

<https://doi.org/10.15407/knit2024.05.075>
УДК 621.3

М. І. ЛИСИЙ¹, д-р техн. наук, доцент, проф. кафедри

E-mail: lisiy3152@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9858-706X

В. А. СОБЧЕНКО¹, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедри

ORCID: 0000-0001-7864-0321

С. В. ПАРТИКА¹, старш. виклад. кафедри

ORCID: 0000-0003-4071-8503

А. М. ЛИСИЙ², аспірант

ORCID: 0009-0001-0065-9740

¹Національна академія Державної прикордонної служби імені Б. Хмельницького
вул. Шевченка 46, Хмельницький, Україна, 29007

²Хмельницький національний університет
вул. Інститутська 11, Хмельницький, Україна, 29016

КРИТИЧНА ІНФРАСТРУКТУРА НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ ОРБІТАЛЬНИМ СУПУТНИКОВИМ УГРУПОВАННЯМ

Статтю присвячено визначенню пріоритетності об'єктів наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням як об'єктів критичної інфраструктури рф. Застосування високоточної зброї, засобів навігації, зв'язку, управління, транспорту все більше залежать від функціонування орбітального супутникового угруповання. До складу наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням Міністерства оборони рф входять Центр управління польотом і понад десятка стаціонарних командно-вимірювальних пунктів. Апаратура наземного комплексу управління орбітальним угрупованням вимагає жорсткої прив'язки за просторово-часовими параметрами функціонування, особливо для засобів Глобальної навігаційної супутникової системи, що, в свою чергу, визначає ефективність наведення високоточної зброї, визначення цілевказівок та розташування об'єктів, функціонування засобів зв'язку, транспортної системи та інших засобів, у складі яких є відповідні навігаційні приймачі. Для космічних апаратів, і у першу чергу для апаратів Глобальної навігаційної супутникової системи, актуальною є проблема наявності бортової шкали часу високої стабільності, що визначається функціонуванням засобів системи єдиного часу, яка є невід'ємною складовою як наземного комплексу управління, так і орбітального угруповання. У найзагальнішому вигляді основу системи єдиного часу наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням складають розподілені на території рф еталони часу і частоти, розміщені переважно у наземних командно-вимірювальних пунктах та вимірювальних лабораторіях. Система єдиного часу — найбільш резервована технічна система, яка на найвищому рівні ієрархії класів точності еталонів частоти формується як групова міра. Тому найбільш значимі об'єкти управління орбітальним угрупованням обладнуються груповими еталонами, що можна вважати критерієм віднесення об'єктів наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням до критичної інфраструктури рф. Визначено ієрархічну послідовність значимості для критичної інфраструктури рф об'єктів системи єдиного часу комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням, що враховує об'єкти ГЛОНАСС, безпосередньо еталони Державної служби часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі рф, а також еталони комплексу «Квазар КЧЗ».

Ключові слова: наземний комплекс управління орбітальним супутниковим угрупованням, критична інфраструктура, система єдиного часу.

Цитування: Лисий М. І., Собченко В. А., Партика С. В., Лисий А. М. Критична інфраструктура наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням. *Космічна наука і технологія*. 2024. **30**, № 5 (150). С. 75—86. <https://doi.org/10.15407/knit2024.05.075>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

ВСТУП

Постановка проблеми. До критичних об'єктів інформаційної інфраструктури належать інформаційні, телекомунікаційні та інформаційно-телекомунікаційні системи реального часу (спостереження, навігації, автоматизації управління технологічними процесами, системи військового, оборонно-промислового призначення тощо) [7].

Орбітальне супутникове угруповання рф — це сукупність всіх космічних апаратів країни, що загалом можна поділити на об'єкти соціально-економічного, наукового, військового або подвійного призначення. Функціонуванням орбітального супутникового угруповання здійснюється в інтересах розвитку систем зв'язку, транспорту, навігації, управління, військової справи та в інших галузях господарювання.

Активно використовуються супутники у військовій справі, при цьому забезпечується:

- контроль використання країнами світу космічного простору;
- контроль повітряного простору, моніторинг суші, водної поверхні;
- отримання достовірної інформації про противника з всієї території ведення бойових дій, тилових районів та оперативне доведення її до всіх органів управління військами;
- застосування високоточної зброї, що сприяє досягненню воєнних цілей з мінімальними затратами і збитками для цивільного населення та навколишнього середовища.

Орбітальне супутникове угруповання рф нараховує понад 200 космічних апаратів різного призначення, управління якими здійснюється в основному наземним комплексом, що є сукупністю взаємопов'язаних технічних засобів з інформаційним та математичним забезпеченням, споруд, центру управління польотом космічних апаратів та окремих командно-вимірювальних пунктів.

Очевидно, можна припустити, що найбільш значимі об'єкти наземного комплексу управління є важливою складовою критичної інфраструктури рф. За визначенням критична інфраструктура — це об'єкти, які є надзвичайно важливими для функціонування суспільства та

економіки країни. До такої інфраструктури у першу чергу належать об'єкти оборони, а також ті, що забезпечують життєво важливі послуги та комунікацію.

Саме тому актуальним є визначення сукупності найбільш значимих об'єктів управління орбітальним угрупованням, встановлення зав'язків між ними та перспектив розвитку.

