

УДК 621.371

П.І. Неєжмаков, О.В. Прокопов, В.М. Романько

Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ КООРДИНАТНО-ЧАСОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АПАРАТУРИ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

Розглянуто питання забезпечення єдності координатно-часових вимірювань в Україні. Виконано аналіз наукових, технічних та нормативно-методичних аспектів проблеми. Наведено інформацію щодо сучасного стану еталонів, необхідних для її розв'язання.

Ключові слова: єдність вимірювання, еталон, простежуваність, глобальна навігаційна супутникова система, апаратура споживачів.

Вступ

Сучасні технології щодо використання сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) визначають економічний і промисловий розвиток країни, зміцнюють її оборону і національну безпеку, стимулюють розвиток науково-технічної і інноваційної діяльності.

За даними Міжнародного комітету по глобальним навігаційним супутниковим системам (IGC) при ООН використання прикладних систем на основі ГНСС в період до 2020 р. стане вирішальним фактором розвитку у всіх секторах економіки і в забезпеченні сталого росту рівня життя населення країн світу.

У силу глобального характеру навігаційного обслуговування за допомогою ГНСС і неминучості спільного використання всіх доступних діючих систем одночасно в споживчій апаратурі об'єктивною необхідністю є міжнародне співробітництво в області створення, розвитку й застосування функціонуючих на даний момент систем GPS США й ГЛОНАСС Російської Федерації. На підході – європейська Galileo. Китайська народна республіка оголосила про створення своєї ГНСС – Compass/Beidou. Японія створює регіональну навігаційну супутникову систему QZSS. Аналогічні плани по створенню регіональної системи IRNSS існують в Індії [1 – 4].

В Україні також одним з стратегічних напрямів дальшого розвитку є впровадження супутникових навігаційних технологій в ключових галузях економіки, формування і розвиток на цій основі національного ринку навігаційних і геоінформаційних послуг, забезпечення широкого доступу населення до нових інформаційних ресурсів і технологій.

Невід'ємною частиною системи забезпечення споживачів координатно-часовою інформацією є системи функціональних доповнень, до яких ставляться системи диференціальної корекції й моніторингу цілісності систем ГНСС. Необхідність створення

подібних систем продиктована наступними обставинами:

- підвищенням точності визначення координат у реальному часі в глобальному масштабі, а також доставкою інформації про цілісність із затримкою не більш 6 сек відповідно до вимог Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) і Міжнародної морської організації (ИМО);
- недостатньою оперативністю внутрісистемних методів контролю цілісності;
- відсутністю в Україні єдиної незалежної служби контролю якості навігаційних послуг;
- скороченням витрат при використанні єдиного підходу до організації функціональних доповнень і створенню навігаційних полів підвищеної точності.

Стратегічною метою України в сфері супутникової навігації є досягнення рівня передових країн світу у використанні глобальних навігаційних супутникових систем на основі розвитку національних виробничих сил і науково-технічного потенціалу, інтеграції в глобальний інформаційний простір і забезпечення навігаційної інформаційної незалежності і безпеки. В Україні наразі йде завершення створення і підготовки до експлуатації системи координатно-часового й навігаційного забезпечення України (СКНЗУ) з використанням інформації ГНСС різних країн [5, 6].

Для досягнення єдності та потрібної точності, повноти, своєчасності вимірювань при виконанні операцій державного регулювання забезпечення єдності вимірювань характеристик апаратури споживачів ГНСС потрібен взаємопов'язаний комплекс засобів вимірювань, еталонів, спеціальних еталонів (у тому числі еталонних базисних мереж), які створюють систему відповідного метрологічного забезпечення.

Метою статті є розгляд основних засад щодо забезпечення єдності вимірювань при використанні

апаратури споживачів глобальних навігаційних супутникових систем.

Викладення основного матеріалу

1. Система підтвердження простежуваності та єдності координатно-часових вимірювань України з огляду на її прагнення інтегруватись у світову економіку потребує створення системи технічного регулювання, гармонізованої з аналогічними системами розвинутих країн.

Значне підвищення ефективності СКНЗУ, а значить і залучення широкого кола споживачів з різних галузей економіки, можна забезпечити шляхом підвищення рівня забезпечення єдності вимірювань технічних засобів, що використовуються системою. Єдність вимірювань є не тільки одне поняття, яке складається нерозривно із двох слів: „єдність” та „вимірювань”. Вітчизняна концепція забезпечення єдності вимірювань спирається на поняття „повірочної схеми”. Вважається, що очолює цю повірочну схему державний еталон, який відтворює, зберігає одиницю вимірювань та передає її розмір вторинним та робочим еталонам [7]. Приймається, що значення цієї одиниці вимірювань є істинним (з визначеною похибкою).

За кордоном історично склалася інша концепція вимірювань – це «метрологічна простежуваність» (англ. – “metrological traceability”, п. 2.41; VIM; JCGM 200:2008) [8]. У концепції «простежуваності» вважається, що істинного значення вимірюваної величини не існує. Звідси і виникло поняття «невизначеності вимірювань» [9].

У Резолюції, прийнятій на 23-й Генеральній конференції з мір та ваг (CGPM) відмічається, що три документа – Угода «Про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування та вимірювань, виданих національними метрологічними інститутами» (Угода CIPM MRA), Угода ILAC на відповідність ISO/IEC 17025 та Угода OIML про взаємне визнання доповнюють одна одну і підтримують єдину всесвітню метрологічну систему [10].

