

УДК 621.396

О.Ю. Пермяков, О.В. Лаврінчук, Р.М. Залужний

Національна академія оборони України, Київ

## ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ НАЗЕМНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОПОВНЕНЬ ГЛОБАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СУПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Розглянуто застосування наземних функціональних доповнень глобальної навігаційної супутникової системи з метою забезпечення високої точності і надійності координатно-часових визначень і навігаційного забезпечення на території України. Наведені види координатно-часових та навігаційних послуг, які формуватимуться функціональними підсистемами системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України (СКЧНЗУ) та можливість збільшення розмірів робочої зони системи і забезпечення безперервності надання навігаційної інформації за допомогою малогабаритних випромінювачів радіонавігаційної інформації у випадку виведення з ладу окремих елементів СКЧНЗУ.

**Ключові слова:** глобальна навігаційна супутникова система, багатопозиційна локальна радіонавігаційна система, наземне функціональне доповнення, навігаційне забезпечення.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** З моменту впровадження в Україні супутникової радіонавігації в різних галузях, в тому числі і в військовій, в світі відбулися кардинальні зміни у ставленні до супутникових технологій визначення координат, швидкості і часу в процесі керування рухомими об'єктами.

Глобальна навігаційна супутникова система (ГНС) розглядається як високотехнологічна інформаційна система, складові якої мають як космічне, так і наземне базування (рис. 1) і в комплексі доповнюють один одного для забезпечення точності навігаційних визначень, цілісності, безперервності, доступності та експлуатаційної готовності системи до застосування за цільовим призначенням.

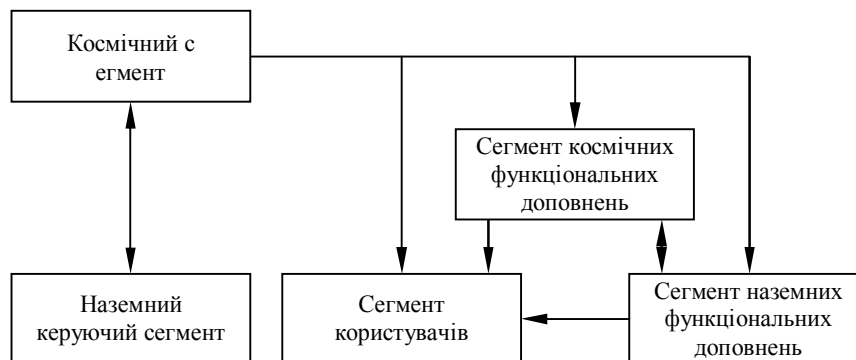


Рис. 1. Складові глобальної навігаційної супутникової системи (сегмент користувачів включає в себе апаратуру користувачів та сегмент бортових функціональних доповнень)

Аналіз забезпечення вимог різнотипних груп споживачів щодо застосування існуючих радіонавігаційних засобів визначає наступні напрями рішення основних проблем:

- підвищення точності визначення місцеположення рухомих об'єктів;
- підвищення цілісності супутникових радіонавігаційних систем (СРНС);
- підвищення безперервності функціонування СРНС.

Рішення вищезазначених проблем в Україні здійснюється за допомогою розробки та введення в експлуатацію диференціальних підсистем та засобів контролю цілісності навігаційного поля згідно Кон-

цепції створення системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України (СКЧНЗУ), яка підготовлена НКАУ та погоджена з іншими міністерствами України. В першому виданні концепції на 2000 – 2005 рр. [1] зазначена система мала назву космічного навігаційно-часового забезпечення України, однак, у зв'язку з тим, що Україна не має свого космічного сегменту, система була перейменована згідно визначень нормативних міжнародних документів щодо надання координатно-часових та навігаційних послуг [2].

