

УДК 621.396.9:629.783

С.В. Козелков, С.М. Кучерук

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

## НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ РАДІОНАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УКРАЇНИ

У статті проведений аналіз узагальнених вимог різних груп споживачів до радіонавігаційного забезпечення. Розглядаються питання, пов'язані з розвитком радіонавігаційного забезпечення для визначення основних напрямів розвитку радіонавігаційного плану України. Сформульовані головні проблемні питання та шляхи її вирішення. Звертається увага на необхідні напрямки міжнародного співробітництва під час підготовки та реалізації радіонавігаційного плану України.

**Ключові слова:** радіонавігаційне забезпечення, радіонавігаційний план, навігація, перспективи розвитку, точність визначення.

### Вступ

На сучасному етапі розвитку суспільства одним з елементів його складових є радіонавігаційне забезпечення безпечного руху об'єктів [1]. При цьому, відомо, що починаючи з 70-х років минулого століття за кордоном почали виходити Федеральні радіонавігаційні плани (ФРП) з періодичністю в 2-3 роки (у Об'єднаних Штатах Америки) для здійснення радіонавігаційного планування і обґрунтування напрямів розвитку радіонавігаційних систем [2]. З січня 2009 року в США діє ФРП розроблений 2008 року [3]. Останнім часом в Європі також зроблені спроби розробки Європейського радіонавігаційного плану [4], де також розглядаються питання пов'язані з розвитком радіонавігаційного забезпечення. Необхідність розробки нової редакції радіонавігаційного плану України викликана новими умовами розвитку нашого суспільства, національної економіки, вживанням в силових відомствах навігаційних систем і можливостями вдосконалення вітчизняних технічних засобів радіонавігаційного забезпечення. Слід зазначити, що при розробці Плану необхідно врахувати багато програмних і плануючих документів, присвячених розвитку радіонавігаційного забезпечення і гармонізації національних систем навігації повітряного, водного і наземного руху, а також використовуваних радіонавігаційних систем іноземних держав.

**Метою статті** є разом з викладом основних напрямів розвитку радіонавігаційного забезпечення в Україні, у тому числі обґрунтування вимог споживачів навігаційної інформації, також формулювання уявлення про особливості розвитку радіонавігаційного плану і основні проблеми, що виникають при цьому.

### Основний матеріал

Аналіз вимог повітряних, морських, річкових, наземних (сухопутних), космічних споживачів, служб порятунку за визначенням положення і місцевизначення об'єктів показав, що вони значно залежать від задач, які вирішують різні групи споживачів. При цьому, узагальнені вимоги включають вимоги до робочих зон радіонавігаційних систем (РНС), точності місцевизначення (середньоквадратична погрішність (СКП)), доступності (ймовірність обслуговування) і цілісності (імовірність виявлення порушення і/або інтервалу часу, протягом якого воно виявляється). Окрім цього, необхідно враховувати міжнародні вимоги до навігаційного забезпечення літако- і кораблеводіння, яке визначене в документах ІКАО (Документ Аwop/16-dp/2 25/6/97 по необхідним навігаційним характеристикам [5], Поправки 76 і 79 ІКАО [6] по вимогах до сигналів в просторі глобальної навігаційної супутникової системи). Приведені основні вимоги споживачів до радіонавігаційного забезпечення (РНЗ) представлені в табл. 1.

Необхідно також враховувати в редакції Радіонавігаційного плану України (РПУ) [2, 3] вимоги сформульовані річковими, сухопутними (автотранспорт) і космічними споживачами. Це, зокрема, відповідає відомому підвищеному інтересу до РНЗ, що проявляється автомобілістами і відповідними системами управління автотранспортом.

У меншій мірі висувуються вимоги до залізничного транспорту. Так для підтримки системи управління поїздами єдиною і найважливішою вимогою буде здатність визначення з дуже високим

ступенем достовірності того, який з двох шляхів займає поїзд: ймовірність при цьому повинна перевищувати  $10^{-5}$ . Для цього виходячи з мінімальної відстані між сусідніми коліями, можливо знайти необхідні показники точності місцевизачення [1].

Що стосується «вимог до частотно-часового забезпечення споживачів», наприклад до систем зв'язку, то поки ще недостатньо узагальнені вимоги до забезпечення точності. В той же час існуюча

практика показує насущну потребу в отриманні інформації про точний час, а також у високостабільних частотних еталонах. Що, зокрема, відноситься до синхронізації швидкодючих синхронних ліній передачі даних, заснованих на принципах синхронної цифрової ієрархії (СЦІ) і використовуючих тактову мережеву синхронізацію (ТМС), до синхронізації базових станцій стільникових систем рухомого зв'язку та ін.