Для підтвердження метрологічної простежуваності повинні бути наступні елементи: безперервний ланцюг метрологічної простежуваності до міжнародних еталонів або національних еталонів, документована невизначеність вимірювань, документована методика вимірювань, акредитація на технічну компетентність, метрологічна простежуваність до одиниць SI.

Угода CIPM MRA викликала створення єдиної у всьому світі бази даних (KCDB) у Міжнародному бюро мір та ваг (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM). KCDB містить результати ключових звірень, які забезпечують технічну базу узгодження, а також списки калібрувальних та вимірю-

вальних можливостей (СМС) національних метрологічних інститутів (НМІ).

CIPM MRA встановлює систему якості, яка охоплює послуги з калібрування та вимірювання і відповідає вимогам ISO/IEC 17025. Слід відмітити, що в рамках CIPM MRA ISO/IEC 17025 приймається саме як стандарт з системи якості, а не інакше. Навіть незважаючи на те, що у назві стандарту наявні слова «технічна компетентність».

В Україні для забезпечення простежуваності створена та постійно вдосконалюється державна метрологічна система (ДМС), складовою частиною якої є національна еталонна база, яка налічує 64 ДПЕ, які відтворюють розмір одиниць вимірювань міжнародної системи одиниць (SI). В ННЦ “Інститут метрології” розроблена типова форма Сертифіката калібрування та Рекомендація COOMET R/GM/15:2007 відносно його заповнення у відповідності з вимогами ISO/IEC 17025, яка затверджена регіональною метрологічною організацією COOMET для використання всіма її членами (див. www.coomet.org, www.coomet.net).

Все це створює умови для забезпечення та демонстрації простежуваності СКНЗУ до державних (міжнародних) еталонів. При цьому, наприклад, у заходах щодо сертифікації СКНЗУ будуть задіяні усі наявні складові (рис. 1).

В цьому ланцюгу важливим є дослідження, яким чином основні функції та метрологічні характеристики первинних еталонів (відтворення, передача та зберігання) трансформуються на шляху до робочих еталонів та ЗВТ центрів контролю навігаційного поля (ЦКНП) та регіональних пунктів контролю навігаційного поля (РПКНП), СКНЗУ.

2. Відтворення та зберігання одиниць часу і частоти в Україні здійснюється шляхом забезпечення функціонування Державного первинного еталона одиниць часу і частоти (ДПЕЧЧ). При проведенні метрологічної атестації у грудні 1996 до складу ДПЕЧЧ входила група з п’яти водневих стандартів різних типів, відібраних за кращими показниками. Додаткова нестабільність частоти кращих мір еталона оцінюється середнім квадратичним відхиленням $\delta_{\text{доб}} = (1,1 \dots 1,6) \cdot 10^{-14}$.

Після десяти років безперервної експлуатації технічний стан державного первинного еталона одиниць часу і частоти суттєво погіршився. Однак, у листопаді–грудні 2009 року ННЦ „Інститут метрології” в рамках технічної допомоги Європейського Союзу (ЄС) Україні за проектом Twinning „Зміцнення стандартизації, ринкового нагляду, вимірювань і законодавчої метрології, оцінки відповідності та споживчої політики в Україні” одержав нове обладнання.