Актуальність навігаційного забезпечення будь-якої сфери діяльності держави та підвищення її застосування підтверджується як світовими тенденці-

ями в області розвитку та застосування супутникових навігаційних технологій [3 – 5], так і внутрішніми потребами України [6 – 8]. Що стосується військової сфери, то забезпечення середньоквадратичного відхилення навігаційних параметрів в межах 10 – 50 м дозволяє збільшити ефективність бойового застосування авіаційних засобів ураження на 10 – 15% а також збільшити ефективність бойового застосування високоточної зброї на 15% [9]. СКЧНЗУ, згідно керівних документів, дозволить підвищити точність визначення місцеположення об'єктів до 3 – 5 м в залежності від умов формування диференційних корегуючих поправок.

Крім того, розвиток систем оперативного моніторингу транспортної мережі на базі сучасних комп'ютерних, глобальних навігаційних супутникових та систем радіозв'язку демонструє їх високу ефективність у вирішенні завдань пересування великої кількості рухомих керованих об'єктів. В результаті реалізації конкретних проектів створення даних систем в США та в окремих країнах Європи значно збільшилась середня швидкість руху - приблизно до 16%, та рівень безпеки руху всіх видів рухомих об'єктів – до 27%. В провідних країнах світу відповідні системи впроваджуються як у військовій, так і в цивільній сферах діяльності.

Аналіз розвитку функціональних доповнень ГНСС [10, 11] дозволяє виділити в загальному вигляді наступні фактори, що визначають ефективність даної системи:

- скорочення наземної інфраструктури;
- підвищення якості обробки інформації;
- формування на базі глобальної регіональних робочих зон навігаційного поля;
- застосування гнучких, динамічних маршрутів руху керованих об'єктів;
- забезпечення автоматизованого вироблення та передачі безконфліктних варіантів прийняття рішень щодо ефективного застосування рухомих засобів на землі, в повітрі та на водній поверхні.

### Основний матеріал

Навігаційні супутникові системи «GPS», «ГЛОНАСС», «Galileo» в комплексі з наземними, космічними та бортовими функціональними доповненнями стають основними засобами навігації та управління, що підтверджується низкою рішень міжнародних та державних організацій, які відповідають за навігаційне забезпечення у відповідних країнах або на визначених територіях. Тобто, під концепцією розвитку навігаційного забезпечення в цілому розуміють комплексний підхід до застосування систем зв'язку, навігації, спостереження та організації руху, що охоплює взаємопов'язаний перелік програмно-апаратних та технічних комплексів на основі супутникових та комп'ютеризованих засо-

бів. Ця концепція отримала підтримку за результатами економічного дослідження, з якого виходить що: нові системи забезпечують очевидні технологічні переваги; отриманий вихідний ефект в глобальному масштабі значно перевищує затрати, які пов'язані з впровадженням нових технологій.

Крім того, існуючі оцінки ефективності відповідних підсистем (функціональних доповнень) на регіональному та національному (державному) рівні також проводяться з урахуванням їх реакції на впровадження нової високотехнологічної інформаційної системи за умов гарантованого, необхідного рівня навігаційного забезпечення на визначеній території. В математичному аспекті оцінка ефективності зводиться до постановки та рішення багатокритеріальної оптимізаційної задачі.

Що стосується України, СКЧНЗУ створюється як наземне функціональне доповнення до ГНСС, і у цілому забезпечуватиме високу точність і надійність координатно-часових визначень і навігаційного забезпечення на її території. Основним завданням СКЧНЗУ є надання користувачам диференційної корегуючої інформації (ДКІ) в реальному масштабі часу.

З урахуванням вимог до точності і надійності координатних визначень усі користувачі СКЧНЗУ умовно розділяються на групи, наведені в табл. 1.

