

УДК 621.396

В.О. Гуменюк, Д.П. Пашков, С.Д. Ставицький

Національна академія оборони України, Київ

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТРОЛЬНО-КОРЕГУЮЧИХ СТАНЦІЙ У СКЛАДНІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІЙ ОБСТАНОВЦІ

*На основі проведеного аналізу пропонується метод підвищення точності визначення місцеположення літальних апаратів.*

*контрольно-корегуючі станції, літальний апарат, місцеположення*

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз літератури.

На теперішній час в Україні велика увага приділяється розвитку засобів навігації. Необхідність високоякісного навігаційного забезпечення пояснюється сучасною потребою в безпеці руху транспортних засобів та інших рухомих об'єктів, підвищенням економічності перевезень, а також виконанням ряду інших транспортних, геодезичних та спеціальних задач. Дослідження, проведені в різних країнах, показали, що використання космічних навігаційних технологій на практиці дає значний економічний ефект. Так, наприклад, застосування космічних навігаційних технологій в авіаційному транспорті дає змогу збільшити перевезення на 10-15%, знизити собівартість перевезень на 20-25%, а також знизити аварійність на 60%.

У Загальнодержавній (Національній) космічній програмі України на 2002-2007 роки передбачається розвиток інфраструктури навігаційних та спеціальних інформаційних систем. Цей напрям полягає у виконанні проєктів "Навігація", "Безпека", "Геомережа", "Спостереження", "Модернізація-С"[1].

Роботу, визначену в проєкті "Навігація", спрямовано на організацію системи космічного навігаційно-часового забезпечення (СКНЧЗ), яка б задовольняла вимоги споживачів навігаційної інформації на всій території України, у національному повітряному просторі та в акваторіях прилеглих морів з необхідними характеристиками за точністю, надійністю, доступністю, забезпечуючи при цьому гармонізацію з міжнародними системами навігаційного обслуговування.

Робота передбачає створення та введення в дію на території України СКНЧЗ у вигляді наземної диференціальної підсистеми глобальних навігаційних супутникових систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo.

СКНЧЗ України призначена для забезпечення високоточного позиціонування, навігації та підвищення ефективності і безпеки функціонування транспорту, галузей промисловості та сільського господарства. На СКНЧЗ покладено вирішення таких завдань:

– проведення постійного моніторингу ( з метою контролю цілісності ) навігаційних полів, які створюються як існуючими глобальними навігацій-

ними супутниковими системами (ГНСС) подвійного призначення під військовим контролем GPS (США), ГЛОНАСС (РФ), так и перспективною цивільною ГНСС Galileo (Європейський Союз);

– формування диференційної корегуючої інформації (ДКІ) для уточнення зазначених полів, включаючи формування інформації про їх цілісність;

– розповсюдження ДКІ на територію України і на прилеглу територію інших країн.

– СКНЧЗ будується як система реального часу, в якій виділяються три функціональні взаємопов'язані та взаємодоповнюючі підсистеми:

– підсистема широкозонних диференційних корекцій (ПШДК);

– підсистема регіональних диференційних корекцій (ПРДК);

– підсистема прецизійних післясеансних визначень (ПППВ).

ПШДК призначена для виконання моніторингу ГНСС, формування та видачі споживачам СКНЧЗ у реальному масштабі часу (РМЧ) широкозонної диференційної корегуючої інформації для забезпечення точності визначення координат на рівні 1 – 2м . ПРДК призначена для формування та видачі споживачам СКНЧЗ у РМЧ диференційної корегуючої інформації на регіональному рівні для забезпечення точності визначення координат на рівні 0.02 – 0.2м. ПППВ призначена для надання споживачам геодезичних та навігаційних застосувань «сирої» (необробленої) і/або попередньо обробленої інформації довільних станцій, що входять у склад СКНЧЗ, а також виконання післясеансної обробки вимірюваної інформації користувачів.

Диференційний спосіб спостереження є найбільш ефективним засобом виключення помилок. Його сутність полягає у виконанні вимірів двома приймачами: один встановлюється в точці, що визначається, а інший – у точці з відомими координатами – базової (контрольної) станції.