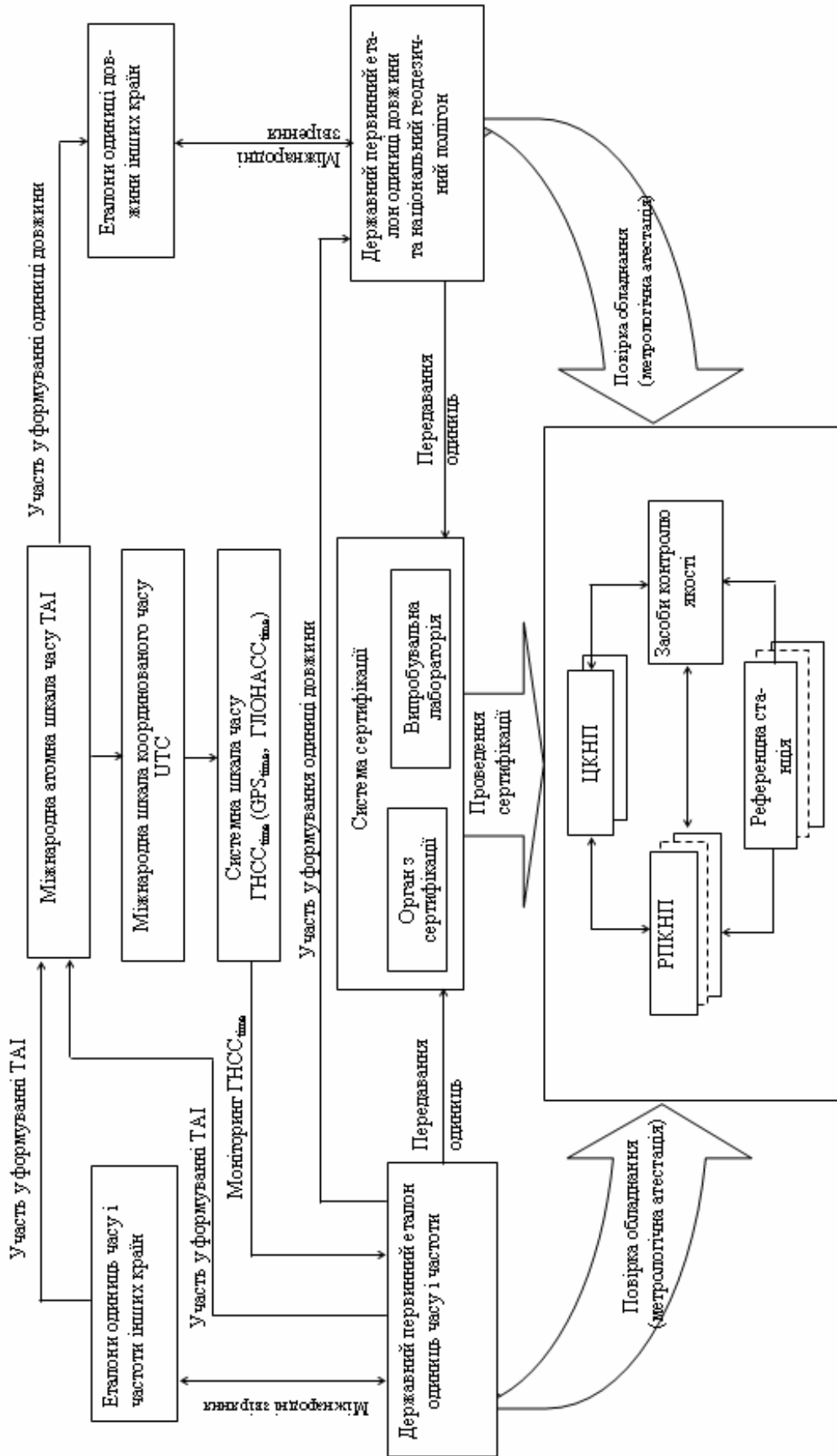


Рис. 1. Забезпечення єдності (простежуваності) вимірювань у СКНЗУ

У межах удосконалення державного первинного еталона одиниць часу і частоти все обладнання було встановлено у підготовлене робоче приміщення й самостійно змонтовано.

У зв'язку з цим склад державного первинного еталона одиниць часу і частоти суттєво змінився. До складу еталона зараз (2011 рік) входять такі засоби вимірювальної техніки та обладнання (рис. 2):

– апаратура відтворення та зберігання розмірів одиниць (чотири квантові міри часу і частоти), яка включає новий активний водневий стандарт частоти і часу типу іMaser 3000 (Міра 1), водневі генератори стандарту частоти і часу типу Ч1–80 (Міри 2 і 3) та цезієвий стандарт частоти і часу типу 5071A з поліпшеною за метрологічними характеристиками атомно-променевою трубкою (Міра 4);

– автоматизована система внутрішніх звирень, яка включає комутатори сигналів, що керуються програмно, фазові та частотні компаратори, частотомір-вимірювач інтервалів часу типу GT200-10 та ПЕОМ;

– автоматизована система зовнішніх звирень, яка включає апаратуру звирень для високоточного порівняння шкал часу еталонів з використанням сигналів ГНСС GPS, ГЛОНАСС, Galileo — системи TTS-2 і TTS-4, та квантову міру (годинник), що транспортується — пасивний водневий стандарт частоти і часу типу Ч1–1006;

– апаратура зберігання шкали часу і еталонних частот, яка включає систему формування робочої шкали часу, систему формування еталонних частот, апаратуру підсилення і розмноження еталонних сигналів частоти і часу;

– апаратура забезпечення еталона, яка включає систему резервованого електроживлення апаратури еталона, систему забезпечення стабільної температури у робочих приміщеннях, систему автоматизованого контролю параметрів зовнішнього середовища (температури, вологості та атмосферного тиску) в основному робочому приміщенні еталона (СОПОС-1).

За частоту еталона приймається середнє значення частоти групової міри, тобто усереднюються дійсні значення частоти усіх мір, які входять до складу групи. Статистична вага p окремих мір у груповій мірі еталона встановлюється вченим зберігачем в залежності від нестабільності частоти даної міри та надійності її функціонування. Починаючи з 2010 року для усіх мір було обрано однакову статистичну вагу $p = 1$ у груповій мірі еталона.

Використання групової міри дозволяє зменшити випадкову похибку відтворення одиниць фізичних величин за рахунок статистичної обробки результатів вимірювань, а також підвищити надійність їх зберігання. При цьому невідповідні похибки результатів вимірювань необхідно попередньо вилу-

чити або урахувати.

Головна метрологічна задача, яка вирішувалась при метрологічних дослідженнях еталона, це визначення дійсного значення частоти (ДЗЧ) окремих мір, систематичної зміни та нестабільності їх частоти за даними внутрішніх звирень. На основі оцінок ДЗЧ обчислюють поправки до шкал часу кожної міри.

Спочатку за даними взаємних звирень мір у групі отримуються оцінки відносної різниці частот $F_{ij} = \Delta f_{ij} / f_n$ для кожної пари мір, що звіряються:

$$F_{ij} = [f(\text{міра}_i) - f(\text{міра}_j)] / f_n,$$

де i, j – порядкові або умовні номери мір, що звіряються; f_n – номінальне значення еталонної частоти.

Потім оцінюється відносне відхилення частоти кожної міри від середньої частоти групи, яка складається з N мір:

$$F_{j-\text{гп}} = F_{\text{гп}}^* + \sum_{i=1}^N F_{ij} / N,$$

де $F_{\text{гп}}^*$ – відносне значення частоти групової міри, що прогнозується.

Це значення розраховується за формулою:

$$F_{\text{гп}}^* = \sum_{i=1}^N F_{i-\text{гп}}^* / N,$$

де $F_{i-\text{гп}}^*$ – відносне значення частоти i -ї міри, що прогнозується на даному інтервалі часу спостережень.