Основними складовими частинами СКЧНЗУ є:

- центр контролю навігаційного поля (ЦКНП);
- мережа контрольно-корегуючих станцій (ККС), що одночасно є станціями моніторингу ГНСС;
- регіональні пункти контролю навігаційного поля (РПКНП), що базуються на ККС;
- референційні станції (РС), розташовані в окремих регіонах для високоточних навігаційних і геодезичних визначень;
- сервісні центри (СЦ) для надання послуг користувачам СКЧНЗУ;
- внутрішньо-системні засоби передачі інформації;
- засоби доставки інформації;
- засоби контролю якості (ЗКЯ) роботи СКЧНЗУ.

У СКЧНЗУ виділяються три функціональні підсистеми. До них відносяться:

- підсистема широкозонних диференційних корекцій (ПШДК) – забезпечуватиме обробку кодових вимірів навігаційних сигналів, моніторинг ГНСС, формування і видачу користувачам в реальному масштабі часу (РМЧ) широкозонної ДКІ. Робота ПШДК базується на інформації мережі ККС, що входять до складу ЦКНП. Послуги ПШДК доступні на всій території України;
- підсистема регіональних диференційних корекцій (ПРДК) – забезпечуватиме обробку кодових і

фазових вимірів навігаційних сигналів, що реєструються ККС окремих РПКНП, і пов'язаних з ними регіональних мереж референсних станцій, формування і видачу користувачам в РМЧ ДКІ на регіональному рівні;

– підсистема прецизійних післясеансних визначень (ПППВ) – забезпечуватиме надання користува-

чам геодезичних і навігаційних застосувань попередньо обробленої інформації будь-яких станцій СКЧНЗУ (ККС, РС), а також післясеансну обробку вимірювальної інформації користувачів. Послуги ПППВ надаватимуться користувачам за допомогою СЦ, що будуть розташовані у всіх обласних і великих районних центрах України.

Таблиця 1

Класифікація користувачів СКЧНЗУ

№ з/п	Група користувачів	Точність координатних визначень, $2\sigma$ (м)	Режим використання
1.	Силові міністерства при проведенні спеціальних операцій та навчань	0,2 – 5	РМЧ, ПСР
2.	Авіаційний транспорт	0,2 – 5	РМЧ
3.	Морський і річковий транспорт, гідрографічні служби	1 – 2 0,2 – 0,5	РМЧ РМЧ, ПСР
4.	Наземний транспорт усіх органів державної влади (автомобільний і залізничний), міський транспорт	1 – 2	РМЧ
5.	Мінприроди, Держкомзем (геодезичні роботи, кадастр, картографування, геологорозвідка, землевпорядкування, ГІС...)	0,02–2	РМЧ, ПСР
6.	МНС, Мінбуд, Держводгосп (контроль переміщень ґрунту в сейсмонезбезпечних і зсувонезбезпечних регіонах, моніторинг будівельних споруджень, водопостачальних та водозахисних об'єктів...)	0,01–0,1	ПСР
7.	Агропідприємства (при виконанні робіт за технологією прецизійного землеробства)	0,2 – 0,5	РМЧ, ПСР

\* РМЧ – реальний масштаб часу, ПСР – післясеансний режим

Архітектура майбутньої СКЧНЗУ наведена на рис. 2. Функціональні підсистеми будуть взаємодіяти одна з одною на рівні обміну інформацією.

Загальний контроль їхнього функціонування здійснюватиметься в центрі контролю навігаційного поля.

