

**УДК 621.396.98**

**КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ НАЦІОНАЛЬНОЇ РАДІОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ  
ПІДВИЩЕНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ТА БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ**

**Г.Л. Баранов, Л.С. Бєляєвський, Є.О. Топольський**

*Національний транспортний університет*

*Вул. Суворова, 1, Київ, 01010, Україна*

*У статті розглядається проблема забезпечення національної безпеки шляхом гарантування стабільного і якісного інформаційно-навігаційного забезпечення транспортної галузі України в умовах сучасної радіоелектронної протидії. Пропонується концепція і основні принципи побудови Національної радіонавігаційної системи (НРНС) підвищеної функціональної стійкості. Вводиться поняття гарантоздатності НРНС і обґрунтовується можливість забезпечення її надійності та функціональної стійкості за рахунок використання максимальної інформаційної надлишковості та підвищення ефективності режимів роботи навігаційних, телекомунікаційних й управлінських технологій.*

У ХХІ столітті всі види комунікацій суттєво впливають на стан та розвиток цивілізації в цілому. Кожна окрема держава світу незважаючи на впливові інтеграційні процеси захищає національні інтереси насамперед шляхом захисту власних транспортних і телекомунікаційних засобів. Чітка, безперервна, якісна та ефективна робота з перевезень пасажирів й вантажів всіма видами транспорту, як і стабільне функціонування систем зв'язку, що обслуговують сучасні логістичні системи, створює умови для стабільного розвитку економіки держави, забезпечує національну безпеку та незалежність в оборонних та фінансових сферах.

Прискорений розвиток навігаційно-інформаційних та супутникових технологій в значній мірі сприяв підвищенню ефективності функціонування технологічно єдиних транспортних організацій (ТЄТО). За рахунок широкої комп'ютеризації формуються транспортні інформаційно-управляючі системи (ТІУС) на всіх рівнях, включаючи безпосередньо високошвидкісні транспортні засоби (ВТЗ).

**Сучасний стан проблеми**

Навігаційне забезпечення базується на використанні сучасних радіонавігаційних систем. До даного класу відносяться нині діючі космічні системи GPS, ГЛОНАСС та наземні системи "Лоран - С", "Чайка". Вказані навігаційні системи є державною власністю відповідно США (GPS, "Лоран - С") та Російської Федерації (ГЛОНАСС, "Чайка") [1, 3, 4, 10]. Європейський союз створює нову глобальну супутникову радіонавігаційну систему "Галілео" ("Galileo"), яка є власністю міжнародного комерційного підприємства "Галілео" [2, 5, 6-8].

Порушення нормальної роботи навігаційного обладнання масової категорії транспортних засобів, рухомих об'єктів спеціального призначення, важливих стратегічних об'єктів може привести до тяжких аварій, які можуть мати катастрофічні наслідки. Тому надання інформаційно-навігаційних та логістичних послуг на терені України повинно бути безперервним, цілодобовим та якісним. Найвищі вимоги до надійності, якості, ефективності й точності координатно-часових визначень надають спеціальні рухомі об'єкти, спецпідрозділи та спецорганізації, що забезпечують національну безпеку України.

Враховуючи загострення конкурентної боротьби на міжнародних ринках, активну участь України у миротворчій діяльності та у міжнародній співпраці по боротьбі з тероризмом, не можна виключати ймовірність штучного (зловмисного) впливу на радіонавігаційне поле України. Можна очікувати, що тривалість такого роду впливу з боку певних сил може буде незначною, але наслідки для систем високошвидкісного транспорту та служб національної безпеки будуть аналогічні широкомасштабним катастрофам. Дана загроза дуже реальна. Про це свідчить практика та широке розповсюдження на ринках недорогих мобільних засобів генерування локальних завад.

В останні роки США розгорнули роботи по захисту спектру сигналів GPS та систем супутникового зв'язку від надширококутних завад [4]. Дану проблему планується розглянути на черговій Всесвітній конференції з радіочастот згідно ініціатив Міжнародного союзу електрозв'язку. Саме реальна чутливість апаратури приймачів до завад терористів або до завад, що створюють прилади радіоелектронної боротьби (РЕБ) у регіональних конфліктах, потребує розробки додаткових спеціальних засобів захисту навігаційно-інформаційних повідомлень.

