

УДК 621.81:621.753.2

А.Б. Гаврилов

Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТА ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АПАРАТУРИ СПОЖИВАЧІВ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ, ЯКА ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ІНТЕРЕСАХ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

В даній статті обґрунтований склад технічного комплексу метрологічного забезпечення експлуатації супутникової навігаційної та супутникової геодезичної апаратури. Наведені основні технічні вимоги до складових частин комплексу. Наведена структурна схема комплексу. Результати роботи використані при обґрунтуванні Державного оборонного замовлення на розробку (закупівлю) ОВТ на 2009 рік.

Ключові слова: *технічний комплекс, супутникова навігаційна апаратура, геодезична апаратура.*

Постановка проблеми та аналіз літератури

Відомо, що для сучасних збройних сил, в тому числі і для Збройних Сил (ЗС) України існує значна кількість специфічних військових завдань, вирішення яких потребує застосування супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) GPS/ГЛОНАСС [1 – 3].

Апаратуру СРНС GPS/ГЛОНАСС поділяють на три основні групи [4]:

1. Супутникова геодезична апаратура (СГА), яка за рахунок як кодових, так і фазових вимірювань забезпечує високоточні визначення приросту координат між опорною та точкою, координати якої визначається.

2. Супутникова навігаційна апаратура (СНА), застосування якої дозволяє визначати місцезнаходження об'єкта, його вектор швидкості в глобальній системі координат та синхронізації шкали часу апаратури з координованою шкалою часу України.

3. Спеціальна апаратура, що забезпечує синхронізацію шкали часу та видачу високостабільних сигналів частот бортових квантових мір частоти.

Для Збройних Сил України, з огляду на те, що Україна не є володарем СРНС, метрологічного забезпечення потребують перші дві групи апаратури.

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» СГА належить до сфери державного метрологічного контролю і нагляду, що включає:

- затвердження типу засобів вимірювань;
- повірку (атестацію) засобів вимірювань, у тому числі еталонів;
- ліцензування діяльності юридичних і фізичних осіб з виготовлення, ремонту і прокату засобів вимірювань;
- контроль за випуском, станом і застосуванням засобів вимірювань, еталонами фізичних величин, дотриманням метрологічних правил і норм.

Таке особливе ставлення держави до геодезичних робіт обумовлено рядом обставин. Від достовір-

ності геодезичних вимірів залежить безпека населення (надійність складних інженерних споруд, контроль деформацій гребель, мостів, фундаментів атомних електростанцій), правові відносини власності юридичних і фізичних осіб (установлення границь землекористувачів), охорона навколишнього середовища (контроль стану нафтових та газопроводів) і економічна ефективність будівництва індустріальними методами (забезпечення допусків при монтажі стандартних конструкцій, стикування зустрічних штолень і т.д.).

СНА в Україні формально не належить до сфери дії державного метрологічного контролю і нагляду. Але, з огляду на високі точнісні вимоги та важливість завдань, вирішення яких у ЗС України забезпечується використанням СНА [2], ця апаратура повинна проходити метрологічну атестацію (повірку).

Для прикладу, в Російській Федерації (яка, до речі, є володарем СРНС ГЛОНАСС) як навігаційна апаратура, так і геодезична відносяться до засобів вимірювальної техніки та підлягають безумовному державному метрологічному контролю та нагляду, а, відповідно проходити періодичну повірку [5].

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

Метрологічне обслуговування СГА та СНА в органах Держспоживстандарту коштує в середньому 1500 грн. за комплект!

Виходячи з цього, проблема метрологічного забезпечення випробувань та повірки супутникових геодезичних та супутникових навігаційних систем, користувачем яких є ЗС України потребує вирішення, насамперед, за рахунок створення відповідного апаратурного комплексу.

Таким чином, ціллю статті є визначення вимог до складу та основних характеристик комплексу технічних засобів метрологічного забезпечення апаратури споживачів супутникових радіонавігаційних систем, яка використовується в інтересах Збройних Сил України.

Основна частина

За результатами аналізу досвіду та підходів до метрологічного контролю параметрів сучасних високоточних супутникових приймачів [6, 7]: головним завданнями, які потрібно вирішувати при метрологічному обслуговуванні СГА та СНА є:

- оцінка реальної точності як довжин базисних ліній різної довжини, так і координатних визначень;
- оцінка похибок диференціальних вимірів, характерних не тільки для двох однотипних одночасно працюючих приймачів, але і для одночасно працюючих приймачів різного типу (різних виробників);
- визначення оптимальної тривалості сеансу спостережень для забезпечення необхідного рівня точності;
- дослідження впливу різних джерел помилок як не залежних від довжини вимірюваної лінії, так і пропорційних її довжини;
- дослідження параметрів антенних пристроїв, зі складу СГА та СНА.