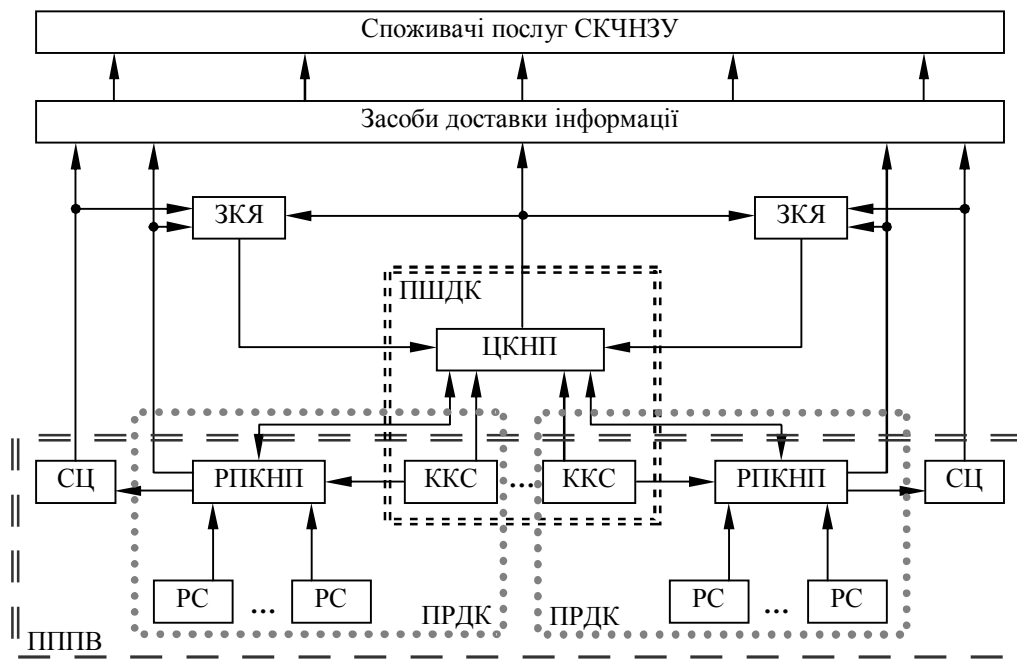


Рис. 2. Архітектура майбутньої системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України

В інструктивних матеріалах міжнародних та державних організацій [2, 5, 12, 13], які відповідають за навігаційне забезпечення, задача оцінки ефективності функціонування нових складових підсистем та ГНСС в цілому розглядається лише на економічному рівні. Основну увагу зосереджено на методах визначення витрат на експлуатацію відповідних систем та експлуатацію рухомих керованих об'єктів за умови мінімальних строків отримання переваг експлуатаційного та економічного характеру з урахуванням вимог забезпечення споживачів навігаційною інформацією з гарантованими характеристиками по точності, цілісності (надійності) та доступності. Існуючі варіанти методів визначення ефективності підсистем функціональних доповнень

класифікують:

за визначенням показників економічної ефективності;

за визначенням показників рівня безпеки руху на визначеній території.

Однак, розглядаючи СКЧНЗУ з точки зору навігаційного забезпечення ЗСУ, як одного з основних видів оперативного забезпечення, набуває актуальності оцінка ефективності функціонування даної системи в умовах особливого періоду.

Види координатно-часових та навігаційних послуг, які формуватимуться функціональними підсистемами СКЧНЗУ для задоволення потреб користувачів як в звичайний час (ЗЧ), так і в особливий період (ОП), наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Види координатно-часових та навігаційних послуг, які формуватимуться функціональними підсистемами СКЧНЗУ

Функціональні підсистеми	Види послуг									
	ВК		ЗБЖ		КП		ППР		ПРК	
	ЗЧ	ОП	ЗЧ	ОП	ЗЧ	ОП	ЗЧ	ОП	ЗЧ	ОП
ПШДК	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+
ПРДК	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
ПППВ	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+

Згідно табл. 2, СКЧНЗУ передбачає надання користувачам послуг для відкритого використання (ВК), забезпечення безпеки життя (ЗБЖ), комерційних потреб (КП), пошуку та рятування (ППР), а також захищені послуги для регульованого використання державними органами (ПРК). Послуги для відкритого використання безкоштовно надаються всім зацікавленим споживачам. Послуги для забезпечення безпеки життя базуються на відкритих послугах з додатковим наданням інформації про достовірність, гарантій обслуговування та інших особливостей, необхідних для забезпечення безпеки життя в таких напрямках, як авіаційний та морський транспорт. Комерційні послуги означають послуги, які забезпечують кращі експлуатаційні характеристики в порівнянні з відкритими послугами, зокрема більш високі швидкості передачі даних, гарантії обслуговування й точності. Послуги забезпечення пошуку та рятування підвищують ефективність пошуково-рятувальних операцій завдяки швидшому та точнішому визначенню місця розташування аварійних маяків та можливості зворотного зв'язку. Захищені послуги для регульованого використання державними органами означають гарантовані послуги з позиціонування та синхронізації з обмеженим доступом, що надаються спеціально для потреб споживачів державного сектору, насамперед для силових міністерств та відомств.