Національна безпека відносно критично-важливих державних ресурсів, якими є транспорт, зв'язок та систем управління ними, потребує відповідних форм захисту на терені України та у зонах її стратегічних інтересів. Досягнення перемоги у захисті національної безпеки в умовах сучасної радіоелектронної протидії можливе лише за рахунок підвищення ефективності режимів роботи навігаційних, інформаційних, управлінських, телекомунікаційних та комп'ютерних технологій.

*По-перше*, це вимагає вирішення організаційних питань щодо побудови Національної радіонавігаційної системи (НРНС) підвищеної функціональної стійкості. Головний напрям у досягненні мети національної безпеки, а також у ТІУС і ТЕСТО, визначається не у спробах будувати власне космічне супутникове угруповання, адже це дуже дорого для нашої держави. Головна проблема побудови національної радіонавігаційної системи підвищеної функціональної стійкості визначається, як знаходження напрямів раціонального використання власних державних ресурсів.

*По-друге*, шлях надання пріоритету власним навігаційно-інформаційним технологіям і системам управління дозволяє досягти нової системної якості. Це означає, що необхідно забезпечити стабільне функціонування навігаційно-телекомунікаційних засобів та безперервний якісний сервіс користувачів навігаційної інформації навіть в умовах активного використання засобів РЕБ проти будь-якої ТІУС або спецпідрозділу.

Концепція запобігання можливих аварій та катастроф *передбачає побудову нової структурно-функціональної організації НРНС*. Нова технологія забезпечення функціональної стійкості починається із з'ясування причин та форм порушень навігаційно-інформаційного поля. Шляхом системного аналізу уточнюються характеристики та динамічні параметри ситуації, що виникла внаслідок штучних збурень.

*Головне завдання автоматичних засобів НРНС* - забезпечити своєчасне реагування на нештатну аварійну ситуацію. Своєчасна мобілізація наявних ресурсів дозволяє усунути вплив визначених чинників збурень. Навіть в умовах ще не ліквідованих збурень штучного походження можливо відновити якість навігаційних послуг за аварійними схемами роботи НРНС.

За час експлуатації GNSS типу GPS та ГЛОНАСС світова спільнота усвідомила, що постійно мають місце порушення функціонування окремих НКА, їх орбітальних угруповань (рис.1). Внаслідок цього мають місце порушення цілісності, достовірності та точності радіонавігаційних полів супутникових космічних систем. Безпосередній вплив

такого явища на безпеку руху транспортних засобів класу AVI\_ [9], зниження якості та економічності транспортної роботи обумовили, особливо для задач аеронавігації, побудову додаткових засобів моніторингу стану орбітальних угруповань НКА та аномалій у сигналах CNSS.