Незважаючи на досить широкий спектр призначення супутників як цивільного, так і військового призначення спільним для надійного функціонування будь-якого космічного апарата різних супутникових систем є забезпечення високостабільною шкалою часу. Таке забезпечення здійснює Державна служба часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі рф, яка є постійно функціонуючою системою технічних засобів і організацій низки міністерств і відомств, об'єднаних загальною науково-технічною і метрологічною діяльністю з безперервного відтворення, зберігання і доведення до споживачів розмірів одиниць часу і частоти та національної шкали часу, забезпечення єдності частотно-часових вимірювань.

Найбільш значимими галузями використання високостабільної шкали часу є:

- космічні навігаційні та геодезичні системи;
- системи та комплекси високоточного позиціонування;
- безпілотна і пілотована авіація, залізничний транспорт;
- системи зв'язку та передачі даних.

Основною складовою Державної служби часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі рф є Державна система єдиного часу та еталонних частот «Ціль» Міністерства оборони рф (скорочено система єдиного часу), яка по суті і здійснює просторово-часове забезпечення функціонування космічного орбітального угруповання, а також більшої частини цивільних засобів і всіх засобів озброєння і військової техніки.

Передача сигналів просторово-часового забезпечення для споживачів здійснюється наземними засобами, а також Глобальною навігаційною супутниковою системою (ГЛОНАСС), управління якою також здійснюється відповід-

ним сегментом наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням. Значимість надійного функціонування даної системи очевидна. Наприклад, досягнення високої точності наведення ракетних комплексів рф «Іскандер» до 7 м, «Калібр» до 5 м, «Кинджал» до 1 м здійснюється за допомогою сигналів ГЛОНАСС, що в свою чергу залежить від стабільності шкали часу, яка формується системою єдиного часу.

Тому актуальним завданням, вирішення якого дозволить приймати раціональні рішення щодо зміцнення обороноздатності нашої країни, є встановлення зв'язків між найбільш значимими об'єктами системи єдиного часу рф для управління орбітальним супутниковим угрупованням, їхньої територіальної розподіленості та перспектив розвитку як важливої складової критичної інфраструктури рф, що і є метою нашої роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наземний комплекс управління є добре організованою ієрархічною структурою з централізованим управлінням, яке здійснюється з Головного випробувального центру випробувань та управління космічними засобами. У складі наземного комплексу управління Міністерства оборони рф функціонують Центр керування польотом, понад десятка стаціонарних командно-вимірювальних пунктів. Стаціонарні командно-вимірювальні пункти розміщені вздовж території рф у містах або поблизу населених пунктів Щелково, Краснознаменск, Красное село, Малоярославець, Улан-Уде, Єнісейськ, Колпашево, Воркута, Якутськ, Комсомольськ-на-Амурі, Уссурійськ, Єлізово, Барнаул [8].

Важливим є визначення пріоритетності окремих об'єктів наземного комплексу управління і віднесення найбільш значимих до критичної інфраструктури. Для управління орбітальним угрупованням у рф переважно використовується наземний комплекс управління космічними апаратами Міністерства оборони. Крім того, для керування космічними апаратами наукового та господарського призначення, забезпечення польотів космічних апаратів пілотованих програм та керування комерційними космічними апаратами використовуються комплекси та засоби

різних державних відомств та комерційних організацій. Загалом наземний комплекс управління Міністерства оборони рф забезпечує управління 85...87 % космічними апаратами орбітального угруповання рф [10].

Усі технічні засоби командно-вимірювальних пунктів можна поділити за функціональною ознакою на такі основні групи:

- керування польотом космічних апаратів;
- засоби інформаційного обміну споживачів із космічними апаратами;
- засоби зв'язку та передачі даних між Центром управління польотом та об'єктами командно-вимірювальних пунктів;
- засоби системи єдиного часу [8].

Функціонування всіх перерахованих груп засобів, крім останньої, реалізується за допомогою використання в основному різних типів приймально-передавальних радіотехнічних станцій взаємодії з космічними апаратами. Засоби командно-вимірювальних пунктів по суті є окремими військовими частинами з розміщеними на території кількома десятками будівель та встановленими характерними для супутникового зв'язку антенами. Управління здійснюється на основі вихідної технологічної інформації про робочі літери частот бортової апаратури, номери кодів командної інформації, балістичних даних про орбіти супутників. При цьому виконується захоплення сигналу з космічного апарата при вході його в зону радіовидимості та перехід в режим стійкого супроводу для проведення інформаційного обміну та траєкторних вимірювань.

Після закінчення сеансів зв'язку вимірювальні пункти видають у Центр результати виконання програми роботи засобів командно-вимірювального пункту та характеристику якості прийнятої з космічного апарата інформації.

Для діапазону висот орбіти космічних апаратів від 200 до 1000 км, у межах якого лежать орбіти більшості космічних апаратів ближнього космосу, радіуси зон радіовидимості будуть у межах від 1000 до 3000 км. Максимальна тривалість сеансу зв'язку наземного комплексу управління з низькоорбітальними апаратами, а це засоби розвідки у воєнній сфері, спостереження за надзвичайними ситуаціями тощо, становить близько 10...15 хв

залежно від висоти орбіти та за умови, що траєкторія польоту проходить через точку розташування наземного командно-вимірювального пункту. Незначна тривалість сеансу зв'язку зумовлює суттєві труднощі у забезпеченні глобальності та безперервності інформаційної взаємодії як щодо керування польотом космічними апаратами, так і передачі та прийому цільової інформації. Дану проблему вирішено розподіленістю більш ніж десятка наземних командно-вимірювальних пунктів на території РФ, що забезпечує надійність і резервування такої системи управління.