Багатозв'язність елементів системи та накопичення всередині системи інформації про результати взаємодії з космічним сегментом та оточуючим се-

редовищем надає можливість розглядати СКЧНЗУ як складну систему. Необхідно відмітити, що безперервність отримання та накопичення навігаційної інформації, яка обумовлена особливостями роботи ККС та РС в складі системи, змінює властивості даної системи, тому зміна її структури (певного способу організації системи з її складових частин), в залежності від умов обстановки, що склалися в особливий період, приведе до непередбачуваності її поведінки і тим самим негативно вплине на рівень оперативного та бойового забезпечення військ (сил).

Крім того, проблемні ситуації, які мають місце і виникають у мирний час і враховуються в існуючих методиках оцінки ефективності функціонування системи, будуть посилюватися та ускладнюватися умовами бойових дій. Це обумовлює необхідність виявлення таких проблемних ситуацій, їх дослідження і своєчасного вирішення. Тому завдання оцінки ефективності функціонування СКЧНЗУ в умовах активної протидії противника є актуальною.

Важливою характеристикою СКЧНЗУ, яку необхідно враховувати під час дослідження, є стаціонарність даної системи. Згідно концепції, дислокація ККС, на яких створюватимуться РПКНП, визначена і представлена на рис. 3.

Стаціонарність в свою чергу накладає просторове обмеження на характеристики робочої зони обслуговування системи у відповідних режимах роботи, тому функціонування системи в інтересах навігаційного забезпечення Збройних Сил України розглядається тільки на її території.