Оскільки відстань від супутника до приймачів значно більше відстані між самими приймачами, то вважають, що умови приймання сигналів обома приймачами практично однакові. А, відповідно, значення помилок також будуть близькими. У ди-

ференційному режимі вимірюють не абсолютні координати першого приймача, а його положення відносно базового (вектор бази). Використання диференційного режиму дозволяє практично довести точність кодових вимірів до десятків сантиметрів, а фазових - до одиниць міліметрів. Найкращі показники мають фазові двочастотні приймачі. Вони відрізняються від фазових одночастотних приймачів більш високою точністю, більш широким діапазоном вимірюваних векторів баз та більшою швидкістю і стійкістю вимірів. Однак сучасні технологічні досягнення дозволяють одночастотним фазовим приймачам за характеристиками наблизитись до двочастотних.

Однією з особливостей режиму роботи диференційної підсистеми є необхідність передачі диференційних поправок від базового приймача до того, що визначається. При цьому розрізняють два методи корегування інформації:

1. Метод корекції координат, коли на станції та у точці, що визначається, спостерігають одні і ті ж супутники, а потім як диференційні поправки з базової станції передають добавки до вимірюваних у пункті, що визначається, координат. Недоліком даного методу є те, що приймачі базового та пункту, що визначається, повинні працювати по одному робочому сузір'ю.

2. Метод корекції навігаційних параметрів, при використанні якого на базовій станції визначаються поправки до вимірюваних параметрів (наприклад, псевдодальностей) для всіх супутників, котрі потенційно можуть бути використані споживачами. Ці поправки передаються на пункти, що визначаються, де вже безпосередньо в приймачі розраховуються поправки до координат. Недоліком цього методу є підвищення складності апаратури споживачів.

Створення СКНЧЗ потребує вирішення як організаційних, так і технічних проблем, серед яких:

– підвищення точності визначення координат місця за допомогою диференційних підсистем та спеціальних методів обробки сигналів (робота за фазою несучої радіонавігаційних сигналів, використання сигналів РНС “Лоран-С”, “Чайка” в квазідальновимірному режимі, відносні визначення на обмежених базах і т.д.);

– забезпечення електромагнітної сумісності радіонавігаційних засобів.

В умовах України існують проблеми реалізації навігаційних технологій. Це пояснюється наступним:

1. Практично всі роботи, які можуть виконуватись з використанням навігаційних систем, підлягають ліцензуванню.

2. При реалізації диференційних навігаційних технологій у режимі реального часу необхідно отримати дозвіл на використання відповідної частоти радіодіапазону для передачі диференційних поправок. Ліцензування однієї частоти коштує близько 5 тис. USD. Супутникові канали зв'язку коштують ще дорожче.

3. Деякі західні фірми продають навігаційні

приймачі з влаштованою апаратурою передачі диференційних поправок, частоти котрих фіксовані. Імовірно, що ці частоти у нас вже зайняті, тому такий приймач не зможе реалізувати диференційний навігаційний режим у реальному часі.

4. В Україні значна кількість радіоапаратури різного призначення транслює в діапазоні передачі передавальної апаратури космічних навігаційних супутників, тому виконання навігаційних вимірів у районах дій цієї апаратури буде ускладнено.

5. Забрудненістю радіочастотного спектра.

Відомо, що відношення сигнал/завада приймача визначає точність процедури порівняння прийнятого від супутника та опорного сигналів, тобто, похибку розрахунку псевдодальності [8]. Наявність даної похибки призводить до появи координатної помилки порядку 1,2 м та збільшує імовірність помилки. Недопустиме відношення сигнал/завада приймача може призвести до виходу його з ладу.

З урахуванням вищезазначеного можливо зробити висновок, що навігаційні системи діють в умовах складної перезаводової обстановки, яка все більше ускладнюється з появою нових радіоелектронних засобів (РЕЗ). Крім того, збільшується не тільки кількість РЕЗ, але й рівень індустріальних перезавод, пов'язаний з розвитком промисловості, що ускладнює завдання забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС). Це призводить до зниження точності визначення місцеположення літальних апаратів на етапі розгортання та функціонування СКНЧЗ.

