



УДК 621.81:621.253.2

## **Результати дослідної експлуатації підсистеми забезпечення єдиним часом військових споживачів на базі серверів точного часу Microsemi Time Provider 4100**

**В.В. Солдатов<sup>1</sup>, О.В. Дзисюк<sup>2</sup>, В.М. Бойко<sup>2</sup>, А.Б. Гаврилов<sup>2</sup>,  
М.І. Світенко<sup>2</sup>, Р.М. Парог<sup>2</sup>, А.М. Свистун<sup>3</sup>, М.В. Матвієнко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Національний науковий центр «Інститут метрології», вул. Миросицька, 42, 61002, Харків, Україна  
time.metrology@ukr.net

<sup>2</sup> Метрологічний центр військових еталонів ЗС України, вул. Полтавський Шлях, 195, 61098, Харків, Україна  
gavanat66@gmail.com

<sup>3</sup> Головне управління зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу ЗС України, пр. Повітрофлотський, 6, 03168, Київ, Україна

a.svystun@mil.gov.ua

<sup>4</sup> ТОВ «ВІРКОМ», вул. Волоська, 23, 04070, Київ, Україна  
mnv@wircom.ua

### **Анотація**

В межах функціонування військового сегменту Служби єдиного часу і еталонних частот подано результати дослідної експлуатації підсистеми забезпечення єдиним часом військових споживачів, яка побудована на базі національного еталона одиниць часу та частоти, вихідного еталона одиниць часу та частоти Збройних Сил України із застосуванням серверів точного часу (Microsemi Time Provider 4100) та оптоволоконних технологій для передачі сигналів синхронізації часу за протоколами RTP та NTP по пакетних мережах передачі даних – Ethernet.

Дослідження підтвердили можливість передавання еталонних сигналів часової та частотної синхронізації із застосуванням сучасних цифрових та оптоволоконних технологій від національного еталона одиниць часу та частоти до вихідного еталона одиниць часу та частоти Збройних Сил України із середньоквадратичним відхиленням (СКВ) похибки, що не перевищувала 30 нс. СКВ від середнього значення еталонного сигналу частоти 1 PPS веденого сервера вузла зв'язку (м. Київ) при передаванні еталонних сигналів синхронізації часу від вихідного еталона одиниць часу та частоти Збройних Сил України (м. Харків) на інтервалі спостереження 30 діб (при періодичному щодобовому включенні серверів, що розташовані в МЦВЕ ЗС України) не перевищило 100 нс. При безперервному режимі роботи (2 доби) СКВ становило не більше 65 нс.

Результати досліджень дають можливість сформулювати базові вимоги до складу, технічних характеристик, функціональних можливостей та режимів роботи обладнання системи синхронізації часу за протоколами RTP та NTP по пакетних мережах передачі даних – Ethernet з метою забезпечення її надійності та точності.

**Ключові слова:** Служба єдиного часу і еталонних частот; синхронізація; еталонний час.

Отримано: 05.02.2020

Відредаговано: 28.02.2020

Схвалено до друку: 04.03.2020

---

### **Постановка проблеми**

Відповідно до статті 13 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» у державі функціонує Служба єдиного часу і еталонних частот (далі за текстом – Служба), яка здійснює міжгалузеву координацію та виконання робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань часу і частоти, визначення параметрів обертання Землі та надання часо-частотної інформації споживачам в економіці, у сфері науки та оборони, фізичним та юридичним особам, у тому числі

надання інформації для забезпечення застосування єдиного обліково-звітного часу. Завдання та основні засади діяльності Служби визначаються Положенням про Службу єдиного часу і еталонних частот, яке затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 2 вересня 2015 р. № 664 [1].

З урахуванням особливостей метрологічного забезпечення діяльності у сфері оборони [2], для забезпечення функціонування військового напрямку діяльності згідно з [1] до Служби входить структурний підрозділ Метрологічного

центру військових еталонів (МЦВЕ) Збройних Сил (ЗС) України, на який, відповідно до Положення про метрологічну службу Міністерства оборони України та Збройних Сил України, покладено такі завдання:

- виконання функцій структурного підрозділу Служби єдиного часу і еталонних частот національної метрологічної служби України;
- формування шкали часу у взаємодії зі структурними підрозділами Служби єдиного часу і еталонних частот;
- здійснення оперативного контролю еталонних сигналів часу і частоти, які використовуються ЗС України;
- забезпечення єдності та точності вимірювань часу і частоти у Збройних Силах та інших військових формуваннях;
- координація функціонування розподіленої (із використанням сил і засобів регіональних метрологічних військових частин) системи контролю частотно-часового забезпечення ЗС України.