Таблиця 1

Основні узагальнені вимоги споживачів до РНЗ

Споживачі	Задачі, що вирішуються	Робоча зона	Погрішність місцевизачення (СКП)	Доступність	Цілісність	
Повітряні	Польоти по маршруту (трасі)	Глобальна Регіональна	0,25 – 5,8км	0,99 – 0,99999	$1 \cdot 10^{-7}$ (15с)	
	Польоти в зоні аеродрому	Район аеродрому	370 м	0,99 – 0,99999	$1 \cdot 10^{-7}$ (15 с)	
	Некатегорований захід на посадку	Район аеродрому	110 м	0,99 – 0,99999	$1 \cdot 10^{-7}$ (10с)	
	Захід і посадка по категоріях ІКАО	Зона засобів посадки	2,0 – 8,5м 0,3...2 м (Н)	0,999 – 0,99999	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ $1 \cdot 2 \cdot 10^{-9}$ (6-1с)	
	Спецзадачі, геодезичні і геофізичні спостереження	Локальна	1-10м	0,999	0,999	
Морські	У районах океанського плавання	Глобальна	50 м	0,998 за 30 діб.	10с	
	У районах прибережного плавання при невисокій інтенсивності руху судів	Регіональна	5м	0,995 за 2 роки	10 с	
	При плаванні в портах, на підходах до них і в прибережній зоні з високою інтенсивністю руху судів	Локальна	5м	0,998 за 2 года	10 с	
	По всьому Світовому океану (перспективні вимоги)	Глобальна	10м	0,998 – 0,9997	10 с	
	При плаванні в акваторіях портів і виконанні спеціальних робіт (перспективні вимоги)	Локальна	0,05...0,5м	0,998 – 0,9997	10 с	
Річкові	Рух судів по внутрішніх водних шляхах: • вільні річки • канали • розстановка знаків, картографія і так далі	райони річок р-ни каналів р-ни річок, каналів	5 – 15 м 3 – 5 м 0,25 – 3 м	0,999 0,999 0,99	0,99 0,99 0,9	
	Наземні	Рух наземного транспорту по довільних маршрутах (одиначні засоби і угруповання)	Регіональна, локальна	100 м	0,99	0,95
		Рух наземного транспорту по встановлених маршрутах (одиначні засоби і угруповання)	Регіональна, локальна	100 м	0,99	0,95
Вирішення спец. задач		Локальна	5 – 15м	0,99	0,95	
Космічні	Картографія і геодезія, землеустрій	Глобальна, регіональна, локальна	0,2 – 0,3 м 0,2 – 0,5 м 3 – 6 м	0,95	0,9	
	КА зв'язку і ретрансляції		200 м			
	КА навігаційного забезпечення		3 - 5 м (мають бути понижені)			
	КА геодезичного забезпечення		0,33м			
	КА системи виявлення об'єктів, що терплять лихо		33 м			
КА геофізичного забезпечення		17 – 50 м				

Враховуючи передбачуване використання базових станцій стільникових систем для визначення місця споживача з точністю (СКП) в діапазоні 50...500 м, отримуємо вимогу їх прив'язки до шкали точного часу і синхронізації на рівні 50... 100 нс.

Існує також доцільність забезпечення точної синхронізації і пристроїв, що працюють в стандарті DECT.

Часова інформація може використовуватися і енергетичними компаніями для вимірювання різниці фаз на електростанціях, реєстрації подій, подальшого аналізу ситуацій, для вимірювання частоти струму електростанцій і так далі.

Ще одним застосуванням часу РНЗ є синхронізація годинників при проведенні астрономічних спостережень типу спостережень на інтерферометрах з наддовгою базою, що використовують пульсари. Відповідні вимоги тут поки знаходяться у стадії формування.

Таким чином, можна очікувати, що вимоги до частотно-часового забезпечення будуть предметом розгляду при відпрацюванні радіонавігаційного плану наступних редакцій.

Сфера застосування РПУ охоплює використання радіонавігаційних систем і засобів цивільного і подвійного застосування, що знаходяться у веденні різних відомств. При цьому, РПУ не включає радіотехнічні системи, які виконують радіолокаційно-оглядові або функції систем зв'язку. Зокрема, він не включає автоматичні ідентифікаційні системи (АІС) і системи автоматичного залежного спостереження (АЗС), але включає навігаційні засоби, на яких базуються згадані системи.

