

І.Д. Пашкевич<sup>1</sup>, А.Б. Гаврилов<sup>2</sup>, В.М. Романько<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Центральне управління метрології і стандартизації ЗС України, Київ

<sup>2</sup>Науковий метрологічний центр (військових еталонів) ЗС України, Харків

<sup>3</sup>Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків

## АКТУАЛЬНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ КООРДИНАТНО-ЧАСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ ТА ШЛЯХИ ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ

*Висвітлені актуальні метрологічні проблеми координатно-часового забезпечення Збройних Сил України та визначені можливі шляхи їх розв'язання. Вирішити окреслені проблеми можливо за рахунок проведення відповідних дослідно-конструкторських робіт із залученням Національного наукового центру «Інститут метрології», Українського центрального інституту навігації та управління та Державного підприємства «Орізон-Навігація».*

**Ключові слова:** метрологічні проблеми, координатно-часове забезпечення.

### Постановка проблеми

Сучасні темпи розвитку національної науки і техніки в умовах глобалізації світової економіки характеризуються інтенсивним використанням високоточних вимірювань часу і частоти як найбільш поширених і точних, на яких базується система забезпечення єдності вимірювань в державі. Для Збройних Сил (ЗС) України відповідна система координатно-часового забезпечення потрібна для вирішення завдання управління повітряним рухом, рухом наземних транспортних засобів, управління космічними апаратами, випробування нової техніки, забезпечення протимінної безпеки кораблеводіння, підготовка стартових майданчиків для систем ракетно-артилерійського озброєння, керування системами та комплексами ОВТ, а також забезпечення керування системами наведення та цілевказівок високоточної зброї та безпосереднє застосування як окремих підрозділів різного призначення так і військ (сил) в цілому. Відповідно до Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність" міжрегіональну і міжгалузеву координацію та виконання робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі, здійснює Державна служба єдиного часу і еталонних частот (далі – ДСЧЧ). Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 18 липня 1998 р. № 1121 (з внесеними змінами Постановою КМ України від 12 березня 2003 р. № 309) до складу ДСЧЧ входить Метрологічний центр військових еталонів (МЦВЕ) ЗС України.

На виконання Положення про ДСЧЧ у МЦВЕ на базі вихідного еталону ЗС України часу та частоти ВЕВП 15.Ч1 – 01 розгорнуто позаштатний Центр метрологічного контролю на який покладено завдання щодо збереження і застосування із заданими характеристиками вихідного еталона ЗС України часу і частоти, призначеного для збереження шкали UTC (UA) і забезпечення інформацією про час і частоту споживачів силових відомств, а також здійснення моніторингу метрологічних характеристик сигналів частотно-часового поля СРНС. Відповідно

до Положення про Центр метрологічного контролю на регіональні метрологічні військові частини покладені завдання щодо розгортання позаштатних пунктів метрологічного контролю. Але, як показав час, ефективність позаштатного функціонування як Центру так і пунктів метрологічного контролю не відповідає сучасним вимогам, що висуваються до системи координатно-часового забезпечення [1 – 3]. Здійснені заходи в умовах стрімкого реформування ЗС України не досягли кінцевої мети, спрямованої на створення ефективно функціонуючої системи координатно-часового забезпечення Збройних Сил України. Тому виникла необхідність, з огляду на сьогодення, окреслити головні метрологічні проблеми координатно-часового забезпечення ЗС України та запропонувати шляхи їх розв'язання.

### Основна частина

Аналіз відомої літератури [4 – 5] показує, що загальні вимоги до точнісних параметрів координатно-часового забезпечення постійно зростають (табл. 1).