Для прогнозування дійсних значень частоти мір спочатку використовувався метод, за яким оцінка відносного відхилення частоти j -ї міри від частоти еталона $F_{j-\text{гп}}$ на попередньому 10-добовому інтервалі спостережень застосовується як значення прогнозу цієї міри на поточному інтервалі спостережень. Потім для прогнозування ДЗЧ мір використовувався метод експоненціально зваженого ковзного середнього. Зараз упроваджено новий алгоритм обробки даних внутрішніх звирень мір у групі, який враховує систематичну зміну частоти кожної міри (лінійний тренд частоти), неоднакову статистичну вагу мір у групі та новий алгоритм поточного прогнозування ДЗЧ мір. Значення систематичної зміни частоти водневих стандартів було оцінено за даними попередніх метрологічних дослідженнях на тривалому інтервалі часу спостережень.

Для прогнозування відносного відхилення частоти $F_{i-\text{гп}}^*(k+1)$ i -ї міри від середньої частоти групи на $k+1$ день упроваджено такий алгоритм:

$$F_{i-\text{гп}}^*(k+1) = F_{i-\text{гп}}^*(k) + 0,25\Delta F_1(k) + 0,1\Delta F_1(k-1),$$

де $\Delta F_1(k) = F_{i-\text{гп}}(k) - F_{i-\text{гп}}^*(k)$ – відхилення поточної (k -ї) оцінки ДЗЧ i -ї міри от значення частоти, що прогнозувалося.

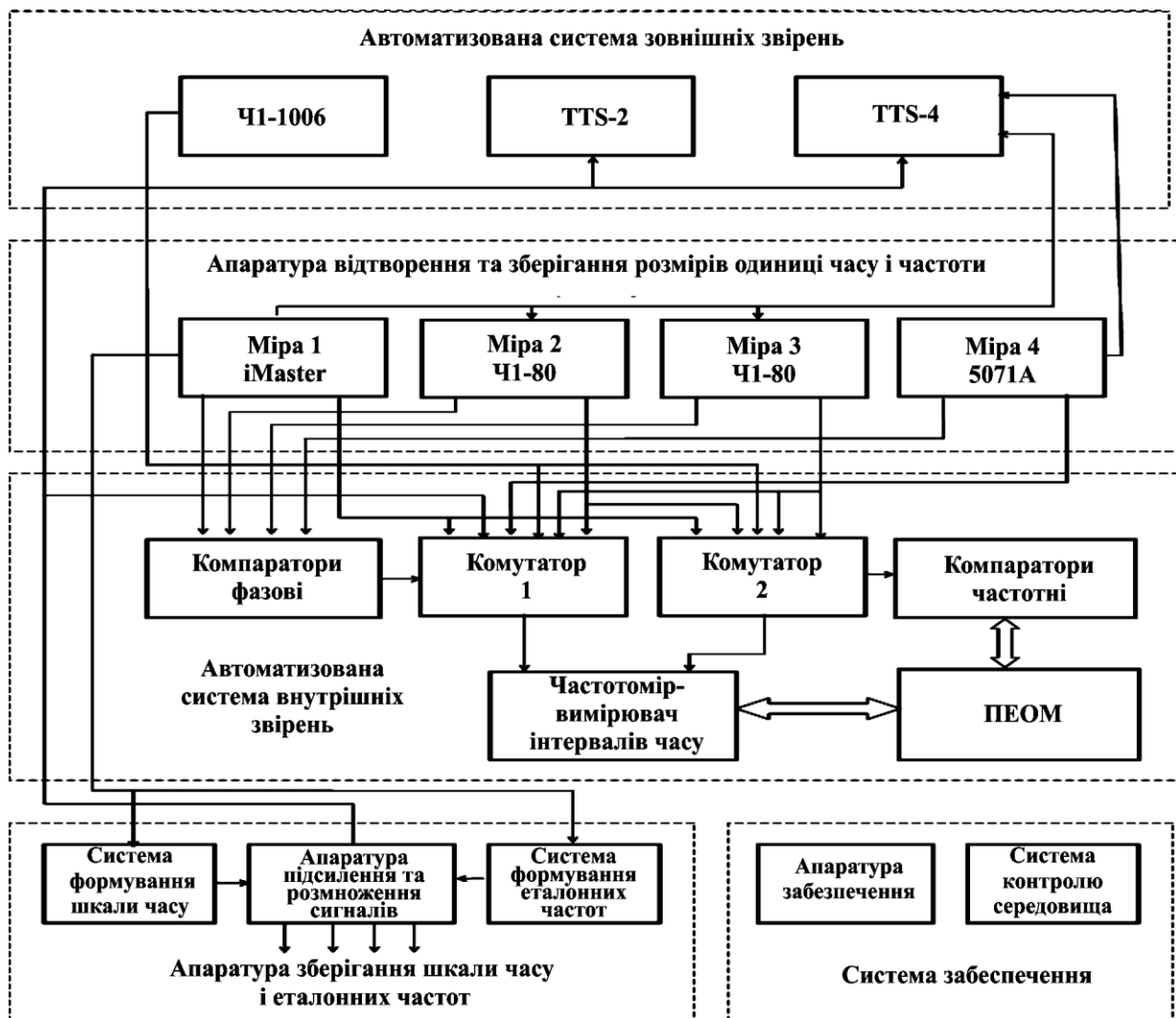


Рис. 2. Структурна схема державного первинного еталона одиниць часу і частоти станом на 2011 рік

Результати прогнозування ДЗЧ мір використовуються під час вирішення питання про доцільність включення окремої міри до складу групової міри. Якщо за якусь добу відхилення частоти окремої міри від прогнозу перевищує значення $5 \cdot 10^{-14}$, то ця міра на поточну добу до групи не включається.