Узагальнені та уточнені вимоги з урахуванням [5] наведені у табл. 1. За результатами аналізу вихідних даних з табл. 1, перспективних вимог до точносних характеристик СНА та СГА [2], а також оцінки апаратурних можливостей закордонних аналогів [8] можна визначити, що комплекс апаратури з метрологічного забезпечення СНА та СГА повинен забезпечувати достовірність визначення:

1. Похибки вимірювання координат (статичних та в русі):

- середня квадратична похибка визначення координат відносно опорних пунктів геодезичної мережі на стоянці, не більше 0,017 м ;
- похибка формування координат в русі, не більше ± 5 м.

2. Похибка вимірювання швидкості у діапазоні вимірювання швидкостей від 0 до 250 км/год, не більше $\pm 0,02$ м/с.

3. Похибка синхронізації системної шкали часу відносно шкали координованого часу UTC (UA), не більше ± 10 нс.

Для забезпечення визначення точносних характеристик СГА та СНА, яка використовується та може бути використана у ЗС України з урахуванням досвіду функціонування відповідного аналогу [4, 8], до складу апаратурного комплексу мають бути включені наступні технічні засоби:

- військовий вторинний еталон України частоти та часу;
- вихідний еталон ЗС України координат;
- вихідний еталон ЗС України довжини;
- прецизійна апаратура споживачів супутникових радіонавігаційних систем;
- засоби імітації сигналів супутникових радіонавігаційних систем;
- засоби вимірювання часових параметрів імпульсів;
- засоби компарування вихідних частот приймача радіонавігаційних сигналів та еталона часу та частоти;

– програмно-обчислювальний комплекс (засоби обчислювальної техніки та спеціалізоване програмне забезпечення);

- комплекс вимірювання швидкості рухомих об'єктів (засіб переміщення та системи вимірювання його швидкості);
- допоміжне обладнання для забезпечення функціонування комплексу еталонів та засобів вимірювань;
- комплект проектно-монтажної та експлуатаційної документації щодо створення та забезпечення сталого функціонування робочого місця.

Крім того, враховуючи значний вплив як штучних (навмисних), так і ненавмисних завад [9], до складу комплексу повинні бути включені технічні засоби моніторингу та виявлення радіозавад.

Виходячи з того, що робота СНА та СГА базується на вимірі часу проходження сигналами шуканих відстаней (чи різниці відстаней), а перехід до довжин таких відстаней здійснюється через відоме значення швидкості поширення електромагнітних хвиль у вакуумі, то при еталонуванні згаданих систем використовується ланцюг передачі розміру одиниці фізичної величини від Державного первинного еталону часу, частоти і довжини. Державний еталон забезпечує точність передачі розміру одиниці часу і частоти на рівні 3×10^{-14} . Зв'язаний з ним військовий вторинний еталон України з урахуванням знання швидкості електромагнітних хвиль відкриває можливість метрологічного контролю засобів лінійних вимірів з відносною погрішністю на рівні 1×10^{-9} . Остання величина і визначає ту потенційну точність виміру довжин ліній, що характерна для найбільш точних засобів виміру відстаней як на земній поверхні, так і в просторі. Цей рівень точності дозволяє реалізувати побудову сучасного глобального референтного каркаса (ITRF) з погрішністю на рівні 1×10^{-8} .

З огляду на це, пункти даного каркаса, координати яких щорічно перевизначаються зі згаданою вище точністю, можуть бути використані для метрологічного забезпечення створюваних локальних (робочих) метрологічних полігонів як на державному, так і на відомчому рівні.

Таким чином, випробувальний геодезичний полігон має складатися з геодезичного пункту – еталону координат в системах WGS-84, ПЗ-90, СК-42; геодезичних базисів; екранованої камери для проведення випробувань на електромагнітну сумісність.

Для здійснення повірки СНА та СГА необхідно забезпечити формування радіочастотного сигналу, який, має бути еквівалентний повному сумісному навігаційному полю GPS/ГЛОНАСС та Galileo.