Виходячи з вищесказаного, актуальним є питання підвищення точності визначення місцеположення літальних апаратів у складній електромагнітній обстановці. У статті розглянуто метод підвищення точності та проведено його теоретичне обґрунтування. **Аналіз літератури** [3 – 5] показав, що теорія ЕМС спрямована лише на формування організаційних вказівок для введення РЕЗ в ЕМО на основі визначення координатних відстаней, а також на виявлення джерел завад і усунення або зменшення окремих конструктивних недоліків РЕЗ, що суттєво не впливає на вирішення задачі.

**Мета статті** – розробити метод підвищення точності визначення місцеположення літальних апаратів за допомогою контрольно-корегуючих станцій у складній електромагнітній обстановці

## Основна частина

Робочим органом всіх трьох підсистем СКНЧЗ є мережа контрольно-корегуючих станцій (ККС), котрі одночасно є станціями моніторингу ГНСС, на зразок станціям RIMS системи EGNOS.

У теперішній час спеціалістами ОАО «АТ НДІРВ» створена конструкторська документація на ККС і розгорнуті три ККС у Харкові, Дунаєвцях та Євпаторії. До 2009 року планується повне їх розгортання. У подальшому частину ККС СКНЧЗ, після відповідної модифікації, планується використовувати в складі наземного сегмента системи EGNOS (яка зараз

розглядається як перша черга системи в Galileo).

Завдання підвищення точності визначення місцеположення літальних апаратів за допомогою контрольно-корегуючих станцій у складній електромагнітній обстановці будемо вирішувати шляхом підвищення відношення сигнал/завада на вході приймача ККС.

Принциповий захист від природних, взаємних та організованих завад базується на відмінності структури та закономірностей зміни параметрів, властивих корисним сигналам та заважаючим впливам. Вона забезпечується запобіганням перевантажень приймачів, компенсацією радіозвад, первинною, вторинною та функціональною селекціями, адаптацією, комплексним використанням інформації та використанням завадових сигналів у системах, що містять подавлені РЕЗ. При вирішенні завдання підвищення точності визначення місцеположення літальних апаратів за допомогою ККС необхідно аналізувати проходження різних, як правило, складних за структурою сигналів та завад не тільки через лінійні, але й через велику кількість нелінійних перетворювачів як з постійними, так і змінними в часі параметрами. Крім того, боротьба з індустріальними завадами, що попали в приймальний пристрій, найчастіше складна та малоефективна. Тому необхідно подавляти завади в місцях їх виникнення або на шляху їх розповсюдження.

Особливість умов розповсюдження завади у просторі та з урахуванням властивостей середовища розповсюдження, параметрів антен, відстаней між джерелом завади і рецептором, взаємної орієнтації антен, поляризації випромінювання представляє можливість зниження взаємного впливу РЕЗ. Сутність методу, що реалізує дану можливість, полягає в штучному створенні захисного поля (укриття) різної природи в місцях розташування РТС і таким чином здійснити просторове розділення зон роботи ККС від зон дій РЕЗ, що заважають. Відповідно до зазначеного методу передбачається зменшити рівень завад шляхом їх поглинання, погашення, відбивання, розсіювання або іншим чином за рахунок роботи захисного поля

(укриття, екрана) [2].

У відповідності з рис. 1 станція визначення визначає напрям (напрями) на джерело завад. Ця інформація (напрямок на заваду, потужність завади) підходить у блок формування керуючих імпульсів, за допомогою якого здійснюється приведення у робочий стан секції захисного екрана. У вихідному положенні захисний екран знаходиться у горизонтальному положенні, чим забезпечується максимально можливе бачення супутників контрольно-корегуючою станцією. При надходженні інформації від СВЗ БФКІ приводить у робочий стан необхідну кількість секцій захисного екрана (у залежності від напрямку та потужності завади). Секції, при приведенні у робочий стан, встановлюються перпендикулярно до напрямку розповсюдження завади, створивши необхідне для якісного функціонування ККС затухання завади. Якщо завади приходять з різних напрямків, то, відповідно, у робочий стан приводяться всі секції, створивши при цьому навколо ККС суцільний екран циліндричної форми.