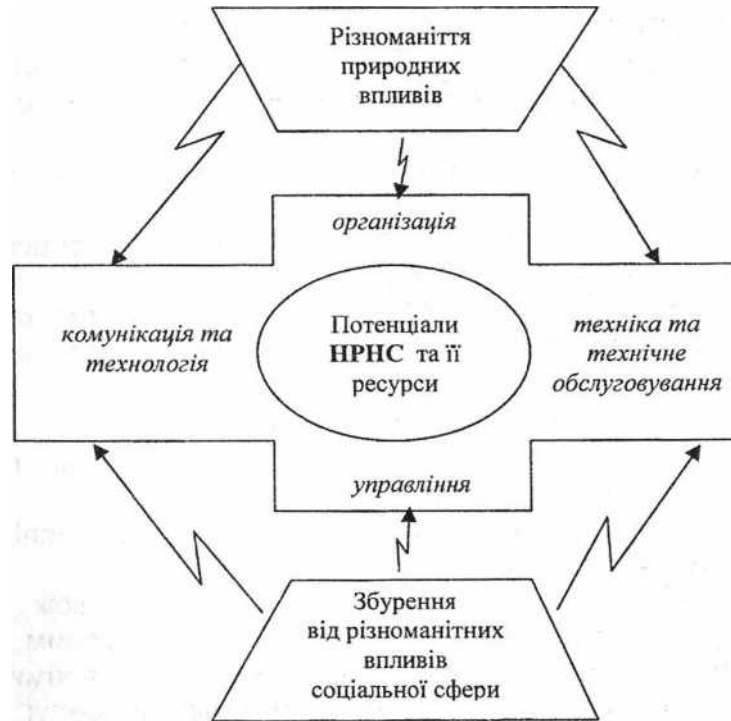


Рис.1. Концептуальна схема головних напрямів впливу природних та штучних факторів на ефективність функціонування НРНС з наданням користувачам навігаційних послуг.

Порушення функціонування орбітальних угруповань НКА виникають внаслідок планових та випадкових виходів з роботи НКА системи ОМББ. Планові (штатні) виходи виконуються при потребі проведення коригування орбіти НКА, що з часом природно змінюється. Окрім цього до планових робіт відносять налагодження, регулювання обладнання, перезакладання (введення) початкових даних та інше. Всі позапланові виходи НКА з системи ОМБВ проводять внаслідок випадкових, непередбачених, аварійних режимів. Вони визначені підсистемою автоматичного контролю і управління аварійними станами НКА.

Недостатня ефективність засобів моніторингу призводить до того, що природні соціально-технологічні та штучні фактори обумовлюють значні похибки в роботі навігаційного обладнання у вигляді зниження точності та достовірності навігаційних параметрів. Причини похибок різні. Вони виникають внаслідок:

- зсуву частоти опорного сигналу супутникового генератора;
- зсуву несучої частоти сигналу, що випромінюється;
- зсуву бортової шкали часу або порушення синхронізації,
- зміни орбіти навігаційного космічного апарату, передавання недостовірної ефемеридної інформації та інше.

Підсистема контролю та управління режимами роботи навігаційних космічних

апаратів не завжди своєчасно й повно визначає такі факти. Досвід експлуатації з застосуванням сигналів GPS визначив типові (для всіх НКА) випадки:

- стрибки значень порядку 1 м та перерва спостереження кодкових та фазових вимірів псевдодальності на частотах L1 та L2 GPS;
- викривлення кореляційних функцій, що спричиняє похибки вимірів псевдодальності у режимах оцінки навігаційних параметрів;
- розриви когерентності коду і фази несучої сигналу L1 з C/A кодом, розриви когерентності сигналу на частоті L2, розриви при визначенні доплерівського зсуву та його похідних. Всі вказані розриви створювали похибки до 4 м по дальності, 4 м/с та 141 м/с по швидкості, 2,5 та 12,5 м/с<sup>2</sup> по прискоренню;
- стрибки частоти опорного генератора, які призводили до зростання похибок псевдодальностей;
- нестійкість режимів синхронізації та зашумлення сигналу, внаслідок чого теж має місце зростання похибок визначення псевдодальності.

Крім дефектів у режимах роботи НКА GPS немає абсолютної стабільності в роботі апаратури наземної інфраструктури. Досвід експлуатації визначив наступні приклади порушень:

- втрата безперервності слідування за сигналами НКА;
- відмови телекомунікаційної лінії зв'язку "земля - НКА", що порушують режими управління бортовими комп'ютерами НКА;
- порушення в роботі фільтра Калмана головної станції GPS внаслідок появи від'ємних власних чисел коваріаційної матриці.

Прийомоіндикатори користувачів навігаційних послуг також чутливі до впливу завод та перешкод у електромагнітному полі. Найбільш яскравим прикладом цього є повідомлення пілотів, що політ над Північним морем за сигналами GPS мав похибку місцезнаходження порядку 14,8 км. Користувачі навігаційних послуг повинні виконувати власні завдання, а не марнувати час на з'ясування причин виникнення помилок та дефектів роботи НКА або їх угруповання, відмов підсистем GNSS чи засобів формування радіонавігаційного поля, порушення в роботі обладнання користувача.