Для космічних апаратів середнього космосу на високоеліптичних орбітах з апогеєм до 100 тис. км, зокрема апаратів ГЛОНАСС та для геостаціонарних космічних апаратів, інтервал радіовидимості з наземного комплексу суттєво збільшується до кількох годин. З урахуванням цієї умови кількість наземних комплексів, що залучаються для управління, може бути скорочена до одного-двох за відповідного їхнього розташування на поверхні Землі [9].

Таким чином, апаратура наземного комплексу управління космічним орбітальним угрупованням вимагає точної прив'язки за просторово-часовими параметрами функціонування, особливо для засобів ГЛОНАСС. Крім того, параметри орбітального руху навігаційних космічних апаратів для споживача виражаються через функцію часу. Зазвичай корекція бортової шкали часу відбувається з певною періодичністю при її відхиленні від системної шкали часу понад допустиме значення. В іншому випадку можлива втрата керування польотом, а також спотворення передачі та прийому цільової інформації.

З початком повномасштабної війни проти України в РФ активізувалася робота щодо підвищення ефективності, захищеності системи єдиного часу, окремі об'єкти якої, з одного боку, належать до критичної інфраструктури, а з іншого — сама система є визначальною для низки об'єктів критичної інфраструктури у багатьох галузях.

Як відзначається у публікації [1], зміна воєнно-політичної обстановки, зміна моделей загроз безпеці, вдосконалення засобів і методів радіоелектронної протидії і, у зв'язку з цим, можливе

придушення або спотворення сигналів системи ГЛОНАСС, вимагають перегляду наявного підходу до частотно-часового забезпечення з урахуванням розширенням кола споживачів інформації системи єдиного часу. Для забезпечення споживачів у критичних галузях економіки, зокрема в системах управління транспортом, телекомунікаційних системах, енергетичному комплексі, банківській сфері тощо, єдиною шкалою часу у різні періоди воєнно-політичної обстановки виникає потреба у розвитку системи єдиного часу РФ.

Суть пропонованого у роботі [1] розвитку системи єдиного часу полягає в об'єднанні різних за призначенням, за підпорядкуванням засобів, що формують і передають шкалу часу, у міжвідомчу групу частотно-часового забезпечення з єдиним центром управління.

Проте в інформаційних джерелах недостатньо чітко конкретизовано, які з об'єктів наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням є найбільш значимими для критичної інфраструктури, які зв'язки між ними, які критерії віднесення об'єкта до критичної інфраструктури.

Це, очевидно, пояснюється всебічним опрацюванням загальних підходів оцінювання критичної інфраструктури і зокрема інформаційної [4], де розглянуто визначення належності до критичної інфраструктури об'єктів, окремі критерії загального застосування. Проте питанню опису інформаційних ознак об'єктів космічної галузі як об'єктів критичної інфраструктури в роботі не приводиться. Також важливим аспектом досліджень критичної інфраструктури є визначення місцеположення потенційно небезпечних об'єктів, і особливо у зоні збройного конфлікту [2]. Проте питанню визначення значимості об'єктів критичної інфраструктури у певній галузі господарювання в роботі не приділялось уваги. Крім того, здебільшого дані щодо об'єктів критичної інфраструктури є закритими.

У роботі [5] розглянуто напрямки модернізації системи єдиного часу при використанні каналів передачі даних систем супутникового зв'язку та супутникової навігаційної системи ГЛОНАСС. Максимальні точності визначення параметрів орбіти, часових параметрів необхідно для функ-

ціонування космічних апаратів навігаційної космічної системи, оскільки від цього залежить точність визначення місцеположення споживачами таких навігаційних даних, зокрема і високоточною зброєю. Сучасні навігаційні космічні апарати системи ГЛОНАСС рф, розмішені на орбітах висотою близько 20 тис. км, повинні забезпечувати точність навігації споживачів на поверхні Землі та навколоремному просторі менше метра. Такою ж, і навіть вищою, має бути точність ефемеридного забезпечення зазначених систем.

З цією метою для формування поправок часових, навігаційних даних ГЛОНАСС, функціонально до наземного комплексу включено фундаментальний сегмент у складі розподіленої радіоінтерферометричної системи з наддовгою базою типу комплексу «Квазар-КЧЗ» (координатно-часове забезпечення) [6].

Отже, для багатьох космічних апаратів актуальною є проблема наявності високостабільної бортової шкали часу, що є завданням функціонування засобів системи єдиного часу. Тому саме об'єкти даної системи є найбільш значимими з погляду функціонування критичної інфраструктури наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Система єдиного часу і еталонних частот — це сукупність еталонів частоти, засобів формування шкали часу і синхронізації, що забезпечує споживачів сигналами єдиного часу, еталонними частотами. Найбільшій стабільності шкали часу потребує ГЛОНАСС, де використовуються бортові синхронізатори, побудовані на основі цезієвих чи водневих атомних стандартів частоти, які мають добову нестабільність частоти порядку 10^{-14} . Для підтримання настільки високої стабільності створюються складні бортові апаратні комплекси, що забезпечують функціонування атомного стандарту в умовах постійної температури, мінімального впливу зовнішніх та внутрішніх електромагнітних полів, виключення вібрацій. Це призводить до збільшення масогабаритних параметрів апаратів та їхньої вартості. При цьому для забезпечення синхронізації бортової шкали часу із наземною опорною шка-

лою на рівні одиниць, десятків наносекунд потрібно здійснювати від одного до кількох сеансів зв'язку з опорною наземною шкалою часу на добу. В окремих публікаціях цей час вказується ще меншим.

