

УДК 621.3

С.В. Козелков, С.М. Кучерук, Б.А. Костенко, В.І. Богом'я

ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління», Київ

## ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ РАДІОНАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті розглядаються проблемні питання визначення загальних напрямів підвищення якості радіонавігаційного забезпечення України. Наведено шляхи підвищення функціональної надійності та завадозахисту радіонавігаційних систем. Розглянуто особливості супутникових радіонавігаційних систем та особливості створення національної радіонавігаційної системи.

**Ключові слова:** радіонавігаційне забезпечення, супутникова система, завадозахист.

### Вступ

Аналіз багатьох джерел інформації щодо подальшого розвитку радіонавігаційного забезпечення свідкує про те, що по-перше необхідне визначити загальні вимоги користувачів до радіонавігаційного забезпечення, сформулювати вимоги конкретних користувачів, розглянути проблемні питання досягнення даних вимог. Потім, на основі проведеного аналізу, визначити загальні напрями підвищення якості радіонавігаційного забезпечення України.

Так, у роботах [1, 2] було наведено класифікація користувачів радіонавігаційного забезпечення: повітряні, морські, річні, наземні та космічні. Це дало можливість сформулювати загальні вимоги у відповідності з особливостями користувачів, а саме вимоги до: робочих смуг радіонавігаційних систем (РНС), точності місцезнаходження, доступності та цілісності [3]. Точність місцезнаходження визначаємо, як середньоквадратичну похибку (СКП). Під «доступністю» будемо розуміти ймовірність обслуговування, під «цілісністю» – ймовірність виявлення порушення та/або інтервал часу виявлення порушення. При цьому враховуються міжнародні вимоги до навігаційного забезпечення, які визначені у документах Міжнародної організації цивільної авіації ІКАО [4 – 6]. Загальні вимоги користувачів радіонавігаційного забезпечення наведено у табл. 1.

На основі аналізу тенденцій розвитку навігаційної апаратури (НА) користувачів радіонавігаційних систем [1 – 6] можливе визначення наступних напрямів розвитку (НА):

1. Удосконалення характеристик апаратури:
  - 1.1 підвищення характеристик точності;
  - 1.2 підвищення надійності, завадостійкості та електромагнітної сумісності;
  - 1.3 забезпечення автономних методів контролю цілісності системи;
  - 1.4 поширення переліку сервісних завдань;
  - 1.5 зменшення габаритних характеристик;
  - 1.6 зменшення вартісної апаратури.
2. Поширення функціональних можливостей апаратури:

2.1 забезпечення можливості взаємодії апаратури з автоматизованими інформаційними системами та системами управління рухом;

2.2 забезпечення можливості комплексування апаратури з автономними навігаційними системами об'єкта;

2.3 знаходження кутів орієнтації в просторі, поправок системи курсу та інші.

3. Спеціалізація апаратури за наступними типами:

3.1 військова;

3.2 загального призначення;

3.3 спеціальна.

4. Створення уніфікованих функціональних елементів, вузлів, блоків.

### 1. Шляхи підвищення функціональної надійності та завадозахищеності радіонавігаційних систем

Попередня оцінка показує, що для РНС із наземними станціями найбільшою небезпечною є фізичне пошкодження наземного обладнання, у першу чергу – антенних систем, що мають найбільші розміри, висоту або довжину. Для приймачів радіозасобів довгохвильового і середньохвильового діапазонів істотну небезпеку представляють атмосферні перешкоди, перешкоди, обумовлені електризацією корпусу літака і т.д.

Для СНС найбільшу небезпеку представляють навмисні (терористичні) та природні (ненавмисні) перешкоди навігаційній апаратурі споживачів, оскільки потужність прийнятих сигналів дуже мала і знаходиться на рівні  $-160$  дБВт.

Впливи перешкод можуть бути по каналах ГЛОНАСС/GPS, ГАЛІЛЕО, EGNOS, MSAS і локальних ДПС типу LAAS.

Перелік можливих і джерел перешкод, що спостерігаються, для ГЛОНАСС і GPS наведений з урахуванням у табл. 2.

Відзначимо основні ідентифіковані джерела завад. Це завади в смузі GPS, що представляють собою вузькополосний сигнал типу немодульованої несучої на частоті 1575,42 МГц. Відзначався вплив і сигналу на частоті 1533 МГц.