Випадкова відносна похибка $\delta_{гр}$ відтворення дійсного значення частоти еталона груповою мірою, до складу якої входять N рівноточних мір з нестабільністю частоти δ , визначається за формулою:

$$\delta_{гр} = \delta / \sqrt{N}.$$

У випадку нерівноточних мір додатково враховуються статистичні ваги мір у групі, які залежать від значень δ_i цих мір.

Здійснюється ведення національної шкали координованого часу України UTC(UA) згідно з чинною методикою, а також її порівняння з Міжнародною шкалою координованого часу UTC та з національними шкалами часу інших країн з використанням сигналів ГНСС ГЛОНАСС та GPS. Згідно з Рекомендацією Консультативного Комітету з Часу і

Частоти (ССТФ), різниця національної шкали координованого часу UTC(UA) і Міжнародної шкали координованого часу UTC не перевищує значення ± 100 нс. Дані спостережень за сигналами GPS регулярно (щотижня) відправляються за допомогою Інтернету до FTP-сервера ВІРМ. Щомісяця туди ж відправляються відомості про шкали часу окремих атомних годинників еталона (водневих стандартів частоти і часу). У ВІРМ ці дані використовуються сумісно з аналогічними даними інших лабораторій для формування міжнародних шкал атомного часу ТАІ та координованого часу UTC. Результати міжнародних зв'язів державного первинного еталона одиниць часу і частоти України представлені в офіційних виданнях ВІРМ (Circular T) та в КСДВ (ключове зв'язання ССТФ-K001.UTC) на сайті ВІРМ за адресою www.bipm.org.

3. Відтворення та зберігання одиниці довжини в Україні здійснюється шляхом забезпечення функціонування Державного первинного еталона довжини (ДПЕД) України. Метрологічні характеристики еталона знаходяться на рівні національних

еталонів передових зарубіжних країн (РТВ, Німеччина; NIST, США; NPL, Велика Британія; ВНИИМ, Росія та ін.).

У наш час високоточні вимірювання довжини базуються на використанні інтерференційної техніки разом із високо стабільними за частотою лазерними джерелами світла, тому між ДПЕД та ДПЕЧ є функціональний зв'язок. З метою міжнародного визнання Державного первинного еталона одиниці довжини були проведені звірення лазерів, які входять до його складу, з лазерами національних еталонів Німеччини, Білорусі та Словаччини. Для підтвердження похибок інтерференційних установок для вимірювань кінцевих мір довжини виконуються звірення за темами СООМЕТ з Російською Федерацією (ВНИИМ), Німеччиною (РТВ) та Казахстаном (КазИнМетр).

На жаль, проблема забезпечення єдності координатно-часових вимірювань з використанням ГНСС в Україні в цей час недостатньо розроблена, що стосується (хоча й у різному ступені) наукового, технічного та нормативно-методичного аспектів проблеми.

Вітчизняний і закордонний досвід показує, що, незважаючи на деяку екзотичність, цей вид вимірювань може порівняно просто включитися в перевірочну схему для засобів вимірювальної техніки більших довжин. Таким чином, система метрологічного забезпечення для навігації й геодезії базується на сукупності метрологічних полігонів різного рівня від робочих до державного еталону, який відтворює одиницю довжини в діапазоні від десятків метрів до сотень кілометрів.

Геодезичний полігон Національного наукового центру «Інститут метрології» який розташований в селищі Липці має узаконений офіційний статус вторинного еталона довжини для геодезичних і навігаційних застосувань, знаходиться на чолі відповідної перевірочної схеми та отримує розмір одиниці довжини від ДПЕД. До складу Державного еталону одиниці довжини в області великих довжин входять закріплені на місцевості пункти (репери) із пристроями примусового центрування вимірювальних пристроїв і систем.

Діапазон відстаней між пунктами полігону складає від 24 метрів до 35 кілометрів. За час існування еталона був проведений великий обсяг метрологічних робіт, як по дослідженню самого еталона, так і по дослідженню, атестації й перевірці віддалених приладів.

Необхідність уточнити координати пунктів для підвищення точності атестації апаратури ГНСС змусила виконати декілька вимірювальних кампаній.

За результатами порівнянь результатів з різних кампаній виконаних протягом декількох років зроблено висновок, що оцінки випадкової похибки вимі-

рювань координат пунктів, по внутрішній збіжності значно менше, ніж відхилення від офіційних значень координат.

Наявність систематичних розбіжностей свідчить про необхідність повторних вимірювань при використанні різних приймачів, різних програмних пакетів для обробки даних.

Абсолютно необхідним також є використання декількох базових станцій, у першу чергу перманентних станцій ГАО НАНУ - українського фрагмента міжнародних мереж IGS й EUREF. Останнім часом, у зв'язку з появою на ринку послуг землевпорядкувальних робіт із застосуванням ГНСС, на полігоні були проведені випробування декількох типів приймачів. Перспектива розширення обсягу супутникових геодезичних робіт і збільшення кількості суб'єктів підприємницької діяльності, що використовують, ввезену з-за кордону, вимірювальну техніку вимагає збільшення інвестування в розвиток геодезичного полігону ННЦ «Інститут метрології».

