:**Деденок Віктор Петрович**

доктор технічних наук професор
провідний науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0622-4665>

Резніков Юрій Вячеславович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5783-698X>

Березина Світлана Іванівна

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3081-3331>

Information about the authors:**Viktor Dedenok**

Doctor of Technical Sciences Professor
Lead Research
of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0622-4665>

Yurii Reznikov

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5783-698X>

Svitlana Berezina

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3081-3331>

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
ИНФОРМАЦИИ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ**

В.П. Деденок, Ю.В. Резников, С.И. Березина

Для организации контроля целостности глобальных навигационных спутниковых систем для военных потребителей предложен критерий соответствия точности получаемых навигационных решений заданным требованиям, который в отличие от традиционных не требует непосредственного сравнения конкурирующих оценок по всем возможным направлениям и основывается на использовании понятия минимального собственного числа матрицы. Предложен метод компенсации эфемеридной погрешности на основе формирования модели погрешности с возможностью экстраполяции ее значений по времени и осуществления псевдодифференциального режима без организации реального канала связи с базовой станцией.

Ключевые слова: навигационное обеспечение Вооруженных Сил, глобальные навигационные спутниковые системы, контроль целостности, надежность навигационной информации, эфемеридная погрешность, режим селективного доступа, дифференциальный режим.

**INCREASE OF RELIABILITY OF NAVIGATION PROVIDING OF SOLDIERY CONSUMERS
OF INFORMATION OF GLOBAL SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS**

V. Dedenok, U. Reznikov, S. Berezina

Directions of increase of military efficiency of Armed Forces are analysed, the substantial role of the navigation providing is shown for the different levels of management of units and subdivisions, the necessity of introduction of global satellite navigation technologies is certain. Composition and descriptions of existent navigation apparatus of Armed Forces of Ukraine are analysed, the necessity of the use of System of the coordinate-temporal and navigation providing of Ukraine is shown at the decision of tasks of high-fidelity navigation. The problems of the use of differential methods of increase of exactness are considered for soldiery consumers. The criterion of accordance of exactness of the got navigation decisions is offered to the set requirements, which unlike traditional does not require direct comparison of competitive estimations on all possible directions and based on the use of concept of minimum own number of matrix. The method of indemnification of ephemeris error is offered on the basis of forming of model of error with possibility of extrapolation of its values at times and realizations of the pseudodifferential mode without organization of the real communication channel with the base station. Results over of calculation of residual ephemeris error are brought it is shown for the existent apparatus of global satellite navigation system, that the use of the offered method allows in default of channel the transmissions of differential amendments on time domains more than 10 minutes to provide exactness of determination of coordinates of soldiery navigation consumers with a middlequadratic rejection a no more than 3 m even at the use by the owners of navigation systems of the mode of the intentional worsening of exactness. Introduction of new developments and perfection of structure of examined system will allow to reduce dependence on the countries-proprietors of the systems and promote noise immunity of satellite navigation consumers in the conditions of as intentional so unintentional distortion of information.

Keywords: navigation providing of Armed Forces, global satellite navigation systems, control of integrity, reliability of navigation information, ephemeris error, selective availability, differential mode.