ГЛОНАСС можна розглядати як складову системи єдиного часу, як джерело точного часу із застосуванням її для синхронізації бортових шкал часу інших супутникових систем та отримання сигналів високостабільної частоти. Це дозволяє відмовитися від використання складних і дорогих бортових атомних стандартів частоти на бортах різних космічних апаратів, крім космічних апаратів ГЛОНАСС. Використання синхронізації бортової шкали часу за сигналами системи ГЛОНАСС дозволяє розвантажити і спростити наземний контур управління орбітальним угрупованням та забезпечити можливість реалізації тривалого автономного функціонування космічних апаратів на геостационарній та високоеліптичній орбітах в умовах, коли космічні апарати довгий час перебувають поза зоною видимості наземних командно-вимірювальних пунктів і коли неможливо забезпечити синхронізацію традиційним способом [1].

Тому питання частотно-часового забезпечення циркуляції інформації в космічних каналах зв'язку є найважливішим, це стосується функціонування всіх ланок космічних засобів і споживачів, стійкість роботи яких повністю залежить від засобів системи єдиного часу. Очевидно, найбільш значущими для сталого функціонування всього орбітального супутникового угруповання з перерахованих засобів наземного комплексу управління є засоби системи єдиного часу. Отже, сама система єдиного часу як для космічної системи, так і для ряду інших систем може розглядатися як одна з важливих галузей критичної інфраструктури.

Основу системи єдиного часу рф складають радіотехнічні засоби формування шкали часу та еталонних частот [4]:

- 1) державний первинний еталон одиниць часу, частоти та національної шкали часу ДЕТ 1-2022 (державний еталон);
- 2) військові групові еталони одиниць часу та частоти (ВЕ-31, ВЕ-33);



Рис. 1. Груповий еталон частоти і часу радіоастрономічної обсерваторії на основі трьох водневих стандартів частоти Ч1-1035



Рис. 2. Центр управління системою ГЛОНАСС

3) еталон одиниць часу та частоти Центрального синхронізатора космічної навігаційної системи ГЛОНАСС;

4) державні вторинні та робочі стандарти часу та частоти.

5) еталони одиниць часу та частоти комплексу «Квазар-КЧЗ» радіоінтерферометра з наддовгими базами.

Останній пункт розглядається як перспектива розвитку системи єдиного часу рф. До складу

апаратури комплексу входять три розподілені по території рф радіоастрономічні обсерваторії: «Світле» (Приозерський район Ленінградської області), «Зеленчуцька» (Карачаєво-Черкесія), «Бадари» (Бурятія). На кожній обсерваторії встановлено груповий еталон частоти і часу, що складається з трьох водневих стандартів частоти Ч1-1035 з добовою нестабільністю частоти менш ніж $5 \cdot 10^{-16}$ і забезпечує функціонування радіоінтерферометричної системи (рис. 1).

Саме наявність групового еталону частоти і часу на об'єктах системи єдиного часу можна вважати критерієм віднесення їх до критичної інфраструктури. Щодо комплексу «Квазар КЧЗ», то до критичної інфраструктури можна віднести два з трьох еталонів частоти, що визначається функціональною потребою формування однієї інтерферометричної розподіленої бази вимірювань.

Розглянемо коротко характеристику кожної із складових системи єдиного часу рф.

Еталон ДЕТ 1-2022 застосовується як вихідний зразок одиниць часу та частоти на території рф, забезпечує незалежне відтворення та зберігання одиниць часу, частоти та національної шкали часу з найвищою точністю, а також їхню передачу національним, вторинним, робочим зразкам вимірювань часу та частоти. У 2022 році в рф прийнято нові засоби відтворення, зберігання та передачі одиниць часу та частоти, які увійшли до складу державного первинного еталону одиниць часу, частоти та національної шкали часу ДЕТ 1-2022 [3]:

- комплекс засобів відтворення та зберігання одиниць часу та частоти на основі оптичних реперів частоти з систематичною похибкою відтворення одиниці частоти в оптичному діапазоні не більше, ніж 10^{-17} ;

- комплекс зберігання національної шкали часу рф на основі шести водневих стандартів частоти нового покоління із добовою нестабільністю частоти не більше, ніж $3 \cdot 10^{-16}$;

- репер частоти фонтанного типу на основі охолоджених атомів рубідію з систематичною похибкою відтворення одиниці частоти не більше, ніж $2 \cdot 10^{-16}$;

- комплекс високоточних засобів порівнянь національної шкали координованого часу

UTC(SU) рф із шкалою часу системи ГЛОНАСС із похибкою порівняння шкал часу ± 1.5 нс.