Досвід, накопичений при роботах з приймачами ГНСС й іншою геодезичною апаратурою на геодезичному полігоні ННЦ «Інститут метрології», дозволяє підкреслити необхідність закріплення за ним офіційного статусу еталонного полігону для використання в геодезії й суміжних галузях науки.

Після розбудови цей еталон може забезпечувати можливість перевірки сучасної й перспективної апаратури ГНСС у динамічному режимі, надаючи в розпорядження дослідника контрольовані змінні координати та відстані.

Швидкість руху й точність фіксації координат носія з антеною досліджуваної наземної системи визначаються її призначенням.

Діапазон кінематичних параметрів може простиратися від одиниць міліметрів за годину з добовим періодом, для геодезичних систем, використовуваних при моніторингу геодинамічних процесів і до сотень кілометрів у годину для наземних й авіаційних навігаційних систем.

Таким чином, у складі полігона необхідно передбачити пункти із супортами, що рухаються, і траси загальною довжиною кілька десятків кілометрів. Траси, швидкісна, сільська, міська обрані з існуючих елементів дорожньої інфраструктури й перебувають на відстані не більшому сотні кілометрів від базової станції полігона. Контрольним пристроєм, що визначає параметри руху й координати носія, є зразковий приймач ГНСС із состава вимірювальних засобів полігона.

У цей час, на геодезичному полігоні ННЦ «Інститут метрології», продовжується випробування усіх доступних елементів наземного сегмента космічних геодезичних і навігаційних систем, досліджуються характеристики пунктів полігона по стабільності й рівню завад, проводиться систематична

робота з накопичення даних й уточнення координат пунктів полігона й відстаней між ними з використанням оптичних і радіотехнічних засобів [11].

Надзвичайно важливою є постійна робота з оцінки похибок вимірів відстаней і фіксації координат, розробка методів міжвідомчих випробувань, аналіз існуючого стану метрологічного забезпечення ГНСС вимірювань за рубежом.

4. Підвищення рівня метрологічного забезпечення апаратури споживачів (принаймні у тих галузях, де застосування цієї апаратури напряму стосується сфери безпеки праці і охорони довкілля) вимагає постійного розширення кількості споживачів ГНСС, що спостерігалось останніми роками та продовжує і сьогодні. Зазначимо, що за галуззю застосування, згідно статті 20 Закону України “Про метрологію і метрологічну діяльність” до сфери дії державного метрологічного контролю і нагляду (далі – ДМКН) віднесено тільки супутникову геодезичну апаратуру (СГА). Проте, здійснення навігації транспортних засобів на землі, у морі та повітрі напряму стосується і сфери забезпечення безпеки праці та охорони довкілля, які знаходяться у сфері дії вказаної статті Закону.

Поняття метрологічного забезпечення як комплексу заходів із забезпечення єдності вимірювань даного виду може бути поширено тільки на засоби вимірювання. Теж саме можна сказати про метрологічний контроль і нагляд. Проте, у ряді відомчих документів стверджується, що навігаційна апаратура споживача (НАС) не є засобом вимірювань.

Таким чином, проблеми здійснення метрологічного контролю на НАС тісно пов’язані з питанням, чи є ця апаратура засобом вимірювань.

Згідно з ДСТУ 2681 “Метрологія. Основні терміни та визначення” ГНСС, у тому числі апаратура споживача, належить до засобів вимірювань:

- ГНСС в цілому підпадає під визначення “вимірювальна інформаційна система”;
- різні типи НАС, як технічні засоби (пристрої), мають усі ознаки засобів вимірювань і підпадають під одно з визначень: “засіб вимірювань” або “кодовий засіб вимірювань”.

Принцип визначення за допомогою НАС навігаційних параметрів (місцезнаходження у заданій системі координат, напрямку, швидкості руху і часу у встановленій шкалі) з використанням сигналів ГНСС базується на вимірюваннях псевдовідстаней до декількох супутників ГНСС. За результатами цих вимірювань може бути отримано: координати об’єкту у заданий момент часу, параметри руху об’єкту та його просторової орієнтації. Тому будь-яка НАС є засобом вимірювань з нормованими метрологічними характеристиками, встановленими, у тому числі, в ряді міжнародних нормативних документів.

Відповідно до свого призначення, складу вирішуваних задач в різних умовах експлуатації, НАС повинна протягом тривалого часу працювати автономно, надійно зберігаючи високі метрологічні характеристики. Проте, можливість змінювання параметрів НАС протягом життєвого циклу вимагає обов’язкового контролю основних метрологічних характеристик в процесі експлуатації. Тому актуальним стає питання про включення деяких видів НАС до сфери ДМКН.

Проблема уведення державного регулювання забезпечення єдності вимірювань для НАС в Україні ускладнюється необхідністю узгодження позицій ряду відомств, в першу чергу, департаментів Мінтрансу, які відповідають за авіаційні, морські та наземні перевезення. Починаючи з 90-х років минулого століття, Держспоживстандарт неодноразово висував пропозиції про включення до сфери дії ДМКН навігаційної апаратури. Але на шляху реалізації цих пропозицій виникають такі проблеми:

- опір постановці питання про обов’язкове державне регулювання забезпечення єдності вимірювань для НАС з боку ряду відомств;
- необхідність ув’язки уведення ДМКН для НАС з додержанням вимог міжнародних стандартів, правил та норм, розповсюджених на різних видах транспорту;
- ступінь готовності організацій Держспоживстандарту здійсненню функцій ДМКН за НАС.