Таблиця 1  
Загальні вимоги до точнісних параметрів КЧЗ

| Рівень характеристик, що мають бути досягненні         |        |        |
|--|--------|--------|
| Найменування характеристики                            | 2005 р | 2010 р |
| Точність астрометричних вимірювань, кут.с              | 0,2–   | 0,02   |
| Точність синхронізації, нс                             | 0,3    | <10    |
| Точність визначення параметрів обертання Землі:        | 20     |        |
| – здвиг полюсів, кут.с                                 |        | 0,003  |
| Космічна геодезія:                                     | 0,01   |        |
| – точність геометричних координат, м                   | 2,5    | 1      |
| – точність вимірювань відстаней, м                     | 0,2    | 0,01   |
| Точність визначення місцезнаходження рухомих об'єктів: |        | <1     |
| – у плані, м   | 50     | <1     |
| – за висотою, м  | 75     | 0,01   |
| Точність вимірювань відстані, м                        | 0,2    |        |
| Точність створення картографічної бази, відн.од.       | 1      | 0,5    |

Виходячи з цього, для досягнення високих точностних характеристик вимірів просторових координат у розвинутих арміях світу та у ЗС України широко застосовується апаратура прийому сигналів від глобальних супутникових радіонавігаційних систем (СРНС), таких як GPS та ГЛОНАСС [5 – 6]. Як і усі радіотехнічні системи, СРНС, поряд із значними перевагами, мають також певні недоліки, що впливають на достовірність радіонавігаційних сигналів і характеризуються погіршенням якості навігаційного обслуговування. Таке погіршення може бути пов'язане як з технічними похибками (вплив атмосфери, вихід з ладу бортової апаратури тощо), так і з навмисним внесенням «володарем» СРНС похибок для зниження точностних характеристик систем координатно-часового забезпечення «нелояльних» споживачів [7]. До основних споживчих вимог, що висуваються до радіонавігаційних супутникових систем є вимоги [4, 5]: до розміру робочої зони СРНС; щодо доступності СРНС; щодо цілісності СРНС; щодо безперервності функціонування СРНС; щодо пропускну спроможності СРНС; щодо точності, дискретності та визначення місцеположення та параметрів руху об'єктів.

Враховуючи те, що Україна не є володарем жодної СРНС, однією з ключових проблем забезпечення достовірності того, що СРНС задовольняє вищенаведені вимоги є необхідність проведення постійного моніторингу якості (цілісності) метрологічних характеристик навігаційних сигналів СРНС та оповіщення споживачів про погіршення (недостовірність) навігаційного обслуговування з наданням відповідної коригуючої інформації.

Оцінка параметрів точності, дискретності, визначення місцеположення та параметрів руху об'єктів показує, що ці параметри визначаються високими вимогами до формування системної шкали часу і її збереження під час всього терміну функціонування (експлуатації) системи. При цьому, точностні характеристики апаратури контролю системної шкали часу супутникових систем повинні бути негіршими ніж характеристики бортової апаратури.

Основні вимоги МО України щодо точності частотно-часової інформації наведено в табл. 2. Основні характеристики деяких типів супутникових бортових стандартів частоти наведені у табл. 3. Аналіз даних з табл. 2 та 3 показує, що необхідна точність прив'язки або синхронізації шкал часу різних об'єктів складних технічних систем знаходиться в межах від одиниць наносекунд, при зверненнях еталонів часу та частоти і синхронізації шкал часу пунктів радіоінтерферометрів з наддовгими базами, до одиниць мілісекунд в системах часу технічної точності (транспортні, енергетичні, часові та інші).

На сьогодні, існуючий у ЗС України позаштатний Центр та пункти метрологічного контролю не мають як можливості постійного контролю якості (цілісності) метрологічних характеристик навігаційних сигналів СРНС (неможливість цілодобового чергування), а відповідно і оперативного оповіщен-

ня споживачів про погіршення (недостовірність) навігаційного обслуговування, так і сучасної апаратури з потрібними точностними характеристиками.