Усі перелічені засоби організаційно входять у Федеральне державне унітарне підприємство «Всеросійський науково-дослідний інститут фізико-технічних та радіотехнічних вимірювань», що розташовується в «Головному метрологічному центрі Державної служби часу, частоти і визначення параметрів обертання Землі» (Московська область, м. Солнечногорськ, робоче селище Менделєєво).

Державний первинний еталон одиниць часу, частоти та національної шкали часу ДЕТ 1-2022 є основою формування національної шкали часу рф, зокрема і для озброєння і військової техніки. Проте в особливий період воєнно-політичної обстановки функції формування та зберігання опорної шкали часу виконує військовий груповий еталон одиниць часу та частоти у складі:

- військовий еталон одиниць часу і частоти ВЕ-33, який можна розглядати як первинний еталон. Організаційно входить до Автоматизованого центру управління системою «Ціль» Державної системи єдиного часу та еталонних частот (м. Краснознаменськ, військова частина 32103);

- військовий еталон одиниць часу і частоти ВЕ-31, який можна розглядати як первинний еталон. Організаційно входить до Федеральної державної бюджетної установи «Головний науковий метрологічний центр» Міністерства оборони рф (м. Митищі);

- вторинний еталон одиниць часу і частоти Центрального синхронізатора системи ГЛОНАСС (м. Щолково).

Саме ГЛОНАСС обумовлює ефективність наведення високоточної зброї, визначення цілевказівок та розташування об'єктів, засобів у складі яких є відповідні навігаційні приймачі. ГЛОНАСС включає підсистему космічних апаратів, наземний комплекс управління і підсистему споживачів. Управління орбітальним угрупованням ГЛОНАСС, а це до 30 супутників з врахуванням резервних, здійснює наземний комплекс управління, який включає в себе:

- 1) Центр управління системою ГЛОНАСС (м. Краснознаменськ), рис. 2;



Рис. 3. Квантова оптична система (КОС) «Сажень-Т», м. Щолково



Рис. 4. Центральний синхронізатор, м. Щолково

- 2) радіотехнічні станції управління, квантово-оптичні станції корекції траєкторної інформації (розміщуються на командно-вимірювальних пунктах, у тому числі і у м. Щолково), рис. 3;

- 3) центральний синхронізатор (м. Щолково), рис. 4;

- 4) навігаційна система контролю фаз сигналів (м. Щолково);

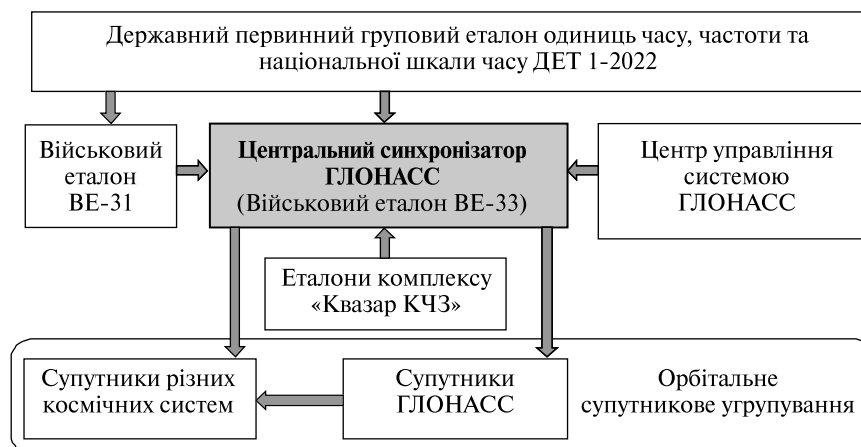


Рис. 5. Загальний функціональний зв'язок між об'єктами критичної інфраструктури наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням

5) апаратура контролю навігаційного поля (м. Щолково).

Центр управління системою та мережа радіотехнічних станцій управління розташовуються в командно-вимірювальних пунктах, які розосереджені по всій території рф. Наземний комплекс управління здійснює збір, накопичення та обробку траєкторної та телеметричної інформації про всі супутники системи та видачу на кожен супутник команд керування та навігаційної інформації. Траєкторна інформація періодично калібрується за допомогою лазерних далекомірів квантово-оптичних систем, а супутники ГЛОНАСС оснащені лазерними відбивачами. Для правильного функціонування системи важлива синхронізація всіх процесів. Тому у складі ГЛОНАСС передбачено Центральний синхронізатор, основою якого є елемент системи єдиного часу високоточний водневий груповий еталон частоти VE-33. Даний еталон є основним еталоном для всіх споживачів Міністерства оборони рф у будь-які періоди воєнно-політичної обстановки і синхронізується з первинним еталоном ДЕТ 1-2022. Крім того, додатково уточнення навігаційних даних ГЛОНАСС здійснюється комплексом «Квазар КЧЗ».

Державні вторинні і робочі еталони одиниць часу і частоти повністю залежать від роботи розглянутих вище еталонів і періодично синхронізуються із ними.

Найважливішим елементом ГЛОНАСС є Центральний синхронізатор, який є джерелом первинних сигналів системи єдиного часу, що утворюються на основі еталонних генераторів і за допомогою засобів зв'язку передаються на командно-вимірювальні пункти, де використовуються для синхронізації вторинних робочих еталонів частоти. Сигнали останніх, у свою чергу, передаються на всі радіотехнічні станції командно-вимірювального пункту, зокрема на станції (засоби, системи) управління ГЛОНАСС, і здійснюють синхронізацію їхньої роботи. Наразі у складі системи єдиного часу наземного комплексу управління використовуються місцеві еталони частоти на основі квантових стандартів із відносною добовою нестабільністю частоти 10^{-14} .