При розгляді питання про включення НАС до сфери дії державного регулювання забезпечення єдності вимірювань необхідно проробити увесь комплекс проблем, пов’язаних з цією задачею, у тому числі:

- створення еталонів, які увійдуть до Державної повірочної схеми, висхідної до Державного еталона часу і частоти;
- розробку програм випробувань з метою утвердження типу ЗВ;
- розробку методик повірки НАС;
- оснащення територіальних органів Держспоживстандарту необхідними еталонами, забезпеченими засобами повірки;
- проведення акредитації вказаних вище територіальних органів та організацій зацікавлених відомств на право повірки НАС;
- проведення акредитації державних метрологічних центрів Держспоживстандарту на право випробувань з метою утвердження типу як НАС, так і робочих еталонів для їх повірки.

Крім того, слід усвідомити міру відповідальності, яку буде покладено на акредитовані організації у разі розповсюдження ДМКН на НАС.

Відомо три підходи до державного регулювання забезпечення єдності вимірювань характеристик НАС [12]:

– проведення метрологічних робіт на еталонних полігонах і стендах;
 – використання еталонних зразків НАС високої точності (у 2 – 3 рази точніше за досліджувану апаратуру);

– застосування імітаційних технологій.

Ці методи не є альтернативними по відношенню один до одного; кожен з них має свої переваги і недоліки.

Повірку з використанням еталонних полігонів або стендів можна здійснювати лише для тих типів НАС, які без проблем можуть зніматися з носія. При цьому еталонні полігони і стенди можуть і повинні застосовуватись для випробувань НАС з метою підтвердження типу, коли апаратуру ще не встановлено на носій.

Використання для перевірки еталонних зразків НАС – метод, що цілком відповідає прийнятим у метрології положенням і нормам. Для апаратури низької точності легко обрати тип НАС, який має більш високі, ніж у повірюваної НАС, технічні характеристики. Така апаратура без особливих витрат може бути повіреною з використанням існуючої еталонної бази. Процедура перевірки проста і не потребує зняття повірюваної НАС з її носія. НАС повіряється комплектно, як одно ціле (тобто, як сукупність засобів вимірювань, обчислювального пристрою та допоміжних пристроїв). Недоліком цього методу є те, що під час перевірки носій НАС з встановленою на ньому еталонною апаратурою має пройти за яким-небудь маршрутом, що не завжди здійснюється.

Імітаційні методи здебільшого стосуються методів поелементної перевірки. Основне застосування імітаційних технологій – випробування НАС у екстремальних умовах, які важко, (або неможливо) забезпечити в реальності (наприклад, високі швидкості руху носія НАС). Але ці методи можуть бути використаними і для перевірки НАС. Перевагою даної технології є те, що використання імітатора не вимагає переміщення носія НАС. Імітатор не вимагає під час перевірки зняття НАС з носія, але вимагає підключення до входів/виходів, які має НАС, що не завжди доступно.

Для реалізації принципів поелементної атестації важливим є створення адекватних моделей факторів впливу зовнішнього середовища на результати вимірювань. В цьому напрямку в ННЦ «Інститут метрології» виконуються дослідження як традиційних джерел похибок, так і нових, пов'язаних з ефектами вищих порядків малості, які мають бути суттєвими при високоточних вимірюваннях. Мова іде про рефракційні іоносферні ефекти, обумовлені подовженням та просторовим розкидом траєкторій сигналів з різними несучими частотами, а також про ефекти впливу магнітного поля Землі та вищих

членів розкладу в ряд по зворотнім ступеням частоти у співвідношенні для коефіцієнта заломлення іоносфери. Для двохчастотного методу всі ці ефекти описуються співвідношенням [13]

$$L = S_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Delta S_{21} - \Delta D + \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \left[\Delta D_2 - \Delta D_1 + \Delta S_2 - \frac{f_1^2}{f_2^2} \Delta S_1 \right],$$

де ΔD_1 , ΔD_2 – подовження траєкторій; ΔS_1 , ΔS_2 – затримки сигналів (в лінійній мірі) на частотах f_1 та f_2 , відповідно.

Вивчено також ефект спільного (одночасного) впливу тропосфери і іоносфери на затримку сигналу при ГНСС вимірюваннях. Цей ефект є системним і може бути оцінений за допомогою співвідношення [14]

$$\Delta S_{\text{совм}} = \Delta S_{\Sigma} - (\Delta S_{\text{троп}} + \Delta S_{\text{ион}}),$$

де

$$\Delta S_{\Sigma} = \int_{\sigma_{\Sigma}} (n_{\Sigma} - 1) d\sigma;$$

$$n_{\Sigma} = 1 + (n_{\text{троп}} - 1) + (n_{\text{ион}} - 1);$$

$$\Delta S_{\text{троп}} = \int_{\sigma_{\text{троп}}} (n_{\text{троп}} - 1) d\sigma;$$

$$\Delta S_{\text{ион}} = \int_{\sigma_{\text{ион}}} (n_{\text{ион}} - 1) d\sigma;$$

$n_{\text{троп}}$, $n_{\text{ион}}$ – показники заломлення тропосфери та іоносфери, відповідно.

Повертаючись до задачі імітації, слід зазначити, що найкращим рішенням є розумне поєднання різних методів з урахуванням можливостей споживачів НАС та організацій, акредитованих на право їх перевірки.