Тому однією із метрологічних проблем координатно-часового забезпечення ЗС України є як невирішеність організаційних питань функціонування у штатному режимі підрозділів ЗС України призначених для здійснення постійного моніторингу якості (цілісності) метрологічних характеристик навігаційних сигналів СРНС, так і забезпечення їх всією необхідною апаратурою, яка використовується для здійснення моніторингу метрологічних характеристик сигналів частотно-часового поля СРНС з потрібною точністю.

Номенклатура апаратури споживачів супутникових навігаційних систем GPS та ГЛОНАСС поділяється на дві основних групи: супутникову геодезичну апаратуру (СГА), яка функціонує у диференційному та відносному режимах з використанням як кодових, так і фазових вимірювань із забезпеченням високоточних визначень збільшень координат між точками установлення антен приймачів; супутникову навігаційну апаратуру (СНА), яка працює в кодовому режимі та призначена для визначення координат місцезнаходження та вектора швидкості споживача в глобальній системі координат. Для прикладу, в Російській Федерації (яка, до речі є володарем СГНС «ГЛОНАСС») СГА та СНА відносяться до засобів вимірювальної техніки та підлягають безумовному державному метрологічному контролю та нагляду.

На сьогодні Метрологічна служба МО України та ЗС України за браком технічного оснащення не здійснює метрологічне обслуговування СГА та СНА.

Зрозуміло, що проблема метрологічного забезпечення випробувань та перевірки супутникових геодезичних та перевірки супутникових навігаційних систем, користувачем яких є ЗС України потребує вирішення. Тому другою, не менш важливою проблемою є те, що з огляду на високі вимоги, які висуваються до навігаційної апаратури споживачів щодо якості навігаційних та часових вимірювань, швидкості їх отримання, достовірності (вірогідності) при короткочасному зникненні навігаційних сигналів та в інших випадках, що призводять до спотворень, виникає необхідність як у проведенні випробувань, так і в метрологічній атестації супутникової геодезичної та навігаційної апаратури [7, 8]. У дійсний час особливо гостро стоїть питання синхронізації частот різних систем керування [1] (в тому числі і бойового) та зв'язку через те, що синхронізація частот цих систем має важливе значення для забезпечення їх сумісності, цілісності та автономності. Тому зазначені системи потрібно забезпечувати синхронізацію від вихідного еталона ЗС України одиниць часу і частоти. З огляду на це, третьою важливою метрологічною проблемою координатно-часового забезпечення ЗС України є забезпечення потрібної точності системного часу в інформаційних комп'ютерних мережах ЗС України (АСУ «Дніпро» та інш.) та систем військового зв'язку та управління, насамперед, цифрових.