Тому з метою забезпечення якості функціонування систем GPS та ГЛОНАСС створені структури моніторингу стану орбітальних угруповань і радіонавігаційних полів супутникових систем. Для аеронавігаційних користувачів CLUA та Європи частково реалізовані функціональні доповнення WAAS, EGNOS - GBASS (GPS Landing System).

- При визначенні місцезнаходження джерела завод можливо використовувати різні методи:
- просторово-часова обробка сигналів з використанням фазових антенних решіток;
- амплітудні, фазові, кореляційні, часові, інтерферометричні схеми;
- спеціальні засоби математичної обробки цифрового ряду за інтервал спостереження.

Але внаслідок відкритості радіонавігаційного простору виникають суттєві обмеження, обумовлені впливом значної кількості природних чинників. Серед них найбільш важливою є група, що спричиняє порушення електромагнітної сумісності (ЕМС) корисного навігаційного сигналу з іншими заводовими сигналами, що одночасно випромінюють природні та штучні об'єкти (рис. 2).

Природно, що при одночасній роботі значної кількості джерел електромагнітного випромінювання виникають завади, взаємні впливи, і в результаті - втрата ефективності прийому корисних навігаційних сигналів. Диференціальні виправлення

визначаються контрольно-корегуючими станціями для конкретного моменту часу. На протязі часу порядку одиниць секунд вони „старіють” і похибка визначення місцезнаходження об’єкта різко збільшується. Для сучасних високошвидкісних користувачів запізнення коригуючої інформації не повинне перевищувати 0,5 - 1с, тобто швидкість оновлення коригуючої інформації повинна бути не меншою 1 - 2 Гц при об’ємі не меншому 2000 біт інформації, що передається за один раз.

Характерним для нашого часу являється збільшення кількості радіоелектронних засобів і ускладнення електромагнітної обстановки, тобто збільшення рівня завад, які впливають на радіоканал передачі інформації та обумовлюють спотворення навігаційної інформації. Відомі випадки виникнення проблем з навігацією у літаків при роботі в зоні аеродромів передавачів завад невеликої потужності (4 - 8 Вт). Розробкою та продажем таких передавачів-постановників завад займається багато країн. Для боротьби з такими завадами застосовується аналіз завадової обстановки в радіонавігаційних полях і апаратура приймачів навігаційної інформації доопрацьовується засобами, що усувають такі перевантаження.