В процесі формування і розробки РПУ проведений аналіз стану і розвитку всіх радіонавігаційних систем (РНС) (існуючих, і тих що будуть використовуватися у перспективі), а також відповідності їх можливостей висунутим вимогам до РНЗ споживачів. Виявлено, зокрема, що до виконання вимог по точності місцезнаходження серед радіонавігаційних систем середньоквадратична погрішність має бути менше 10 м, що відповідає зараз лише супутниковій РНС (СРНС).

В той же час виникає необхідність відтворення і доведення до заданих характеристик РНС із заданими вимогами, а також подальшого розвитку у напрямі задоволення характеристик і параметрів, і насамперед по доступності і цілісності. Тому вважається, що після 2009 року основу радіонавігаційного забезпечення України повинна скласти СРНС ГАЛІЛЕО, а Російська ГЛОНАСС і Американська GPS (як допоміжні) з урахуванням розвитку і використання функціональних доповнень СРНС, а також обґрунтованої гармонізованої підтримки і використання розгорнутих в даний час РНС наземного базування.

На даний момент особливістю стану орбітального угруповання ГЛОНАСС є повне заповнення до заданого – 22 КА (21 КА, що працюють за цільовим призначенням і один тимчасово виведений на технічне обслуговування). Окрім цього, виникає питання

врахування нових сигналів з частотним розділенням L3, зокрема з кодовим розділенням сигналів і меандрових [6] для КА «ГЛОНАСС-К». При цьому, необхідний розвиток наземної інфраструктури СРНС, що включає, зокрема, створення диференціальних підсистем (ДПС) на основі: широкозонних (ШДПС), регіональних (РДПС) і локальних (ЛДПС).

Достатньо вражаючими представляються плани розвитку мережі диференціальних супутникових підсистем для морського транспорту і внутрішніх водних шляхів, що також вимагає створення центрів управління і диспетчерських пунктів наземного транспорту.

Окрім цього, необхідно передбачити в РПУ проведення робіт по модернізації імпульсно-фазових РНС типу «Тропик-2» (Чайка), а також використання їх передавачів для передачі диференціальних поправок і даних контролю цілісності СРНС ГЛОНАСС і GPS.

Для РНЗ районів, які погано забезпечуються РНС унаслідок відомих її обмежень, доцільно розробити і виконувати програму впровадження авіаційних локальних диференціальних підсистем посадки і моніторингу. До теперішнього часу достатньо (більше 40 типів) розроблено для різних застосувань навігаційної апаратури споживачів (НАС) СРНС (табл. 2).

На підставі аналізу тенденцій розвитку НАС СРНС і РНС наземного базування можна виділити наступні загальні напрями її розвитку:

1. Вдосконалення характеристик апаратури:
  - підвищення точнісних характеристик;
  - підвищення надійності, перешкодостійкості і електромагнітної сумісності;
  - забезпечення автономних методів контролю цілісності системи;
  - розширення переліку сервісних завдань;
  - зменшення масогабаритних характеристик;
  - зменшення вартості апаратури для масового споживача і її доступності.
2. Розширення функціональних можливостей:
  - вироблення кутів просторової орієнтації, поправок системи курсовказівок, міток часу;
  - забезпечення можливості комплексування апаратури з автономними навігаційними системами об'єкту;
  - забезпечення можливості взаємодії апаратури з автоматизованими інформаційними системами і системами управління рухом.
3. Спеціалізація апаратури по наступних типах:
  - військова (високий рівень ТТХ, виконання військових стандартів у повному об'ємі, надійність, перешкодозахисність);
  - загального призначення (рівень ТТХ може знижуватися за рахунок зниження вартості);
  - спеціальна (рівень ТТХ, необхідний для виконання спеціальних завдань).
4. Створення уніфікованого ряду функціональних елементів, вузлів, блоків.