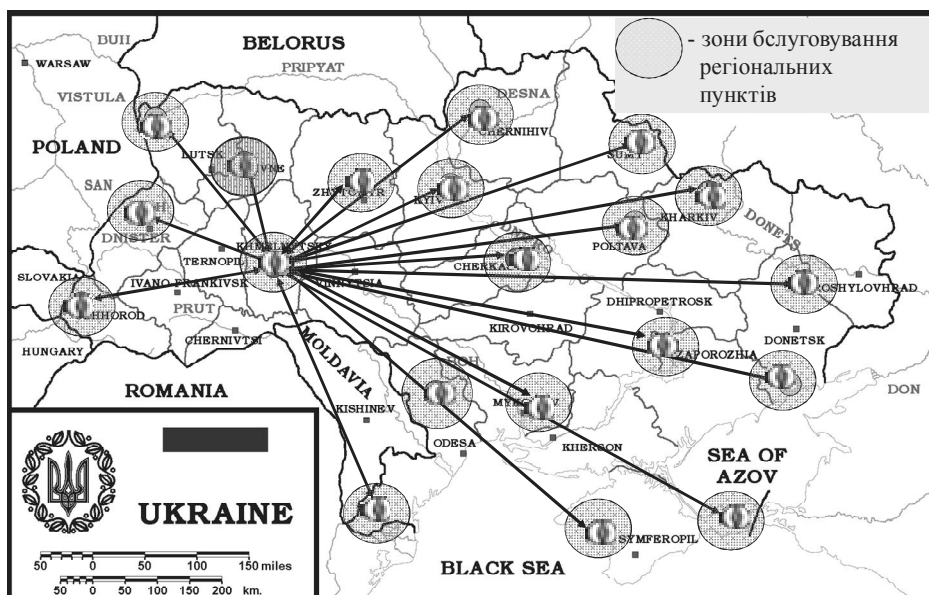


Рис. 3. Загальна кількість джерел інформації — 20 ККС в 20 РПКНП

Технічні характеристики СКЧНЗУ представлені в табл. 2. Для збільшення розмірів робочої зони системи та забезпечення високоточного і стабільного навігаційного поля, а також з метою забезпечення безперервності надання навігаційної інформації у випадку виведення з ладу (ураження) окремих елементів СКЧНЗУ доцільно використовувати сигнали мало-габаритних випромінювачів радіонавігаційної інформації (в термінології Європейського космічно-

го агентства – псевдосупутників, *pseudolite*), які розміщуються на поверхні землі стаціонарно чи рухомо або в повітрі на будь-яких літальних апаратах. Важливим є те, що з допомогою псевдосупутників можна забезпечити стабільну навігацію протягом певного часу (доки похибка визначення координат об'єктів менша гранично допустимої в даних умовах) навіть в умовах відсутності сигналів від "справжніх" супутників взагалі.

Таблиця 2

Технічні характеристики СКЧНЗУ

№ з/п	Режим роботи	Космічний сегмент	Спосіб передачі інформації	Рівень контролю цілісності та достовірності / оперативність контролю	Точність $2\sigma$ , по координатам/ по швидкості	Робоча зона обслуговування	Доступність (ймовірність безвідмовної роботи)
1.	широкозон. диференц. навігація	GPS, ГЛОНАСС, Galileo	Через ГСЗ, (по спеціальним каналам зв'язку)	наземн. 0,95, водний 0,99, повітр. 0,999/ до 10 с (до 3 с)	3-5 м / 1,5-2,5 см/с	Регіональна (2-3 тис.км)	0,999
2.	ДКІ локальної ККС	GPS, ГЛОНАСС, Galileo	по спеціальним каналам зв'язку	наземн. 0,95, водний 0,99, повітр. 0,9999/ до 2 с	2,7-5 м / 1,5-3,5 см/с	Локальна (0-180 км)	0,999
3.	Режим RTK (РС)	GPS, ГЛОНАСС, Galileo	по спеціальним каналам зв'язку	наземн. 0,95, водний 0,99, повітр. 0,9999/ до 2 с	5-10 см / -	Локальна (0-10 км)	0,997

### Висновки

Застосування диференційних супутникових технологій щодо навігаційного забезпечення ЗСУ дозволить:

– підвищити рівень навігації транспортних засобів за рахунок проведення моніторингу цілісності навігаційного поля ГНСС в складних умовах обстановки;

– забезпечити високу точність прив'язки відповідних елементів бойових порядків військ (сил);  
 – підвищити якісні показники логістики за рахунок введення нових технологій;  
 – підвищити оперативність (і в цілому ефективність) застосування ЗСУ.

Важливою складовою під час розгортання та введення в експлуатацію СКЧНЗУ є вдосконалення оперативного контролю навігаційного забезпечення

споживачів з урахуванням визначених варіантів (режимів) її роботи за умов активної протидії противника. Головним елементом даної системи стає РПКНП, що створюється на базі ККС та мережі РС, тому дослідження ефективності функціонування РПКНП щодо забезпечення потрібного рівня навігаційно-часових послуг, цілісності навігаційного поля ГНСС та достовірності ДКІ є актуальним завданням, яке, в свою чергу, включає розробку напрямків (заходів) щодо підтримки заданого рівня навігаційного забезпечення військ (сил) в реальному масштабі часу в умовах активної протидії противника.