Для цього, з урахуванням даних з табл. 1, імітатор супутникових радіонавігаційних сигналів повинен забезпечувати наступні вимоги:

- спроможність імітувати сигнали СРНС GPS, ГЛОНАСС, Galileo;
- кількість каналів імітації не менше 40;
- похибка встановлення несучої частоти не більше 75 Гц;

Таблиця 1

Узагальнені та уточнені вимоги

Споживачі	Задачі, що вирішуються	Робоча зона	Похибка місця визначення (СКВ)	Доступність	Цілісність
П О В І Т Р Я Н І	Польоти по маршруті (трасі)	Глобальна Регіональна	0,25–5,8 км	0,99–0,99999	$1-10^{-7}/\Gamma$ (15с)
	Польоти в зоні аеродрому	Район аеродрому	370 м	0,99–0,99999	$1-10^{-7}/\Gamma$ (15с)
	Некатегорований захід на посадку	Район аеродрому	110 м	0,99–0,99999	$1-10^{-7}/\Gamma$ (10с)
	Захід і посадка по категоріям ИКАО	Зона засобів посадки	2,0–8,5 м 0,3–2м (Н)	0,999–0,99999	$1-2 \times 10^{-7}$ $1-2 \times 10^{-9}$, (6–1 с)
	Спецзадачі, геодезичні і географічні спостереження	Локальна	1–10 м	0,999	0,999
М О Р С Ь К І	В районах океанського плавання	Глобальна	50 м	0,998 за 30 діб	10 с
	В районах прибережного плавання при невисокій інтенсивності руху судів	Регіональна	5 м	0,995 за 2 роки	10 с
	При плаванні в портах, на підходах до них і в прибережній зоні з високою інтенсивністю руху судів	Локальна	5 м	0,998 за 2 роки	10 с
	По всьому Мировому океану (перспект)	Глобальна	10 м	0,998–0,9997	10 с
	Акваторії портів, спец. роботи	Локальна	0,05–0,5 м	0,998–0,9997	10 с
Р І Ч Н І	Рух судів по внутрішніх водних шляхах: – вільні ріки – канали – розміщення знаків, картографія і т.д.	райони рік р-ни каналів р-ни рік, каналів	5–15 м 3–5 м 0,25–3 м	0,999 0,999 0,99	0,99 0,99 0,9
	Рух наземного транспорту по довільних маршрутах (одиначні засоби і угруповання)	Регіональна, локальна	100 м	0,99	0,95
	Рух наземного транспорту по встановлених маршрутах (одиначні засоби і угруповання)	Регіональна, локальна	100 м	0,99	0,95
Н А З Е М Н І	Рішення спец. задач	Локальна	5–15 м	0,99	0,95
	Картографія і геодезія, земле-впорядження	Глобальна, регіональна, локальна	0,02–0,03 м 0,02–0,05 м 3–6 мм	--	--
	КА зв'язку і ретрансляції		200 м		
К О С М І Ч Н І	КА навігаційного забезпечення		3–5 м		
	КА геодезичного забезпечення		3–5 м		
	КА системи виявлення об'єктів, що терплять біду		33 м		
	КА геофізичного забезпечення		17–50 м		

– похибка формування псевдодальності не більше 8 см;

– динамічний діапазон вихідного сигналу повинен становити 150...110 дБВт;

– дискретність встановлення вихідного рівня – 0,5 дБВт;

– похибка встановлення вихідного рівня $\leq 0,5$ дБ; спроможність імітації до 3-х рухомих носіїв у єдиному навігаційному полі;

– динамічні характеристики при моделюванні рухомих носіїв: швидкість 0...12000 м/с; прискорення 0...600 м/с²; ривок 0...500 м/с³;

– мати вмонтований високостабільний квантовий стандарт частоти ($F = 10$ МГц, короткочасна

нестабільність – $\leq 10^{-11}$, похибка встановлення частоти $\leq 5 \times 10^{-9}$, похибка формування системної шкали часу – ≤ 50 нс.);

– системи координат, що використовуються:
WGS- 84, ПЗ-90, ПЗ-90.02, ITRF.

Структурну побудову комплексу апаратури для метрологічного забезпечення СГА та СНА споживачів наведено на рис. 1.

Природньо зазначити, що існує ще одна проблема, яка стосується нормативного забезпечення метрологічних робіт, пов'язаних з перевіркою (атестацією) та випробуваннями СГА та СНА. Проблеми нормативного забезпечення та шляхи їх вирішення будуть розглянуті в наступних публікаціях.

Висновки

Проблему метрологічного забезпечення експлуатації СГА та СНА в ЗС України можливо вирішити за рахунок розробки спеціального комплексу технічних засобів метрологічної атестації (повірки) апаратури споживачів. В роботі визначені вимоги до складу та основні характеристики комплексу технічних засобів метрологічного забезпечення апаратури споживачів супутникових радіонавігаційних систем, яка використовується в інтересах Збройних Сил України.

Апаратну реалізацію зазначеного комплексу технічних засобів пропонується здійснити за рахунок відкриття відповідної дослідно-конструкторської роботи. Основними труднощами при розробці цього комплексу багачиться створення спеціального геодезичного полігону.

Матеріали статті використані при обґрунтуванні пропозицій до Державного оборонного замовлення на розробку ОВТ у 2009 році.