Для реалізації даного методу необхідно визначити можливе затухання завади, яке може створювати захисний екран, дальність до захисного екрана, його висоту та кількість супутників, які можливо буде спостерігати при цьому. Відповідно до літератури [4] найбільш загальною формулою, що характеризує ефективність електромагнітного екранування, є:

$$E_{0E(H)} = \sqrt{\frac{\delta}{\rho}} Z_{E(H)} \times 3 \sqrt{\frac{\lambda}{R_e}} e^{-m} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda}\right)^6, \quad \delta = 0,03 \sqrt{\frac{\lambda \rho}{\mu_r}}; \quad (1)$$

$$R_e \approx 0,623 \sqrt{V_{\text{екр}}}; \quad Z_E = \frac{Z_0 \lambda}{2 R_e \pi}; \quad Z_H = Z_0 \frac{2 \pi R_e}{\lambda};$$

де  $V_{\text{екр}}$  – внутрішній об'єм екрана,  $m^3$ ;  $E_{0E(H)}$  – середня ефективність екранування;  $\delta$  – глибина проникнення хвилі,  $m$ ;  $\rho$  – питомий опір матеріалу екрана, Ом· $m$ ;  $Z_{E(H)}$  – хвильовий опір електричного (магнітного) поля, Ом;  $\lambda$  – довжина хвилі, що падає,  $m$ ;  $R_e$  –

еквівалентний радіус екрана,  $m$ ;  $d$  – товщина матеріалу екрана,  $m$ ;  $t$  – найбільший розмір щілини (отвору),  $m$ ;  $\mu_r$  – відносна магнітна проникливість матеріалу екрана.

Формула (1) забезпечує достатню для практики точність розрахунку ефективності екранів різної конструкції. Розбіжність розрахункових та дійсних значень зумовлена в основному відсутністю повної електричної герметичності захисного екрана.

Досвід проектування, виготовлення, випробування та експлуатації пристроїв і систем екранування показує, що

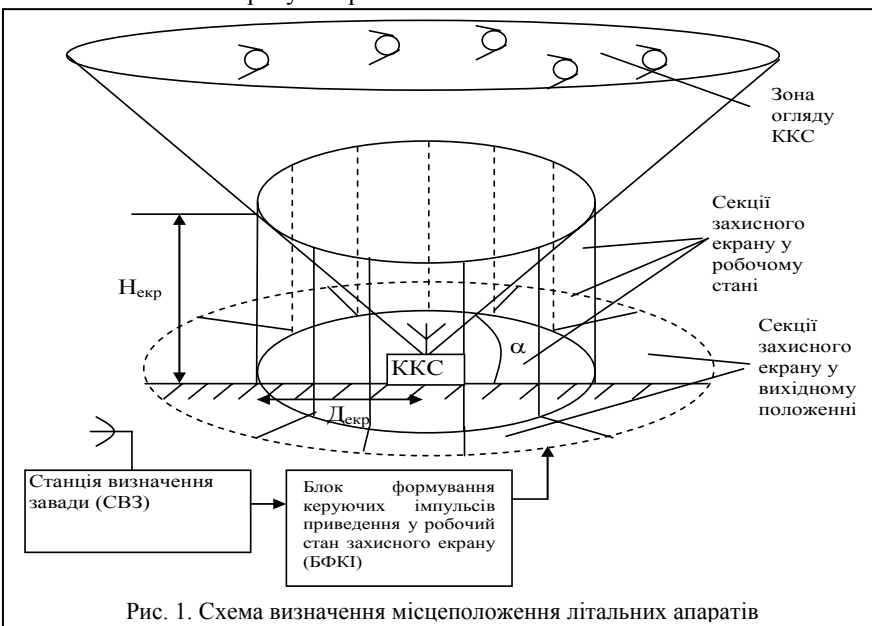


Рис. 1. Схема визначення місцеположення літальних апаратів

в середньому ефективність екранування апаратури та об'єктів може бути досягнута на рівні даних, що наведено в табл. 1. Ці дані наведені в децибелах та відносяться до верхньої межі частоти піддіапазону.

Відсутність у таблиці 1 цифрових значень для окремих пристроїв означає, що даний варіант не рекомендується або являється нереальним [6].