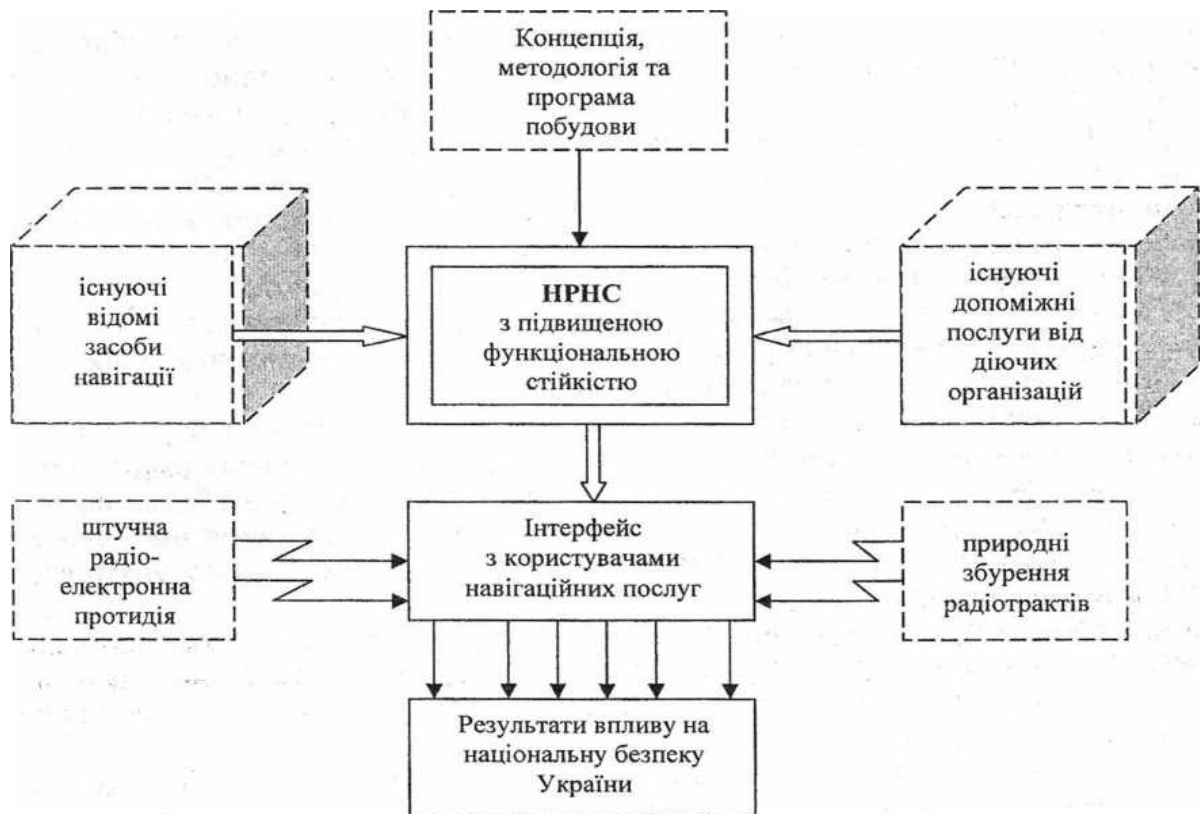


Рис. 2. Умови побудови та функціонування Національної радіонавігаційної системи.

Відомо, що особливо вразливими є приймачі навігаційної інформації з цивільним (відкритим кодом), які в особливі періоди можуть бути заблокованими у виділеній обмеженій зоні.

У межах розв’язку проблеми побудови НРНС підвищеної функціональної стійкості (рис.3) маємо багато користувачів та багато комп’ютерних систем з розподіленою структурою та значною мережею телекомунікації для забезпечення цих показників

ефективності навігаційного забезпечення.

У теперішній час відсутня НРНС та немає узагальненого поняття гарантоздатності НРНС. Тому одночасно з розробкою методології забезпечення рівня функціональної стійкості НРНС потрібно проводити й технологічно-конструктивну розробку принципів роботи НРНС з потрібними властивостями.

*Принципи побудови НРНС.* Семантичний рівень стабільності функціонування користувачів напряду забезпечуються стабільністю надання їм радіонавігаційних послуг від НРНС з гарантованим рівнем гарантоздатності.

*Гарантоздатність НРНС* - це інтегрована сукупність властивостей та взаємних зв'язків, яка забезпечує виконання головної функції щодо надання навігаційних послуг користувачам за замовленням. Гарантоздатність НРНС з точки зору ефективності математичного, інформаційного та програмного забезпечень обумовлена існуванням зони Паретто з показниками стійкості функціонування, збіжності алгоритмів реконфігурації, коректності задач по Адамару, регуляризації невизначеності по А.М. Тихонову, унімодальності інтегрованої багатокритеріальної згортки за А.М. Вороніним. Даний критерій ефективності по-новому визначає взаємовідношення між конкретним користувачем та НРНС.

Визначимо наступні головні принципи функціонування НРНС з підвищеною гарантоздатністю на клас режимів роботи в умовах природної або штучної радіоелектронної протидії локального характеру. Перелік цих принципів наступний:

1. НРНС відноситься до класу заданого рівня функціональної стабільності, якщо мета надання якісних послуг визначеної групи користувачів досягається. Такі користувачі продовжують отримувати навігаційно-часові дані й не відчують, що супутникові навігаційні канали тимчасово не ефективні внаслідок цілеспрямованого застосування зловмисниками засобів РЕН.

2. Діалог стосовно гомеостатичних процесів реорганізації потребує інтелектуальних (штучний інтелект (ШІ)) міжкомпонентних та між-вузлових обмінів ключовою інформацією в максимально стислі проміжки часу.