Основні вимоги МО України щодо точності частотно-часової інформації

| № з/п | Споживачі  | Задачі, які вони вирішують  | Вимоги до точності |                         |
|-------|--|---|--------------------|-------------------------|
|       |  |   | часу, мкс          | частоти                 |
| 1     | Еталони часу та частоти  | Зберігання розмірів одиниць та шкал часу  | 0,001 – 0,01       | $10^{-13}$ – $10^{-14}$ |
| 2     | Радіоінтерферометри з наддовгими базами  | Фундаментальні наукові дослідження  | 0,01 – 0,05        | $10^{-13}$ – $10^{-14}$ |
| 3     | Космічні комплекси, системи керування космічними апаратами   | Траєкторні та орбітальні вимірювання, телеметрія, обмін інформацією   | 0,02 – 50          | $10^{-11}$ – $10^{-13}$ |
| 4     | Випробувальні полігони. Полігонні вимірювальні комплекси   | Траєкторні вимірювання, телеметрія  | 0,1 – 50           | $10^{-9}$ – $10^{-14}$  |
| 5     | Ракетні комплекси, автоматизовані системи керування ракетною зброєю  | Навігація, корекція ШНС, керування ракетною зброєю  | 0,1 – 50           | $10^{-10}$ – $10^{-14}$ |
| 6     | Системи керування авіацією. Авіаційні комплекси навігації та зв'язку   | Навігація удалини та поблизу аеродромів, відносна навігація, розвідка, цілеуказання                             | 0,01 – 100         | $10^{-9}$ – $10^{-13}$  |
| 7     | Радіотехнічні засоби навігації та зв'язку ВМФ і пункти керування та контролю   | Навігація удалини та поблизу берегів та портів, дослідження морських ресурсів, зв'язок, керування               | 0,5 – 1000         | $10^{-8}$ – $10^{-13}$  |
| 8     | Комплекси ППО та ПРО, системи контролю космічного простору   | Розпізнавання, цілеуказання, керування зброєю   | 0,5 – 1000         | $10^{-7}$ – $10^{-12}$  |
| 9     | Системи керування наземним транспортом, КП та вузли зв'язку  | Місце визначення, відносна навігація, зв'язок, обмін інформацією, керування наземним транспортом                | 0,02 – 1000        | $10^{-8}$ – $10^{-12}$  |
| 10    | Геодезичні та топографічні комплекси та мережі, геодинамічні полігони, системи сейсмографії, геоінформаційні системи | Геодезична та топографічна прив'язка об'єктів, сейсмондування, сейсмозйомка, картографування, кадастрова зйомка | 0,01 – 10          | $10^{-11}$ – $10^{-14}$ |
| 11    | Системи цифрового зв'язку  | Надійність, виключення похибок та перерв у зв'язку  |                    | $10^{-11}$ – $10^{-12}$ |

Таблиця 3

Основні характеристики деяких типів супутникових бортових стандартів

| Характеристика                            | Кварцовий стандарт частоти                  | Атомні стандарти частоти       |                                       |                     |
|---|---|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
|   |   | Рубідієвий                     | Цезієвий                              | Водневий            |
| Маса, кг                                  | 1,35  | 2,25                           | 13,5                                  | 33,7                |
| Енергоспоживання, Вт                      | 2,0   | 13,0                           | 25,0                                  | 30,0                |
| Об'єм, дм <sup>3</sup>                    | 1,13  | 1,13                           | 11,3                                  | 28                  |
| Відносна нестабільність частоти (за добу) | $5 \times 10^{-10}$ ... $1 \times 10^{-10}$ | $1 \times 10^{-12}$            | $1 \times 10^{-13}$                   | $1 \times 10^{-14}$ |
| Температурний коефіцієнт частоти (1/°C)   | $2 \times 10^{-11}$                         | –                              | –                                     | –                   |
| Фактори, що обмежують термін служби       | Старіння кварцу                             | Погіршення характеристик лампи | Рівень шумів атомно-променевої трубки | Запас водню         |

Вихідний еталон ЗС України часу та частоти ВЕВП 15.Ч1 – 01 експлуатується в МЦВЕ ЗС України і має наступні основні метрологічні характеристики: частоти, які відтворюються та зберігаються, Гц:  $1; 1 \cdot 10^5; 1 \cdot 10^6; 5 \cdot 10^6$ ; середня відносна зміна частоти за одну добу при  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  не більше  $\pm 1 \cdot 10^{-12}$ ; відносна похибка за частотою в міжповітряний інтервал часу 1 рік не більше  $\pm 3,65 \cdot 10^{-10}$ ; середня квадратична випадкова варіація частоти за добу при  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  не більше  $3 \cdot 10^{-12}$ ; середнє квадратичне відхилення результатів звірення пересувного стандарту частоти і часу зі складу ВЕВП з державним первинним еталоном не більше  $5 \cdot 10^{-12}$ ; середнє квадратичне відносне відхилення частоти при  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ : за 1 с –  $2 \cdot 10^{-11}$ ; за 10 с –  $1,4 \cdot 10^{-12}$ ; середня квадратична випадкова варіація частоти за добу при  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  не більше  $6 \cdot 10^{-12}$ ; сумарні квадратичні відхилення результатів звірень ВЕВП 15.Ч1-01 з державним первинним еталоном  $S_{\Sigma\text{в}}$  не більше  $1 \cdot 10^{-12}$ ; границя допустимої абсолютної похибки визначення часу  $|\Delta T| \leq 1$  мс.