Таблиця 1

## Загальні вимоги користувачів радіонавігаційного забезпечення

| Користувачі | Завдання  | Робоча суга                      | Точність місцезнаходження (м)                        | Доступність       | Цілісність  |
|-------------|---|----------------------------------|--|-------------------|-------------|
| повітряні   | Польоти по маршруту   | глобальна, регіональна           | 250 – 5800   | 0,99 – 0,9999     | 0,95 (15 с) |
|             | Польоти в зоні аеродрому                                      | район аеродрому                  | 370  | 0,99 – 0,9999     | 0,95 (15 с) |
|             | Захід та посадка літака за категоріями ІСАО                   | смуга засобів посадки            | 2,0 – 8,5  | 0,99 – 0,9999     | 0,95 (6 с)  |
|             | Спецзавдання, геофізичні та геодезичні спостереження          | локальна                         | 1 – 10   | 0,999             | 0,999       |
| наземні     | Картографія та геодезія                                       | глобальна, регіональна, локальна | 0,02 – 0,03;<br>0,02 – 0,05;<br>$3-6 \times 10^{-3}$ | –                 | –           |
|             | Вирішення спецзавдань   | локальна                         | 5 – 15   | 0,99              | 0,95        |
|             | Рух транспорту за встановленими маршрутами                    | регіональна, локальна            | 100  | 0,99              | 0,95        |
|             | Рух транспорту за довільними маршрутами                       | регіональна, локальна            | 100  | 0,99              | 0,95        |
| космічні    | КА зв'язку та ретрансляції                                    |                                  | 200  |                   |             |
|             | КА навігаційного забезпечення                                 |                                  | 3 – 5  |                   |             |
|             | КА геодезичного забезпечення                                  |                                  | 0,33   |                   |             |
|             | КА геофізичного забезпечення                                  |                                  | 17 – 50  |                   |             |
| морські     | океан   | глобальна                        | 50   | 0,998 за 30 діб   | 10 с        |
|             | Висока інтенсивність судноводіння                             | локальна                         | 5  | 0,995 за 2 години | 10 с        |
|             | Мала інтенсивність судноводіння                               | регіональна                      | 5  | 0,995 за 2 години | 10 с        |
|             | Судноводіння по всьому Мировому океану (перспективні вимоги)  | глобальна                        | 10   | 0,995 – 0,9997    | 10 с        |
|             | Акваторії портів, виконання спецзавдань (перспективні вимоги) | локальна                         | 0,05 – 0,5   | 0,995 – 0,9997    | 10 с        |

Таблиця 2

## Характеристики можливих джерел перешкод

| Діапазон частот, МГц, що заважають сигналів (номер каналу) | Джерела сигналів, що заважають                              | Частоти GPS: 1227,6; 1575,42; 1176,45 МГц | Частоти ГЛОНАСС, МГц: 1246-1256,5; 1602-1615,5; після 2005р. 1242,94-1247,75; 1598-1604,25 |
|--|---|---|--|
| 1533   | радіолінія  | +   | –  |
| ~500   | 3-я гармоніка   | +   | +  |
| 66 і 67 канали ТВ  | 2-я гармоніка   | +   | +  |
| 22 і 23 канали ТВ  | 3-я гармоніка   | +   | +  |
| 157 УКВ  | 10-я гармоніка  | +   | +  |
| 131 і 121 УКВ  | 12 і 13 гармоніки   | +   | +  |
| Сигнали запиту дальності РСБН                              | 2-я гармоніка   | +   | +  |
| 525 частота кристала ДМЕ                                   | 3-я гармоніка   | +   | –  |
| 1575   | немодульована несуща  | +   | –  |
| >1610  | СПСС Глобалстар   | –   | +  |
| 1240...1243,25   | передача цифрових даних (пакетне радіо), ФРН                | –   | +  |
| 1242 ... 1242,7  | аматорські радіорелейні станції                             | –   | +  |
| 1243...1260  | аматорські телевізійні передавачі                           | –   | +  |
| 1250...1259  | РЛС УВС   | –   | +  |
| 1176; 1226...1250; 1575...1604                             | перешкоди в смугах ГЛОНАСС і GPS від терористів і хуліганів | +   | +  |
| 108...118  | перешкоди в смугах ЛПД ДПС від терористів і хуліганів       | +   | +  |

У смузі L1 сигналів ГЛОНАСС діють випромінювання засобів рухомого супутникового зв'язку типу ГЛОБАЛІСТАР і ін.

У смузі сигналів L2 ГЛОНАСС у Європі діють сигнали аматорських радіостанцій «пакетного радіо», аматорські радіорелейні і телевізійні станції, а також РЛС УВС Німеччини.