3. Відмова прийомоіндикатора у якісному визначенні поточного місцеположення мобільних транспортних засобів користувача може виникати унаслідок семантичної інформаційної несумісності. Це виникає з причин прийняття приймачем невірних рішень, згідно з даними, що тимчасово мають суттєве підвищення рівня шумів або зловмисне цілеспрямоване надання хибної інформації від так зв. „хибних” псевдосупутників, що сформовані засобами РЕН.

4. Помилковість функціонування приймачів користувачів може бути повернена у клас нормального функціонування з гарантованим рівнем якості отримання навігаційних послуг, якщо мати додатковий модуль з ШІ, що працює з врахуванням семантичного діалогу та накопичених БЗ.

5. Навігаційний прийомоіндикатор користувача, що має додатковий модуль з ШІ, працює стабільно у новому розширеному класі зовнішніх впливів навколишнього середовища, включаючи випадки застосування РЕН, відносно навігаційного поля у конкретному локально-обмеженому регіоні. НРНС працює стабільно, якщо вона внутрішнє сумісна з всіма внутрішніми підсистемами надання навігаційних послуг та зовнішнє неізолювана від потоків даних, що характеризують показники радіонавігаційного поля на терені України.

Таким чином, в аварійних умовах значного впливу зовнішніх збурень усі наявні ресурси НРНС мобілізуються на адекватне, оптимальне та швидке реагування на факти зміни нормальних параметрів режиму функціонування системи. Оцінки факторів впливу

та появи ознак і тенденцій розвитку подій характеризують передаварійний стан. Запобігання аваріям досягається розвиненими засобами аварійної автоматики та захисту.

Головними принципами забезпечення гарантоздатності НРНС для надання користувачам достовірних, точних та якісних навігаційних послуг в даних умовах повинні бути: прогнозування процесів та розвитку подій; попередження з використанням засобів моніторингу, контролю диспетчерського управління та тенденцій; системне повномасштабне та комплексне оцінювання інтегрованої ситуації; багатокритеріальна оптимізація нових законів управління; високошвидкісне реагування з максимізацією системних ефектів на підвищення стабільності функціонування НРНС та найприоритетніших користувачів, від яких суттєво залежить національна безпека.



Рис. 3. Концептуальна схема напрямів системного забезпечення функціональної стійкості НРНС

Однчасне функціонування декількох СРНС і наземних РНС створює реальну можливість їхнього спільного чи інтегрованого використання [10-12] з метою досягнення більш високих характеристик по точності, доступності й цілісності. Ось деякі можливі варіанти інтегрування:

- 1) космічна РНС - космічна РНС;
- 2) наземна РНС - космічна РНС;
- 3) наземна РНС - наземна РНС.

Під інтеграцією космічних радіонавігаційних систем розуміється використання спільного радіонавігаційного поля, створюваного цими СРНС, при самостійному незалежному керуванні кожною системою. Ціль інтеграції космічних радіонавігаційних систем - створення комбінованої СРНС, що виконує функції основної радіонавігаційної системи для повітряних, морських, річкових, наземних і космічних споживачів. На сьогодні практично реалізовано інтеграцію СРНС ГЛОНАСС (Росія) і GPS (США) у проєкті EGNOS (Європейський Союз).

Історично склалося так, що зараз існують дві практично незалежні і самодостатні радіонавігаційні системи координатно-часового забезпечення різних користувачів: одна - наземна імпульсно-фазова (ІФРНС) "Loran - C" і "Чайка", які базуються на використанні ланцюгів наземних станцій, і друга - глобальна супутникова GNSS, що використовує псевдодальномірні методи і включає супутникові системи GPS "Navstar" (США) та ГЛОНАСС (Росія). Їх взаємна незалежність підтримувалась власниками систем як позитивний факт надлишковості з точки зору забезпечення національних інтересів шляхом впровадження незалежних (автономних) шкал часу і сигнальних кодів доступу.