Таблиця 1

Ефективність екранування апаратури та об'єктів

Матеріал та конструкція захисного укриття	Діапазон частот, МГц				
	0,15 – 3	3 – 30	30 – 300	300 – 3000	3000 – 10000
Сталь листовая: зварення безперервним швом зварення точкове, крок 50 мм листи, які скріплені болтами, крок 50 мм	100	100	100	100	100
	70	50	–	–	–
	75	60	–	–	–
Жерсть (фальцем): безперервна паяння точкове паяння, крок 50 мм без паяння	100	100	100	100	100
	100	80	60	50	40
	100	100	60	50	40
Сітка металева: паяння, чарунка 1...1,5 мм	80	60	50	40	25
Фольга: склейка внапусток (шов перекрито)	100	80	80	70	60
Струмopрoвідна фарба ( $R_f=6$ Ом)	70	40	30	40	40
Металізація: витрати металу 0,3 кг/м <sup>2</sup>	100	80	60	50	40

Як видно з табл. 1, захисні екрани спроможні забезпечити значне затухання завади.

Вибір того чи іншого матеріалу захисного екрана буде визначатися, як правило, необхідним затуханням завади, розмірами РТС та економічною доцільністю.

Для захисту ККС від завади необхідно враховувати той факт, що її діаграма спрямованості в ближній зоні має несформований характер і довільні конструкції впливають на її форму. Останнє, у свою чергу, призведе до погіршення точності навігаційного виміру. Виходячи з вищевикладеного, захисні конструкції необхідно встановлювати в дальній зоні. Відомо, що дальня зона визначається такою формулою.

$$R_{дз} = \frac{2L^2}{\lambda}, \quad (6)$$

де  $R_{дз}$  – дальність до дальньої зони, м;

$L$  – геометричний розмір антени ККС, м;

$\lambda$  – довжина хвилі сигналу, м.

Так, наприклад, робочі частоти навігаційної супутникової системи ГЛОНАСС складають  $L_1 = 1575,42$  МГц та  $L_2 = 1227,6$  МГц відповідно. При геометричному розмірі приймальної антени  $L = 0,3$  м дальність до дальньої зони складе: для частоти  $L_1$  – 0,95 м; для частоти  $L_2$  – 0,74 м.

Тому можливо прийняти  $D_{екр} > R_{дз} = 1$  м.

Із рис. 1 очевидно, що

$$H_{екр} = D_{екр} \operatorname{tg} \alpha + H_{ант}, \quad (7)$$

де  $H_{ант}$  – висота антени.

Прийmemo  $\alpha = 10^\circ$ , тоді  $H_{екр} = 0,18 + 0,30 = 0,48$  м.

Для роботи ККС має спостерігати не менше чотирьох супутників. Виходячи з [8], при  $\alpha = 10^\circ$  ККС може спостерігати не менше п'яти супутників, що задовольняє вимогам.

## Висновки

1. Підвищити точність визначення місцеположення літальних апаратів за допомогою контроль-

но-корегуючих станцій у складній електромагнітній обстановці можливо за допомогою підвищення відношення сигнал/завада на вході приймача ККС.

2. Відношення сигнал/завада на вході приймача ККС можливо підвищити за рахунок встановлення захисного екрана.

3. Для розгортання мережі ККС по території України необхідно враховувати ЕМО в тій чи іншій місцевості.

## Список літератури

1. *Загальнодержавна (Національна) космічна програма України на 2002-2007 р.*
2. *Гуменюк В.О., Моргунов О.А., Козелкова К.С., Ставицький С.Д. Просторове розділення зон роботи радіотехнічних систем управління космічними апаратами від зон дії радіоелектронних засобів, що заважають // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2007. – №2 (60). – С. 12-15.*
3. *Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.*
4. *Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / В.И. Владимиров, А.Л. Докторов, Ф.В. Елизаров и др.; Под ред. Н.М. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.*
5. *Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Пер. с англ.; вып. 3 / Под ред. А.Д. Князева. – М.: Сов. радио, 1979. – 464 с.*
6. *Полонский Н.Б. Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1979. – 216 с.*
7. *Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах: Пер. с англ. / Под ред. М.В. Гальперина. – М.: Мир, 1979. – 317 с.*
8. *Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія та практика / Б.Гофмани-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз; Пер. з англ. третього вид. Під ред. Я.С. Яцківа. – К.: Наук. думка, 1995. – 380 с.*

Надійшла до редколегії 22.03.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, Київ.