Висновки

Одним з основних напрямків у забезпеченні єдності координатно-часових вимірювань є підтримання на міжнародному рівні характеристик ДПЕЧЧ, який формує національну шкалу часу UTC(UA), ДПЕД та геодезичного полігону ННЦ «Інститут метрології».

Стають ще більш актуальними питання державного регулювання забезпечення єдності вимірювань характеристик НАС. Для досягнення єдності та потрібної точності, повноти, своєчасності вимірювань при виконанні операцій державного регулювання забезпечення єдності вимірювань характеристик НАС потребує подальшого розвитку взаємопов'язаний комплекс засобів вимірювань, еталонів та спеціальних еталонів (у тому числі еталонних базисних мереж) призначений для створення системи забезпечення єдності вимірювань НАС ГНСС.

У той же час слід відзначити, що не лише ГНСС можливо використовувати для вирішення задач координатно-часового забезпечення, у першу чергу через її слабку стійкість до впливу завад як навмисного, так і ненавмисного характеру. Для підвищення надійності навігаційно-часових визначень об'єктів доцільно комплексне використання сигналів різних систем. Додатковими до сигналів ГНСС можуть бути сигнали радіонавігаційної системи з передавальними пунктами на базі наддовгохвильових (НДХ) радіостанцій та радіонавігаційної системи з передавальними пунктами на базі довгохвильових (ДХ) радіостанцій.

Таким чином, у перспективі, координатно-часове забезпечення доцільно будувати на комплексному використанні вимірювальної інформації від різних навігаційних систем.

Список літератури

1. Гофман-Велленгоф Б. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика: пер. з англ. / Б. Гофман-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз. – К.: Наукова думка, 1996. – 380 с.
2. Соловьєв Ю.А. Системы спутниковой навигации / Ю.А. Соловьєв. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 183 с.
3. Основы спутниковой навигации. Теория и принципы. Системы и обзор приложений. – Thalwil, Switzerland: UBlox, 2007. – 132 с.
4. Азиатские региональные спутниковые навигационные системы и широкозонные дифференциальные подсистемы ГНСС / Ю.А. Соловьєв, В.М. Царев, А.В. Корвин, Д.А. Устюжанин // *Новости навигации*. – 2009. – № 1. – С. 25-33.
5. Система космического навигационно-временного обеспечения Украины и ее место среди европейских сетей мониторинга ГНСС / А.П. Верещак, К.Ф. Волох, Е.Е. Малафеев, Е.И. Махонин, А.Г. Нестерович // *Материалы 2-го Международного форума по радиозлектронике*. – Х.: ХНУРЕ, 2005.
6. Сертифікація системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України / К.П. Волох, Є.І. Махонін, В.М. Романько, О.І. Шевченко, А.Г. Нестерович // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – К.: ЦНДІ НіУ, 2010. – Вип. 1 (13). – С. 13-20.

7. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 113/98-ВР // *Офіційний вісник України*. – 1998. – № 9. – 39 с. (В редакції Закону N 1765-IV від 15.06.2004).

8. JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). – JCGM, 2008. – 90 p.

9. Руководство по выражению неопределенности измерений. – Санкт-Петербург: ВНИИМ, 1999. – 126 с.

10. Неежмаков П.І. Калібрувальні та вимірювальні можливості національних метрологічних інститутів: визначення та процедури JCRB і COOMET з проведення експертизи / П.І. Неежмаков // *Український метрологічний журнал*. – 2010. – № 2. – С. 48-53.

11. Состояние и перспективы работ по метрологическому обеспечению GPS измерений на эталонном полигоне ХГНИИМ / Е.М. Занимонский, В.К. Копыл, Вл.С. Купко, И.В. Лукин, А.В. Прокопов, Г.С. Сидоренко // *Метрологія в електроніці-2000: III Міжнародна науково-технічна конференція: наук. пр. конф., т. 2.* – Х., 2000. – С. 196-198.

12. Красовский П.А. Метрология космических навигационных спутниковых систем: монография / П.А. Красовский. – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2009. – 216 с.

13. Prokopov A. The second Order Refraction Effects for GPS Signals Propagation in Ionosphere / A. Prokopov, A. Zanimonska // *SCAR Report*. – April 2005. – No 23. – P. 25-28.

14. Совместное влияние тропосферы и ионосферы Земли на точность фазовых измерений, осуществляемых с помощью ГНСС / А.И. Горб, А.В. Прокопов, Е.В. Ремаев, О.А. Ремаева // *Український метрологічний журнал*. – 2005. – № 3. – С. 19-22.

Надійшла до редколегії 26.08.2011

Рецензент: д-р техн. наук, доцент О.М. Величко, ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів», Київ, Україна.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АППАРАТУРЫ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

П.И. Неежмаков, А.В. Прокопов, В.Н. Романько

Рассмотрены вопросы обеспечения единства координатно-временных измерений в Украине. Выполнен анализ научных, технических и нормативно-методических аспектов проблемы. Приведена информация о современном состоянии эталонов, необходимых для ее решения.

Ключевые слова: единство измерений, эталон, прослеживаемость, глобальная навигационная спутниковая система, аппаратура потребителей

UNITY ENSURING OF COORDINATE AND TIME MEASURE AT USAGE OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS APPARATURE

P.I. Neezhmakov, A.V. Prokopov, V.N. Romanko

The issues about providing of position-time measurements unity in Ukraine are considered. The analysis of scientific, technical and normatively-methodical aspects of a problem is done. The information about a current state of the standards which is needed for its solution is given.

Keywords: unity of measurements, measurement standard, traceability, global navigation satellite system, user equipment.