Головною проблемою при виконанні завдань щодо збереження і застосування із заданими характеристиками вихідного еталона ЗС України часу і частоти є недостатні його точнісні характеристики [2, 3]. Досягнення потрібного рівня метрологічних характеристик вихідного еталону ЗС України часу та частоти зумовлює необхідність його удоскона-

лення в напрямку організації та забезпечення функціонування незалежного (автономного) постійного каналу звірення з Державним еталоном часу та частоти. Це дасть можливість надати вихідному еталону ЗС України статус військового вторинного еталону України, а за умов створення спеціальної апаратури, здійснювати постійне забезпечення споживачів достовірною частотно-часовою інформацією.

Не менш важливим є рішення організаційних питань щодо створення штатних Центру (на базі МЦВЕ ЗС України) та пунктів метрологічного контролю (на базі регіональних метрологічних військових частин) для забезпечення автономності, цілісності та незалежності моніторингу радіонавігаційного поля, яке використовується ЗС України та надання відповідних повідомлень споживачам із формуванням необхідних поправок. В напрямку розв'язання проблеми метрологічного забезпечення супутникової навігаційної апаратури, яка застосовується у ЗС України, необхідно забезпечити МЦВЕ ЗС України комплексом засобів вимірювань для перевірки супутникової геодезичної та перевірки супутникової навігаційної апаратури.

Головну складову такого комплексу повинен очолювати імітатор сигналів GPS та ГЛОНАСС, який призначений для визначення метрологічних характеристик супутникової навігаційної апаратури, а також перевірки її відповідності заданим технічним характеристикам на етапах розробки, сертифікації, виробниц-

тва та експлуатації [7, 8]. За допомогою імітатора можна моделювати із визначеними похибками супутникову групівку GPS/ГЛОНАСС, умови розповсюдження сигналів та рух військової техніки. Важливою особливістю формування навігаційних сигналів за допомогою імітатора є можливість формування як «ідеальної супутникової групівки без похибок, так і «реальної групівки» – з похибками, які притаманні реальним космічним апаратам. Імітатор дозволяє здійснювати моделювання руху таких об'єктів як танк, корабель, літак із урахуванням наявних швидкостей, прискорень, висот, переважань та таке інш.

Подальший розвиток окресленого напрямку бачиться у створенні на базі МЦВЕ ЗС України геодезичного пункту – спеціального (робочого) еталону координат у системі ITRF-WGS-84, ПЗ-90, СК-42 [8].

Рішення проблеми синхронізації частот різних систем керування та зв'язку у ЗС України теж безпосередньо пов'язане з вихідним еталонем ЗС України часу та частоти. Для забезпечення сумісності, автономності, цілісності такі системи потрібно забезпечувати синхронізацію від вихідного еталона ЗС України одиниць часу і частоти з використанням первинного часового серверу та відповідного програмного забезпечення й апаратури зв'язування.

### Висновки

Вирішити окреслені проблеми можливо за рахунок проведення відповідних дослідно-конструкторських робіт із залученням Національного наукового центру «Інститут метрології», Українського центрального інституту навігації та управління та Державного підприємства «Орізон-Навігація».