Другий клас ідентифікуємих джерел завад – це внеполосні випромінювання типу гармонік (3-я гармоніка частоти 525 МГц кристала ДМЕ, 2-а гармоніка 66 і 67 каналів ТВ, 3-я гармоніка 22 і 23 каналів ТВ, 3-я гармоніка частоти 157 МГц УКВ-зв'язку, 12-а і 13-а гармоніки частот 131 МГц і 121 МГц УКВ зв'язку, у тому числі від аварійної частоти 121,5 МГц.

Необхідно також додати розглянуті останнім часом джерела понадширококутових сигналів з наносекундними імпульсами, що можуть випромінюватися перспективними системами зв'язку і визначення дальності [7].

Спостерігається також вплив неідентифікованих джерел завад. Приблизно, це можуть бути, як відзначалося в ряді робіт, випромінювання аеродромних радіосистем забезпечення польотів, а також інші засоби.

Однак найбільш неприємними можуть виявитися навмисні завади, створювані терористами і хуліганями. Ці завади знаходяться в смугах засобів розглянутих СРНС.

Завадозахищеність радіонавігаційних приймачів, комплексів та систем – це велика і складна проблема, що вимагає постійної уваги і вирішення. На наш погляд повинно бути два рівні захисту. На першому рівні наземного забезпечення польотів потрібне створення спеціальної служби наземного централізованого моніторингу електромагнітної обстановки (ЕМО) у діапазонах СРНС.

Другий рівень вимагає реалізації засобів захисту від завад у бортовій супутниковій апаратурі. Це обумовлено тим, що наземні засоби можуть бути недостатньо надійними й оперативними. Він зв'язаний з істотною зміною поглядів на супутникову апаратуру як на щось абсолютно надійне і «нерухоме» і припускає створення блоку аналізу електромагнітної обстановки і використання внутрішніх знаходжувачів завад; створення спеціальних схем і алгоритмів придушення завад (фільтрів, розв'язок, і т.д.); використання алгоритмів згладжування кодівих вимірів із залученням вимірів фази несучої; використання керованої просторової вибірконості синтезованих антенних систем, у тому числі з «нулями» у напрямку на джерела завад; використання інформації автономних і інших систем на борті рухливих засобів для звуження смуги пропускання трактів приймачів, що стежать, СРНС; визначення навігаційних параметрів за даними автономних засобів і

СРНС у навігаційному комплексі і використання цих даних при рішенні всіх задач.

Важливим способом додання стійкості навігаційному забезпеченню є резервування, комплексування й інтегрування навігаційних систем різних принципів дії. Зокрема, досить важливим є комплексування супутникової апаратури з інерціальними мікромеханічними системами.

## 2. Створення інтегрованого уніфікованого ряду апаратури

У процесі подальшого розвитку прийомоіндикаторної апаратури для повітряних, морських, річкових, наземних і космічних споживачів найбільш перспективним напрямком є створення інтегрованого уніфікованого ряду апаратури.

Розробка інтегрованої апаратури споживачів є однією з умов, що забезпечують створення єдиного радіонавігаційного поля. Оптимальна побудова інтегрованої апаратури споживачів припускає сумісне використання результатів вимірів навігаційних параметрів по різним РНС при рішенні навігаційної задачі.

Можливі такі типи інтегрованої апаратури:  
інтегрована апаратура космічних СРНС ГЛОНАСС/GPS;

інтегрована апаратура наземних РНС «Чайка»/«Лоран-С»;

інтегрована апаратура наземних і космічних РНС: «Чайка»/«Лоран-С»/ГЛОНАСС/GPS;

інтегрована апаратура наземних і космічних РНС: «Чайка»/«Лоран-С»/ГЛОНАСС/GPS/GALILEO.

Річковими й наземними споживачами в першу чергу планується використання інтегрованої апаратури космічних РНС ГЛОНАСС і GPS. Для апаратури інтегрованої СРНС типу ГЛОНАСС/GPS (EGNOS) розроблюється міжнародний стандарт на авіаційний інтегрований прийомоіндикатор, і в стадії узгодження знаходиться проект міжнародного стандарту на морський інтегрований прийомоіндикатор СРНС.

Для військових споживачів в Україні актуальною задачею є інтегрування вітчизняних наземних РНС, які мають змогу національного управління зі СРНС типу GNSS, і відповідно розробка інтегрованої апаратури споживачів по військовим нормам.

## 3. Особливості супутникових радіонавігаційних систем

Зростаюча привабливість супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) обумовлена їх універсальністю. У рамках лише однієї системи можливе розв'язання великої кількості різноманітних задач. Окрім чисто навігаційних задач обслуговування надводних, наземних, повітряних та космічних об'єктів, СРНС дозволяє вирішувати завдання зв'язку, управління повітряним та морським рухом,

здійснювати прив'язку систем єдиного часу (СЄЧ) до системного часу СРНС тощо. Можливе створення комплексів, до складу яких входять СРНС та вже існуючі наземні системи навігації, зв'язку та управління [7].