Основними проблемами використання супутникових технологій на борту транспортного засобу є:

впровадження в навігаційному контурі та контурі управління (наприклад, в авіації);

Таблиця 2

## Порівняльні характеристики НАС СЕНС

ІСНУЮЧА АПАРАТУРА	ПЕРСПЕКТИВНА АПАРАТУРА
Робота по системі ГЛОНАСС (GPS)	Робота по ГЛОНАСС і GPS, Галілео
Стеження за кодом і частотою	Стеження за кодом, частотою і фазою (з дозволом багатозначності і усуненням «перескоків фази»)
Визначення координат і швидкості фазового центру антени	Визначення координат і швидкості заданої точки і кутів орієнтації об'єкту
Робота в діапазонах частот L1 ГЛОНАСС і GPS	Робота в діапазонах частот L1, L2, L3 ГЛОНАСС і L1, L2, L5 GPS, Галілео
Робота по сигналу коди стандартної точності ГЛОНАСС	Робота по сигналах коди стандартної і високої точності ГЛОНАСС
Можливість роботи в диференціальному режимі	Робота в диференціальному режимі в зоні дії МДПС, АЛДГТС, РДПС і широкозонних диференціальних підсистем
Робота по всіх видимих КА	Робота по всіх видимих КА, автономний контроль цілісності КНС
	Виявлення перешкод і управління ДН для виключення їх впливу.
	Автономний контроль цілісності навігаційних визначень.
Використовувані системи координат: WGS-84, ПЗ-90, Гаусса-Крюгера і СК-42	Використовувані системи координат: Wgs-84, ПЗ-90.02, Гаусса-Крюгера, СК-42 і СК-95, квазікоординати

відпрацювання процедур управління;  
наявність адаптованої до умов роботи апаратури;  
наявність необхідної геодезичної, гідрографії і картографічної основи;

впровадження НАС ГЛОНАСС/GPS на борту закордонних транспортних засобів, що діють на/над територією держави;

проблеми планування і організації.

Наступним напрямом розвитку в РПУ є система координат і часу для вирішення завдань: геодезичного забезпечення і картографічних робіт.

При використанні СРНС і забезпеченні руху транспортних засобів можуть застосовуватися система WGS-84 або ПЗ-90. З погляду багатьох споживачів ці системи є практично еквівалентними.

Часове забезпечення при використанні СРНС ГЛОНАСС будується на основі шкали координованого часу UTC (SU), яка задається існуючою еталонною базою, а при використанні СРНС GPS використовується шкала атомного часу GPS.

При цьому необхідний розвиток РНЗ в області інформаційних систем для радіонавігації. Так необхідно передбачити створення прикладного споживчого центру і системи інформаційного забезпечення, внаслідок чого має бути розроблений розподілений прикладний споживчий центр, як система інформаційного забезпечення широкого круга споживачів про стан і можливості застосування систем ГАЛІЛЕО, ГЛОНАСС і GPS.

Окрім цього, необхідно передбачити розробку пропозицій по створенню служби сповіщення споживачів водного транспорту про функціонування глобальних навігаційних систем з урахуванням впровадження диференціальних підсистем, створення баз даних для картографічного забезпечення внутрішніх водних шляхів з використанням СРНС і їх функціональних доповнень, а також оснащення електронними навігаційними картами внутрішніх вод-

них шляхів.

Необхідно також передбачити розробку засобів моніторингу електромагнітної обстановки в діапазонах сигналів РНЗ.

Зниження уразливості радіонавігаційних систем обумовлена наступними основними чинниками:

- впливом ненавмисних і навмисних перешкод;
- виникненням системних відмов;
- можливістю фізичної поразки.

При цьому, основними способами протистояння цим чинникам і зниження уразливості мають бути:

- використання різних сигналів і систем;
- підвищення перешкодостійкості приймальної апаратури;
- комплексування з автономними засобами.

Зокрема, зниженню уразливості РНЗ в цілому сприяє резервування СРНС за допомогою диференціальних підсистем і РНС наземного базування.

Підвищення перешкодостійкості приймальної апаратури припускає реалізацію в ній засобів захисту від перешкод, що включає: створення схем аналізу електромагнітної обстановки і використання внутрішніх виявлювачів перешкод, спеціальних схем і алгоритмів придушення перешкод (фільтрів, розв'язок, і так далі), використання керованої просторової вибіркості синтезованих антенних систем, зокрема з «нулями» в напрямі на перешкоду.

Важливим способом збільшення стійкості навігаційного забезпечення є комплексування і інтеграція навігаційних систем різних принципів дії та різного базування. При цьому основним методом зниження уразливості є інтеграція з бортовими автономними системами [4], що припускає:

- використання інформації автономних та інших систем на борту рухомих засобів для звуження смуги пропускання стежачих трактів приймачів СРНС;
- визначення навігаційних параметрів за даними обробки вимірювань автономних засобів і

СРНС в навігаційному комплексі та використання цих даних при вирішенні всіх завдань.