### Список літератури

1. Верещак А.П. Система космического навигационно-временного обеспечения Украины: состояние и перспективы / А.П. Верещак, П.А. Кот, В.А. Козлов и др. // Космична наука і технологія. – 1999. – 5, № 2. – С. 23-29.
2. New U.S. Policy for Positioning, Timing and Navigation (PNT) services - директива президента США від 8 грудня 2004 року щодо політики у галузі координатно-часових та навігаційних послуг.
3. Доклад Специального комитета по контролю и координации разработки и планированию перехода к будущей системе аэронавигации (FANS – этап II) // Четвёртое совещание. Док 9623, FANS (II)/4, ICAO. – Монреаль, 1993. – 48 с.
4. EGNOS System Test Bed User Workshop Toulouse, 6–7 July 2000. – 52 p.
5. Windl J., Gotz S., Beerhold J., et al. Flight and trials with combined DGPS/DGLONAS/INS system for high dynamic maneuvers and precision landings // Proc. of the 2nd European Symposium on GNSS-98, 23–25 October, Toulouse, France.
6. Указ Президента України „Про заходи щодо дальшого розвитку космічних технологій” від 03.04.1997 року №202/97.
7. Указ Президента України „Про поліпшення інформаційного забезпечення на автомобільних дорогах України” від 22.01.2001 року №30/2001.
8. Постанова Кабінету Міністрів України „Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження)” від 17 вересня 2008 р. № 834.
9. Кравченко Ю.В. Оцінка точнісних характеристик псевдосупутникової радіонавігаційної системи / Ю.В. Кравченко, В.А. Савченко // Зб. наук. ін. ННДЦ ВІД та ВБУ. – К.: ННДЦ ВІД та ВБУ, 2003. – № 18. – С. 103-110.
10. Бабак В.П. Основные направления внедрения спутниковых технологий для повышения эффективности движения воздушного транспорта в Украине / В.П. Бабак, Я.И. Скалько, В.П. Харченко // Космична наука і технологія. – 2001. – 7, № 4. – С. 17-21.
11. Katanic T., Gallimore I., Cussack C., et al. Air Traffic Management Strategy for 200+. – November, 1998. – Vol. 1-2.
12. EGNOS AOC: Требования к системе. – Европейское космическое агентство, проектное бюро GNSS-1, 1998. – 37 с.
13. Draft SARPS for GNSS // Working paper / Third meeting of GNSSP ICAO, 12-23 April 1999, Montreal, Canada. – 118 p.

Надійшла до редколегії 12.04.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Калкаманов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

А.Ю. Пермяков, А.В. Лавринчук, Р.Н. Залужный

Рассмотрено применение наземных функциональных дополнений глобальной навигационной спутниковой системы с целью обеспечения высокой точности и надежности координатно-часовых определений и навигационного обеспечения на территории Украины. Приведены виды координатно-часовых и навигационных услуг, которые будут формироваться функциональными подсистемами системы координатно-часового и навигационного обеспечения Украины (СКЧНОУ) та возможность увеличения размеров рабочей зоны системы и обеспечения непрерывности предоставления навигационной информации с помощью малогабаритных излучателей радионавигационной информации в случае выведения из строя отдельных элементов СКЧНОУ.

**Ключевые слова:** глобальная навигационная спутниковая система, многопозиционная локальная радионавигационная система, наземное функциональное дополнение, навигационное обеспечение.

### FEATURES OF CREATION AND APPLICATION OF SURFACE FUNCTIONAL ADDITIONS OF GLOBAL SATELLITE NAVIGATIONAL ON TERRITORY OF UKRAINE

O.J. Permyakov, O.V. Lavrinchuk, R.M. Zaluzhny

Application of surface functional additions of global satellite navigational is considered with the purpose of providing of high exactness and reliability of XY-sentinel determinations and navigation providing on territory of Ukraine. The types of XY-sentinel and navigation services which will be formed the functional subsystems of the system of the XY-sentinel and navigation providing of Ukraine (SKCHNOU) that possibility of jumboizing working area of the system and providing of continuity of grant navigation information by the small emitters of direction-finding information in the case of lay-up of separate elements of SKNCHOU are resulted.

**Keywords:** global satellite navigational, multiposition in-plant direction-finding system, surface functional addition, navigation providing.