### **Висновки.**

Створення і забезпечення безперервного функціонування Національної радіонавігаційної системи України у порівнянні з сучасним станом навігаційного забезпечення буде враховувати державні інтереси [13-16] і дасть можливість підвищити:

- рівень національної безпеки та оборони держави;
- якість контролю можливих загроз порушення територіальної цілісності України;
- рівень безпеки руху усіх видів високошвидкісних транспортних засобів та інших спеціалізованих рухомих об'єктів в умовах небезпечних завад природного та штучного походження, включаючи зловмисні терористичні протидії локального масштабу;
- швидкість формування адекватних мобілізаційних ресурсів держави в особливі періоди реагування на суттєві зовнішні загрози;
- рівень захисту населення та екології шляхом залучення відповідних транспортних засобів для локалізації надзвичайних ситуацій природного і техногенного походження;
- ефективність пошуково-рятувальних робіт у межах території України та прилеглих до неї територій (акваторій);
- ефективність функціонування різноманітних транспортних систем за рахунок гарантованої надійності та впровадження передових навігаційно-інформаційних технологій ієрархічного управління транспортними потоками і окремими засобами;
- точність моніторингу просторово-часового контролю динаміки транспортних потоків та стану транспортних шляхів.

На час дії природних або зловмисних зовнішніх збурень, що заважають користувачам реалізовувати високоточне керування високошвидкісними



транспортними засобами та іншими рухомими об'єктами, НРНС динамічно саморегулюється завдяки гомеостатичній структурно-функціональній організації, що використовує інші (не блоковані за різними фізичними принципами) засоби навігаційного забезпечення.

Таким чином, запропоновані засоби гарантовано-адаптивного управління ресурсами НРНС забезпечують необхідний рівень функціональної стійкості та завдяки цьому сприяють виконанню користувачами державних завдань з використанням сучасних високошвидкісних транспортних засобів навіть в умовах відключення каналу GPS.

Очікувана техніко-економічна ефективність майбутньої НРНС підвищеної функціональної стійкості гарантує окупність капіталовкладень на рівні 2-3 роки відповідно до умов повномасштабного впровадження у вітчизняну наземну інфраструктуру, яка взаємодіє з існуючою іноземною космічною навігацією і перспективними РНС, що тільки починають розвиватися.

### **Література**

1. ICAO Standards and Recommended Practices // Annex 10, Volume 1, Radio navigation Aids.
2. Ledinghen N., Huroy J. EGNOS: European Satellite navigation System // Alcatel Navigation Review, 4 th Quarter 2001.
3. Demistifying GNSS // Internet: [www.canso.org](http://www.canso.org).
4. Shau M.E. Global Positioning System: A Policy of Modernization Review // US International Committee on GNSS, 1-2 December 2005 ([www.PNT.com](http://www.PNT.com)).
5. EGNOS Expected Performance with GPS Alone over ECAC/FIR Service Area // ESA: E- TN-PFM-E-0019-ESA.
6. Galileo - Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Service // COM (1999), Brussels, 10 February 1999.
7. The Galileo Project: Galileo design consolidation // European Commission, August 2003 (Internet: [www.esus.co.uk](http://www.esus.co.uk)).
8. Galileo System Requirement Document // ESA - APPNS - REG-00011, Issue 3.a, June 20, 2003.
9. Navigation Aids Transition: Roadmap. Version 2.2.1 // JATA, 14 October 2005.
10. Аргунов А.Д., Малюков С.Н., Матюшенко А.Д. и др. Интегральная радионавигационная система. // Радиотехника, № 9, 1998.
11. Малюков С.Н., Писарев С.Б., Столярова С.А., Хотин А.А. Перспективы интегральной радионавигационной системы. // Радиотехника, №2, 1999.
12. Малюков С.Н. Анализ характеристик системы передачи информации, использующей навигационный сигнал ИФРНС. // Радиопромышленность, вып. 2, 1999.
13. Обработка и отображение радионавигационной информации / Беляевский Л.С. и др. М.: Радио и связь, 1990. - 232 с.
14. Закон України "Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період" від 20 жовтня 1998 року № 194-XIV.
15. Закон України "Про Державну спеціальну службу транспорту" від 5 лютого 2004 року, № 1449-IV.
16. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 червня 2004 року, № 389 - р. "Деякі питання реалізації Закону України "Про Державну спеціальну службу транспорту".