Підводячи підсумок, необхідно сказати що окрім перерахованих напрямів розвитку в РНУ необхідно визначити напрями міжнародної співпраці:

1. Створення і забезпечення умов для комбінованого використання СРНС ГЛОНАСС і GPS, а в перспективі й ГАЛІЛЕО.

2. Розробка і продаж НАС та засобів функціональних доповнень СРНС.

3. Проведення сумісних НДДКР по розробці та створенню окремих елементів національних космічних навігаційних систем на основі СРНС.

4. Надання комерційних послуг при створенні функціональних доповнень СРНС і проведення маркетингових досліджень для СРНС.

5. Сумісна розробка навігаційних технологій на користь створення космічних засобів навігації третього покоління.

6. Створення об'єднаних РНС «Чайка» і «ЛО-РАН-С».

7. Узгодження і уточнення Частотних планів служб іноземних держав.

8. Участь українських представників в роботі міжнародних організацій: ІКАО, ІМО, МАМС, МАЙН, FERNS, RTCA, RTCM, EUGIN та ін.

9. Співпраця з національними інститутами навігації.

10. Розробка і виконання Міждержавної радіонавігаційної програми СНД на період до 2012 року.

Таким чином, при розробці радіонавігаційного плану України необхідно враховувати основні чинники, серед яких є:

- характеристики споживачів;
- вимоги до навігаційного забезпечення;
- характеристики використовуваних навігаційних систем;
- оснащеність споживачів навігаційною апаратурою і ступінь задоволення їх вимог;
- основні напрями розвитку і можливості перспективних радіотехнічних і автономних навігаційних систем;

– забезпечення надійності та живучості навігаційного забезпечення;

– ресурси і економічні можливості розвитку засобів радіонавігаційного забезпечення;

– можливості по переобладнанню парку споживачів навігаційною апаратурою;

– можливості впровадження технологій використання нових радіонавігаційних систем.

## Висновок

Таким чином, в статті розглянуті основні напрями розвитку радіонавігаційного забезпечення України і шляхи їх рішення. Окрім цього, визначені проблемні питання побудови радіонавігаційного плану України.

## Список літератури

1. Межгосударственная радионавигационная программа государств-участников Содружества Независимых Государств на 2001-2005 годы (Концепция развития радионавигационных систем). [Электронный ресурс]. – Режим доступа до док.: <http://www.mte.ru/www/navig.nsf>.

2. Концепция гармонизации национальных систем организации воздушного движения государств — участников Содружества Независимых Государств [Текст], 2003.

3. Концепція створення та експлуатації системи координатно-часового і навігаційного забезпечення України з застосуванням глобальних навігаційних супутникових систем на період 2006-2011 рр. – Національне космічне агентство України, 2006. – 31 с.

4. AWOP/16-DP/2 25/6/97, «Руководство по RNP для захода на посадку, посадки и вылета. – ИКАО, 1997.

5. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС / В.С. Яценков. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.

6. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения / Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 326 с.

7. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008-2012 роки» від 30.09.2008 р., № 306-VI.

Надійшла до редколегії 20.08.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Г. Баранов, ДП «ЦНДІ навігації і управління», Київ.

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УКРАИНЫ

С.В. Козелков, С.М. Кучерук

*В статье проведен анализ обобщенных требований разных групп потребителей к радионавигационному обеспечению. Рассматриваются вопросы, связанные с развитием радионавигационного обеспечения для определения основных направлений развития радионавигационного плана Украины. Сформулированы главные проблемные вопросы и пути их решения. Обращается внимание на необходимые направления международного сотрудничества во время подготовки и реализации радионавигационного плана Украины.*

**Ключевые слова:** радионавигационное обеспечение, радионавигационный план, навигация, перспективы развития, точность определения.

## DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE RADIONAVIGATION PLAN OF UKRAINE

S.V. Kozelkov, S.M. Kucheruk

*There is the analysis of the generalized requirements of different groups of users is conducted to the radionavigation plan. Questions, related to development of the radionavigation plan for determination of basic directions of development of radionavigation plan of Ukraine, are examined. Main problem questions and ways of its decision are formulated. Attention applies on necessary directions of international cooperation during preparation and realization of radionavigation plan of Ukraine.*

**Keywords:** radionavigation providing, radionavigation plan, navigation, prospects of development, exactness of determination.