За шкалу системного часу ГЛОНАСС прийнято умовну безперервну шкалу часу, що формується на основі шкали часу Центрального синхронізатора ГЛОНАСС. Центральний синхронізатор має груповий водневий стандарт частоти, добова нестабільність якого становить менш ніж 10^{-15} . Опорною шкалою часу системи ГЛОНАСС є національна координована шкала часу рф UTC(SU).

Значимість формування високостабільної шкали часу і частоти можна пояснити на прикладі: при нестабільності генератора частоти космічного апарата 10^{-13} похибка його «годин-

ника» за добу буде становити 8 нс. Якщо поправки до шкали системного часу ГЛОНАСС не менше двох разів на добу закладаються на борт кожного супутника, тоді похибка становитиме 4 нс, у перерахунку на метри розташування об'єкта на місцевості похибка місцеположення становитиме до 1 м. У дослідженні [11] зазначається про розробку алгоритму, що дає можливість зниження помилки позиціонування на 60...80 % для всіх координат та забезпечення точності позиціонування до 3.6 м.

Підсумовуючи зазначене вище, на рис. 5 у вигляді схеми показано загальний функціональний зв'язок між об'єктами критичної інфраструктури наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням.

У 2023 році проводились випробування нового водневого стандарту частоти навігаційних супутників ГЛОНАСС, який дозволить збільшити точність як мінімум на порядок, тобто до 0.1 м за добу. Така модернізація космічних апаратів ГЛОНАСС збільшить період автономності функціонування без суттєвого зменшення точності навігаційно-часового забезпечення високоточного озброєння та інших споживачів сигналів системи єдиного часу. Отже, сьогодні ГЛОНАСС може функціонувати автономно кілька днів, забезпечуючи споживачів даними. При завершенні модернізації космічних апаратів ГЛОНАСС, очевидно, період автономності збільшиться на порядок.

Тому, очевидно, пріоритетними об'єктами критичної інфраструктури наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням рф є об'єкти системи єдиного часу, а саме: військові та державні групові еталони одиниць часу та частоти, від стабільності роботи яких залежить функціонування вторинних стандартів на всіх командно-вимірювальних пунктах, а також Центру управління ГЛОНАСС, обсерваторій комплексу «Квазар-КЧЗ». Отже, нижче подамо ієрархічну послідовність значимості для критичної інфраструктури рф об'єкти системи єдиного часу комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням.

1. Груповий еталон одиниць часу та частоти Центрального синхронізатора космічної навігаційної системи ГЛОНАСС (м. Щолково).

2. Груповий військовий еталон одиниць часу та частоти ВЕ-33, який організаційно входить до Автоматизованого центру управління системою «Ціль» Державної системи єдиного часу та еталонних частот, а також Центр управління системою ГЛОНАСС (м. Краснознаменськ, військова частина 32103).

3. Груповий військовий еталон одиниць часу і частоти ВЕ-31. Організаційно входить до Федерального державного бюджетного закладу «Головний науковий метрологічний центр» Міністерства оборони рф (м. Митищі);

4. Державний первинний груповий еталон одиниць часу, частоти та національної шкали часу ДЕТ 1-2022 (Московська область, м. Солнечногорськ, робоче селище Менделєєво).

5. Групові еталони одиниць часу і частоти радіоастрономічних обсерваторій «Світлоє» (Приозерський район Ленінградської області), «Зеленчуцька» (Карачаєво-Черкесія), «Бадари» (Бурятія) комплексу «Квазар-КЧЗ».

ВИСНОВКИ

Застосування високоточної зброї, засобів навігації, зв'язку, управління, транспорту все більше залежать від функціонування орбітального супутникового угруповання, яке у свою чергу потребує забезпечення стабільною шкалою часу і частоти, що здійснюється засоби системи єдиного часу.

У найзагальнішому вигляді основу системи єдиного часу наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням складають розподілені на території рф еталони часу і частоти, розміщені переважно у наземних командно-вимірювальних пунктах та вимірювальних лабораторіях. Система єдиного часу — найбільш резервована технічна система, яка на найвищому рівні ієрархії класів точності еталонів частоти формується як групова міра. Тому найбільш значимі об'єкти управління орбітальним угрупованням обладнуються груповими еталонами, що можна вважати критерієм належності об'єктів наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням до критичної інфраструктури рф.

Основу навігаційного забезпечення застосування високоточної зброї, навігації, управління,

транспорту становить використання сигналів ГЛОНАСС. Особливістю даної системи є розміщення на бортах її космічних апаратів, а це до 30 супутників, високостабільних еталонів часу і частоти, що дозволяє застосовувати дану систему як альтернативу вторинним, робочим еталонам системи єдиного часу господарського і військового призначення. Тому першими об'єктами в ієрархії значимості для критичної інфраструктури наземного комплексу управління слід вважати групові еталони часу і частоти ГЛОНАСС.

Визначено ієрархічну послідовність значимості для критичної інфраструктури рф об'єктів системи єдиного часу комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням, що враховує об'єкти ГЛОНАСС, безпосередньо еталони Державної служби часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі рф, а також еталони комплексу «Квазар-КЧЗ».