Глобальний характер навігаційного забезпечення визначив ряд технічних та організаційних вимог, які викладені в документах міжнародних організацій ІМО та ІАЛА. Тому глобальна СРНС повинна відповідати міжнародним вимогам та мати можливість їх забезпечити. Сертифікація системи повинна здійснюватися з узгодженням держави, яка володіє такою СРНС та готова взяти на себе такі обов'язки по забезпеченню:

гарантії можливості довгострокового користування СРНС;

низьку собівартість користування системою;

публікацію усіх необхідних для споживачів даних системи;

здійснення допомоги зацікавленим міжнародним організаціям у підготовці експлуатаційних стандартів.

Аналіз основних характеристик нині існуючих СРНС показує, що в повній мірі жодна з них не відповідає усім вимогам.

Найбільш близькі до них по своїм характеристикам середньоорбітальні супутникові радіонавігаційні системи ГЛОНАСС та GPS. Ці системи спроможні глобально й безперервно забезпечувати навігацію найбільшого числа об'єктів.

Для реалізації вимог до навігаційного забезпечення у повному об'ємі, включаючи вимоги ІМО та рекомендацій ІАЛА, необхідно створити спеціальні системи, які б функціонально доповнювали існуючі СРНС, у тому числі диференційними підсистемами СРНС та засобами контролю цілісності СРНС.

Наприклад, в Україні на цей час відсутні об'єднані національні вимоги до навігаційної апаратури, що використовує СРНС ГЛОНАСС чи СРНС ГЛОНАСС/GPS. Інтереси споживачів потребують, щоб на державному рівні були зафіксовані вимоги до апаратури у вигляді стандартів, які б зобов'язували підприємства, що розробляють навігаційну апаратуру, гарантувати відповідні її характеристики.

Загальними проблемами використання супутникових технологій на борту транспортного засобу є: впровадження в контур управління транспортним засобом; перевірка процедур управління; наявність апаратури, яка спроможна адаптуватися к змінам умов роботи; наявність необхідної геодезичної, гідрографічної та картографічної основи; впровадження наземної навігаційної апаратури на борт іноземних транспортних засобів, які працюють на/над територією України; наявність планування та організації процесу радіонавігаційного забезпечення.

#### 4. Міжнародне співробітництво

Вважаємо доцільним визначити наступні напрями міжнародного співробітництва у галузі підвищення якості радіонавігаційного забезпечення:

створення та забезпечення умов для комбінованого використання радіонавігаційних систем ГЛОНАСС та GPS, та в перспективі ГАЛІЛЕО;

проведення спільних науково-дослідних робіт щодо розробці та створення окремих елементів національних радіонавігаційних систем на основі радіонавігаційних систем ГЛОНАСС та GPS, та в перспективі ГАЛІЛЕО;

надання комерційних послуг при створенні функціональних доповнень радіонавігаційних систем ГЛОНАСС та GPS, та в перспективі ГАЛІЛЕО;

спільна розробка навігаційних технологій в інтересах створення космічних засобів навігації третього покоління;

участь українських представників в роботі міжнародних організацій: ІКАО, ІМО, МАМС, МАІН, а також співробітництво з національними інститутами навігації

#### Висновки: створення національної радіонавігаційної системи

Забезпечення вимог різних груп споживачів існуючими радіонавігаційними засобами визначає загальні напрями вирішення наступних основних проблем, а саме проблем підвищення точності визначення місцезнаходження об'єктів; підвищення доступності РНС; підвищення цілісності РНС [7].

Вирішення завдань з цих проблем здійснюється:

створенням національної радіонавігаційної системи (НРНС) України високої функціональної надійності, стійкості та якістю надання послуг різним споживачам;

інтегруванням різноманітних РНС та створенням єдиного радіонавігаційного поля;

покращанням технічних характеристик РНС і прийомоіндикаторів споживачів;

створенням об'єднаної цивільно-військової системи аеронавігаційного забезпечення;

створенням єдиного радіолокаційного поля освітлення повітряної обстановки;

застосуванням диференційних підсистем (режимів) і засобів контролю цілісності;

створенням єдиної системи висвітлювання надводної обстановки, контролю й управління рухом суден та кораблів в Азово-Чорноморському басейні на базі 3-х відомчих систем Мінтрансу, Міноборони та Держкомкордону України з єдиним інформаційним полем;

створенням об'єднаного міжнародного ланцюга РНС "Чайка" та „Лоран-С" у Чорноморсько-Середземноморському регіоні;

модернізацією мобільної наземної РНС “Чайка” на сучасній елементній базі (у межах співробітництва з РФ);

використанням наземної РНС “Маршрут” (“Альфа”) по узгодженню з Російською Федерацією; упровадженням автоматичних ідентифікаційних систем (AIS) та систем залежного спостереження (ADS).