За результатами цих робіт має бути удосконалений вихідний еталон ЗС України часу та частоти та створені на його основі: технічна система метрологічного моніторингу сигналів СРНС з метою забезпечення цілісності навігаційного поля; апаратура метрологічного забезпечення СГА та СНА, з метою досягнення потрібної точності, повноти, своєчасності та оперативності й достовірності контролю параметрів супутникових геодезичних та навігаційних систем; сервер часу для забезпечення передачі розмірів одиниць часу та частоти від вихідного еталону ЗС України до технічних засобів АСУ та зв'язку, які використовуються у ЗС

України. Створені при цьому, вторинний еталон України часу та частоти військового призначення, комплекс моніторингу навігаційного поля, комплекс метрологічного забезпечення СГА та СНА, а також система часофікації дозволять забезпечити якісне використання ЗС України навігаційного поля СРНС GPS та ГЛОНАСС, достовірність та якість функціонування СГА та СНА на всіх етапах їх життєвого циклу, передачу розмірів одиниць часу та частоти до споживачів з потрібною точністю і за підсумком забезпечити цілісність, автономність, оперативність та незалежність координатно-часового забезпечення Збройних Сил України.

### Список літератури

1. Романько В.М., Хомяков Е.М., Черепков С.Т. Развитие системы метрологического обеспечения радионавигационных полів супутникових систем // *Космічна наука і технологія*. – 2001. – Т. 7, № 4. – С. 122-125.
2. Романько В.М., Черепков С.Т. Развитие системы частотно-часового обеспечения Збройних Сил України // *Український метрологічний журнал*. – 2004. – Вип. 1. – С. 58-63.
3. Камінський В.Ю., Романько В.М. Проблемы обеспечения едності вимірювань часу та частоти у Збройних Силах України та шляхи їх вирішення // *Наука і оборона*. – 1998. – Вип. 3. – С. 43-47.
4. Концепція створення та експлуатації системи навігаційно-часового забезпечення України на період 2000-2005 рр. – Національне космічне агентство України. – 29 с.
5. Кошевой А.А. Общегосударственная политика по разработке Радионавигационного плана Украины // *Космічна наука і технологія*. – 2000. – Т. 7, № 4. – С. 5-11.
6. Буров С.А., Урличич Ю.М., Улисков Е.А., Гвоздев В.В. Опыт внедрения технологий высокоточного спутникового позиционирования // *Геопрофи*. – 2004. – № 4. – С. 6-9.
7. Донченко С.И., Денисенко О.В., Царев В.М., Волченков В.П. Комплекс средств измерений для испытаний аппаратуры потребителей космических навигационных систем ГЛОНАСС и GPS // *Новости навигации*. – 2004. – № 2. – С. 9-12.
8. Состояние и перспективы развития эталонной базы и прецизионных средств измерений координат и времени / И.А. Шайко, А.М. Кудрявцев, С.И. Донченко, А.В. Пастухов, Ю.А. Клейменов, Г.П. Пашев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vpk-news.ru>.

Надійшла до редколегії 4.06.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АКТУАЛЬНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

И.Д. Пашкевич, А.Б. Гаврилов, В.Н. Романько

*Рассмотрены актуальные метрологические проблемы координатно-временного обеспечения Вооруженных Сил Украины и определены возможные пути их решения. Решить очерченные проблемы возможно за счет проведения соответствующих опытно-конструкторских работ с привлечением Национального научного центра «Институт метрологии», Украинского центрального института навигации и управления и Государственного предприятия «Оризон-навигация».*

**Ключевые слова:** метрологические проблемы, координатно-часовое обеспечение.

### METROLOGICAL THE ISSUE OF THE DAY OF CO-ORDINATE-SENTINEL PROVIDING OF MILITARY POWERS OF UKRAINE AND WAY OF THEIR DECISION

I.D. Pashkevich, A.B. Gavrilov, V.N. Romanko

*In this article metrological the issue of the day of the co-ordinate-sentinel providing of Military Powers of Ukraine is lighted up and the possible ways of their decision are certain. Working out outlined problems is possible due to conducting of the proper опытно-конструкторских works with bringing in of the National scientific center «Institute of метрологии», Ukrainian central institute of navigation and management and State enterprise «Оризон-навигация».*

**Keywords:** metrological problems, co-ordinate-sentinel providing.