Подальші напрямки дослідження стосуватимуться оцінки автономності функціонування системи єдиного часу наземного комплексу управління орбітальним супутниковим угрупованням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Блинов И. Ю., Бандура А. С., Батура А. С., Белов Л. Я., Дружин В. Е., Крупская А.В., Скобелин А. А., Тюляков А. Е. Система единого времени российской федерации – преодоление новых вызовов. *Радионавигация и время*. Тр. СЗРЦ Концерна ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ». 2022. 10, № 18. С. 8–20.
2. Герасимюк О. В., Лисий М. І., Бабій Ю. О., Ткачук П. С., Байков О. Б. Методика визначення місцеположення потенційно-небезпечних об'єктів у зоні регіонального збройного конфлікту. *Зб. наук. праць НАДПСУ. Сер. військ. та техн. науки*. 2018. № 3 (77). С. 209–221.
3. Донченко С. И. (2023). Совершенствование государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени в интересах развития систем и средств координатно-временного и навигационного обеспечения потребителей. «*Радионавигация и время 2023*»: Мат. конф. (Санкт-Петербург, 29–30 июня 2023 г.). URL: https://rirt.ru/wp-content/uploads/2023/07/23_11_KS1_30.06_NIIFTRI_Fedotov.pdf. (дата звернення: 03.05.2024).
4. Категорирование объектов критической информационной инфраструктуры. Методические рекомендации. Step-Logic, 2019. 149 с. URL: <https://cisoclub.ru/wp-content/uploads/bp-attachments/180060/metodikastepkiobnovlennaya.pdf> (дата звернення: 03.05.2024).
5. Ковальский А. А., Афонин Г. И., Терещенко С. В. Предложения по основным направлениям модернизации системы единого времени наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами. *Тр. МАИ*. 2017. № 97. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predlozheniya-po-osnovnym-napravleniyam-modernizatsii-sistemy-edinogo-vremeni-nazemnogo-avtomatizirovannogo-kompleksa-upravleniya> (дата звернення: 03.05.2024).
6. Пасынков В. В., Суркис И. Ф., Титов Е. В., Гулидов Д. А., Широкий С. М. Обработка и анализ РСДБ-наблюдений космических аппаратов системы ГЛОНАСС комплексом «Квазар-КВО». *Тр. Ин-та прикладной астрономии РАН*. 2022. № 61. С. 3–25.
7. Рогов П. Д., Лисий М. І., Добровольський А. Б. Удосконалення системи безпеки об'єктів підвищеної небезпеки на основі технічної тактики. *Зб. наук. праць ВІКНУ ім. Тараса Шевченка*. 2014. № 45. С. 83–87.
8. Романов А. А., Черкас С. В. (2020). Перспективы развития космических войск Российской Федерации в условиях современных тенденций военно-космической деятельности. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-kosmicheskikh-voysk-rossiyskoj-federatsii-v-usloviyah-sovremennyh-tendentsiy-voenno-kosmicheskoy-deyatelnosti> (дата звернення: 03.05.2024).
9. Російська навігаційна система ГЛОНАСС досі підтримується: що потрібно знати і які загрози існують. URL: <https://ain.ua/2023/02/28/glonass-proty-ukrayinciv> (дата звернення: 03.05.2024).
10. Тюляков А. Е., Белов Л. Я., Паршин П. Н. Государственная система единого времени и эталонных частот «Цель» в части объектов и средств Министерства обороны Российской Федерации состояние и перспективы развития. *Тр. Ин-та прикладной астрономии РАН*. 2018. № 44. С. 126–132.
11. Krasuski K., Cieccko A., Grunwald G., Kirschenstein M. Improving positioning accuracy of aircraft using SPP method in GLONASS system. *Archives of transport*. 2024. № 69 (1). P. 21–37. <https://doi.org/10.61089/aot2024.v0s1gv25>