Впровадження AIS та ADS як доповнення до систем висвітлювання надводної та повітряної обстановки, планується відповідно із програмами по „Безпеці мореплавання” та „Створенню систем CNS/ATM в Україні”.

Створення та розвиток РНС України передбачає створення системи єдиного радіонавігаційного поля, яке є сукупністю радіонавігаційних полів космічного та наземного базування, які мають єдину координатно-часову основу й узгоджену структуру ширококутових навігаційних систем, несучі радіочастоти яких рознесені по діапазону.

Єдина координатно-часова основа й погодженість структур навігаційних сигналів дозволять створити уніфікований ряд інтегрованих прийомоіндикаторів модульного типу. Модульна структура повинна забезпечити можливість вибору будь-якими споживачами необхідного зразка прийомоіндикатора, виходячи зі складу використовуваних інтегрованих радіонавігаційних систем.

Спільна обробка навігаційних параметрів на рівні вимірів не менше як від трьох будь-яких радіонавігаційних сигналів (наприклад, не менше одного супутника СРНС і двох наземних станцій РНС, далі два супутники й одна наземна станція) підвищить надійність і точність навігаційних визначень у зв'язку з явищем синергізму незалежних навігаційних систем.

Надмірність навігаційних вимірів у єдиному радіонавігаційному полі дозволить також здійснювати контроль якості РНС практично в реальному масштабі часу.

Підвищення точності характеристик до одиниць метрів (сантиметрів при фазових вимірах несучої) при одночасному підвищенні доступності й цілісності навігаційного забезпечення в районах, обладнаних наземними станціями РНС, може здійснюватися сполученням функцій наземних РНС із функціями „псевдосупутників”, а також при реалізації диференційного режиму інтегрованої навігаційної структури.

Використання єдиного радіонавігаційного поля дозволить забезпечити виконання вимог до навігаційного забезпечення основних груп споживачів, а також підвищити ймовірність безупинного навігаційного забезпечення, здійснити можливість взаємного контролю РНС космічного й наземного базування, підвищити якість радіонавігаційного забезпечення України.

## Список літератури

1. *Новости навигации.* – М.: НТЦ «Интернавигация», 2009. – № 1. – С. 3-17.
2. *Межгосударственная радионавигационная программа государств-участников Содружества Независимых Государств на 2001-2005 годы, 2001.*
3. *Proposal for a radio Navigation plan. A European approach to radionavigation (version 0.1). Предложения для Европейского радионавигационного плана. Европейский подход к радионавигации. Версия 0.1.* – К., 2002.
4. *AWOP/16-DP/2 25/6/97. Руководство по RNP для захода на посадку, посадки и вылета (Приложение 1).* – ИКАО, 1997.
5. *Поправка 76 к Международным стандартам и Рекомендуемой практике “Авиационная электросвязь”.* – Т. 1. – ИКАО, 12.03.2001.
6. *Поправка 79 к Международным стандартам и Рекомендуемой практике “Авиационная электросвязь”.* – Т. 1. – ИКАО, 26.03.2004.
7. *Концепція створення та експлуатації системи навігаційно-часового забезпечення України на період 2000-2005 рр.* – Національне космічне агентство України. – 29 с.

Надійшла до редколегії 2.08.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

С.В. Козелков, С.М. Кучерук, Б.А. Костенко, В.И. Богомья

*В статье рассмотрены проблемные вопросы определения основных направлений повышения качества радионавигационного обеспечения Украины. Показаны пути повышения функциональной надежности и помехозащищенности радионавигационных систем. Рассмотрены особенности спутниковых навигационных систем и особенности создания национальной радионавигационной системы.*

**Ключевые слова:** радионавигационное обеспечение, спутниковая система, помехозащищенность.

## PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RADIO-NAVIGATION PROVIDING

S.V. Kozelkov, S.M. Kucheruk, B.A. Kostenko, V.I. Bogom'ya

*The problem questions of determination of basic directions of upgrading radio-navigation providing of Ukraine are considered in the article. The ways of increase of functional reliability and noise immunity of the radio-navigation systems are outlined. The features of satellite navigational and feature of creation of the national radio-navigation system are considered.*

**Keywords:** radio-navigation providing, satellite system, noise immunity.