Список літератури

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: Т. 1 / ГОУ ВПО "Сибирская государственная геодезическая академия". – М.: ФГУП "Картгеоцентр", 2005. – 334 с., с ил.
2. Пашкевич І.Д., Гаврилов А.Б., Романько В.М. Актуальні метрологічні проблеми координатно-часового забезпечення збройних сил України та шляхи їх розв'язання // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУ ПС. – 2008. – Вип. 2 (14). – С. 64-67..
3. Пашкевич І.Д. Основи метрологічного забезпечення у сфері оборони на сучасному етапі // Наука і оборона. – К.: – 2007. – Вип. 4. – С. 35-39.
4. Метрологическое обеспечение навигационной аппаратуры потребителей сигналов космических навигационных систем ГЛОНАСС и GPS / С.И. Донченко и др. // Информация и космос. – 2005. – № 1. – С. 24-28.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ, КОТОРАЯ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В ИНТЕРЕСАХ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ**

А.Б. Гаврилов

В данной статье обоснован состав технического комплекса метрологического обеспечения эксплуатации спутниковой навигационной и спутниковой геодезической аппаратуры. Приведены основные технические требования к составным частям комплекса. Приведена структурная схема комплекса. Результаты работы использованы при обосновании Государственного оборонного заказа на разработку (закупку) ВВТ на 2009 год.

Ключевые слова: технический комплекс, спутниковая навигационная аппаратура, геодезическая аппаратура.

**DETERMINATION OF COMPOSITION AND BASIC DESCRIPTIONS OF COMPLEX OF HARDWARES
OF METROLOGICAL PROVIDING OF APPARATUS OF USERS OF SATELLITE RADIO NAVIGATIONAL SYSTEMS, WHICH IS
USED IN BEHALF OF MILITARY POWERS OF UKRAINE**

A.B. Gavrilov

Composition of technical complex of the metrological providing of exploitation of satellite navigation and satellite geodesic apparatus is grounded in this article. The basic technical requirements are resulted to component parts of complex. The flow diagram of complex is resulted. Job performances are used for the ground of the Government defensive order for development (purchase) of armament of military technique on 2009.

Keywords: technical complex, satellite navigation apparatus, satellite geodesic apparatus.

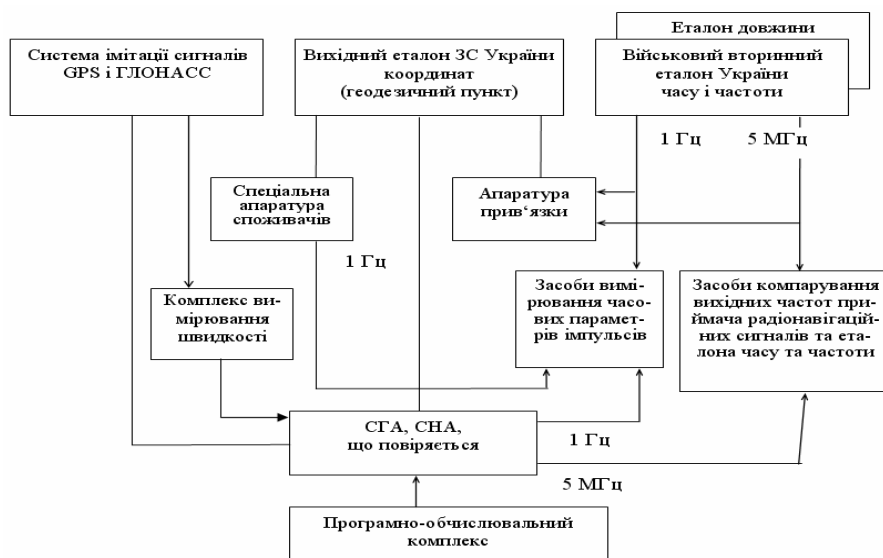


Рис. 1. Структурна побудова комплексу апаратури для метрологічного забезпечення СГА та СНА споживачів

5. Царев В.М., Жолнеров В.С., Соловьев Ю.А. Основные положения третьей редакции Российской радионавигационного плана // Новости навигации. – 2006. – № 3. – С. 15-25.

6. Генике Л.А., Бланк Л.М., Чудновский В.С. О методах метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2002. – № 12. – С. 25-29.

7. Генике А.А., Бланк Л.М. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14-18.

8. Комплекс средств измерений для испытаний аппаратуры потребителей космических навигационных систем ГЛОНАСС и GPS / С.И. Донченко, О.В. Денисенко, В.М. Царев, В.П. Волченков // Новости навигации. – 2004. – № 2. – С.9-12.

9. Коротонико А.Н., Перунов Ю.М. Устойчивость и радиотехническая защищенность транспортных систем, использующих точную спутниковую навигация // Новости навигации. – 2006. – № 3. – С. 26-32.

Надійшла до редколегії 7.07.2008

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