REFERENCES

1. Blinov I. Yu., Bandura A. S., Batura A. S., Belov L. Ya. E., Krupskaja A. V., Skobelin A. A., Tyulyakov A. E. (2022). The system of unified time of the Russian Federation - overcoming new challenges. *Radionavigation and time: Proc. JSC Concern for ASD «Almaz-Antey»*, **10**, No. 1, 8–20 [In Russian].
2. Herasymuk O. V., Lysyi M. I., Babii Yu. O., Tkachuk P. S., Baikov O. B. (2018). Methodology for determining the location of potentially dangerous objects in the zone of regional armed conflict. *Collection of scientific works of NASBGSU: Military and Technical Sciences*, No. 3 (77), 209–221 [In Ukrainian].
3. Donchenko S. I. (2023). Improvement of the state primary standard of time units, frequency, and the national time scale in the interests of developing systems and means of coordinate-time and navigation support for consumers. *Proc. Conf. “Radionavigation and Time 2023”* (Saint Petersburg, June 29–30, 2023) [In Russian]. URL: https://rirt.ru/wp-content/uploads/2023/07/23_11_KS1_30.06_NIIFTRI_Fedotov.pdf (Last accessed 03.05.2024).
4. Categorization of critical information infrastructure objects. Methodological recommendations. (2019). StepLogic. 149 p. [In Russian]. URL: <https://cisoclub.ru/wp-content/uploads/bp-attachments/180060/metodikasteptkiobnovlennaya.pdf> (Last accessed 03.05.2024).
5. Kovalskyi A. A., Afonin H. I., Tereshchenko S. V. (2017). Proposals on the main directions for modernizing the unified time system of the ground-based automated spacecraft control complex. *MAI Proceedings*, No. 97 [In Russian]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predlozheniya-po-osnovnym-napravleniyam-modernizatsii-sistemy-edinogo-vremeni-nazemnogo-avtomatizirovannogo-kompleksa-upravleniya> (Last accessed 03.05.2024).
6. Pasyukov V. V., Surkis I. F., Titov E. V., Hulidov D. A., Shyrokyi S. M. (2022). Processing and analysis of VLBI observations of GLONASS spacecraft by the Kvazar-KTS complex. *Proc. Institute of Applied Astronomy RAS*, No. 61, 3–25 [In Russian].
7. Rohov P. D., Lysyi M. I., Dobrovolskyi A. B. (2014). Improving the security system of high-risk objects based on technical tactics. *Collection of scientific works of MI of Taras Shevchenko KNU*, No. 45, 83–87 [In Ukrainian].
8. Romanov A. A., Cherkas S.V. (2020). Prospects for developing space forces of the Russian Federation in the context of modern trends in military and space activities [in Russian]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-kosmicheskikh-voysk-rossiyskoy-federatsii-v-usloviyah-sovremennykh-tendentsiy-voenno-kosmicheskoy-deyatelnosti> (Last accessed 03.05.2024).
9. Russian GLONASS navigation system is still being supported: what you need to know and what threats exist [In Ukrainian]. URL: <https://ain.ua/2023/02/28/glonass-proty-ukrayinciv> (Last accessed 03.05.2024).
10. Tiuliakov A. E., Belov L. Ya., Parshin P. N. (2018). State system of unified time and reference frequencies «Ttarget» in terms of objects and facilities of the Ministry of Defense of the Russian Federation state and prospects of development. *Proc. Institute of Applied Astronomy RAS*, No. 44, 126–132 [In Russian].
11. Krasuski K., Cieccko A., Grunwald G., Kirschenstein M. (2024). Improving positioning accuracy of aircraft using SPP method in GLONASS system. *Archives of Transport*, № 69 (1), 21–37 [In English]. <https://doi.org/10.61089/aot2024.v0s1gv25>

Стаття надійшла до редакції 23.04.2024

Після доопрацювання 04.07.2024

Прийнято до друку 04.07.2024

Received 23.04.2024

Revised 04.07.2024

Accepted 04.07.2024

*М. І. Лусий*¹, Dr. Sci. in Tech., Assoc. Prof., Prof. at the Department

E-mail: lisiy3152@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9858-706X

*В. А. Собченко*¹, Ph.D. in Tech., Assoc. Prof., Head of the Department

ORCID: 0000-0001-7864-0321

*С. В. Партика*¹, Assoc. Prof. at the Department

ORCID: 0000-0003-4071-8503

*А. М. Лусий*², Post-graduate student

ORCID: 0009-0001-0065-9740

¹ National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi

46, Shevchenko Str., Khmelnytskyi, 29007 Ukraine

² Khmelnytskyi National University

11, Instyutska Str., Khmelnytskyi, 29016 Ukraine

CRITICAL INFRASTRUCTURE OF THE GROUND CONTROL COMPLEX FOR THE ORBITAL SATELLITE CONSTELLATION

The article is devoted to determining the priority of objects of the ground control complex of an orbital constellation of satellites as objects of critical infrastructure of the Russian Federation. The use of high-precision weapons, navigation, communications, control, and transport increasingly depends on the functioning of the orbital constellation of satellites. The ground control complex for the orbital constellation of satellites of the Russian Ministry of Defense includes a Mission Control Center and more than a dozen stationary command and measurement points. The equipment of the ground-based orbital constellation control complex requires strict reference to the spatial-temporal operating parameters, especially for the Global Navigation Satellite System, which, in turn, determines the effectiveness of high-precision weapons guidance, targeting, and location of objects, the functioning of communications, transportation systems and other means comprising corresponding navigation receivers. For spacecraft, and primarily for Global Navigation Satellite System satellites, the problem of having an onboard time scale of high stability is relevant, which is determined by the functioning of the unified time system, which is an integral part of both the ground control complex and the orbital constellation. In the most general terms, the basis of the unified time system of the ground-based control complex for the orbital satellite constellation is made up of time and frequency standards distributed throughout the territory of the Russian Federation, located mainly in ground-based command and measurement centers and measurement laboratories. The unified time system is the most secure technical system, which is formed as a composite measure at the highest level of the hierarchy of accuracy classes of frequency standards. Therefore, the most significant control objects of the orbital constellation are equipped with group standards, which can be considered a criterion for classifying the objects of the ground control complex of the orbital constellation of satellites as the critical infrastructure of the Russian Federation. It was determined that the hierarchical sequence of importance for the critical infrastructure of the Russian Federation of objects in the unified time system of the orbital constellation of the satellite control complex takes into account GLONASS objects, the standards of the State Service of Time and Frequency and determination of the parameters of the Earth's rotation of the Russian Federation, as well as the standards of the «Quazar KTS» complex.

Keywords: ground control complex for the orbital satellite constellation, critical infrastructure, unified time system.