Загальні питання контролю та управління передавання еталонних сигналів викладено в [3], де показано, що в межах науково-технічної діяльності МЦВЕ ЗС України та ННЦ “Інститут метрології” побудовано підсистему забезпечення єдиним часом на базі національного еталона одиниць часу та частоти, вихідного еталона одиниць часу та частоти Збройних Сил України (далі – ВЕЗСУ 07-01-01-09) та серверів точного часу Microsemi Time Provider 4100, які забезпечують синхронізацією часу за протоколами РТР (Precision Time Protocol) та NTP (Network Time Protocol) апаратуру, що використовує технології пакетної передачі даних – Ethernet. Зазначена підсистема потребує дослідження в напрямку визначення її метрологічних характеристик та потенційних можливостей.

Таким чином, метою статті є подання результатів дослідної експлуатації підсистеми забезпечення єдиним часом військових споживачів.

### Виклад основного матеріалу

Підсистему забезпечення єдиним часом побудовано на базі національного еталона одиниць часу та частоти, вихідного еталона одиниць часу та частоти Збройних Сил України (ВЕЗСУ 07-01-01-09) із застосуванням серверів точного часу Microsemi Time Provider 4100 та волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) для передачі сигналів синхронізації часу за протоколами РТР та NTP по пакетних мережах передачі даних – Ethernet до військових споживачів.

Сервіс надання точного часу військовим споживачам, який синхронізовано з національною шкалою координованого часу UTC(UA), побудований таким чином, щоб уникнути прямої залежності ВЕЗСУ 07-01-01-09 від національного еталона часу та частоти й закордонних глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), а також бути відокремленим на апаратному рівні від всесвітньої мережі загального користування Інтернет.

Підсистема єдиного часу функціонально входить до військового сегменту Служби єдиного часу і еталонних частот (діє згідно з Положенням про Службу єдиного часу і еталонних частот, яке затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 2 вересня 2015 р. № 664).

В загальному вигляді підсистему забезпечення єдиним часом, що досліджувалася, наведено на рис. 1.

Для побудови підсистеми єдиного часу застосовано серверне обладнання у складі чотирьох серверів точного часу (РТР/NTP) Microsemi Time Provider 4100, цезієвий стандарт частоти HP 5071A зі складу національного еталона одиниць часу

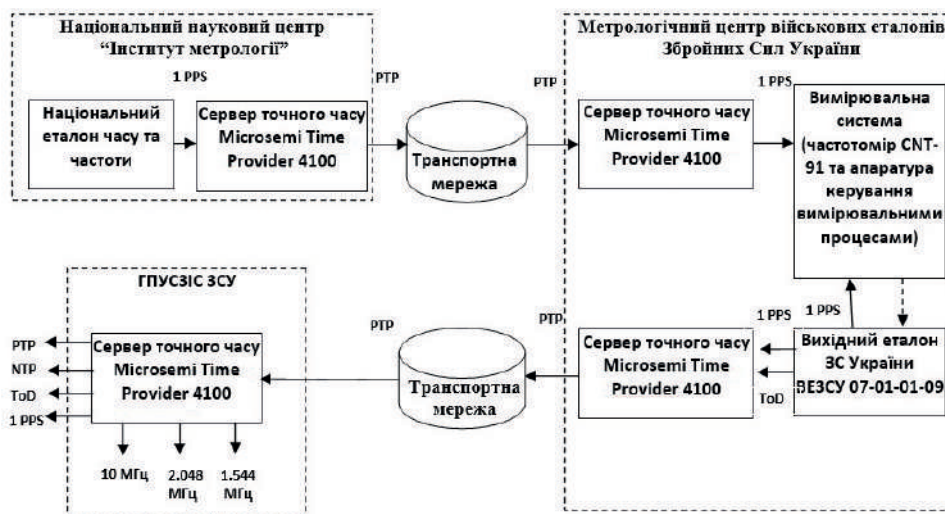


Рис. 1. Структурна схема побудови першої черги підсистеми забезпечення єдиним часом споживачів Збройних Сил України

та частоти, рубідієвий мобільний стандарт часу та частоти FS-017 зі складу ВЕЗСУ 07-01-01-09, ВОЛЗ рівня L2.

Сервер точного часу Microsemi Time Provider 4100, розташований у Національному науковому центрі “Інститут метрології”, на національному еталоні одиниць часу та частоти працює в режимі провідного сервера РТР (грандмастера РТР). В Метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України (МЦВЕ ЗСУ) розташовані два сервери точного часу Microsemi Time Provider 4100, один з яких є веденим сервером РТР (РТР клієнт для провідного сервера РТР національного еталона одиниць часу та частоти). Лінія зв'язку між національним еталоні одиниць часу та частоти і МЦВЕ ЗСУ служить для звірення координованої шкали часу UTC(UA) та автономної шкали часу ВЕЗСУ 07-01-01-09 МЦВЕ ЗСУ. Звірення шкал часу здійснюється за допомогою вимірювальної системи, що складається з частотоміра CNT-91 та апаратури керування вимірювальними процесами, яка здійснює обробку даних вимірювання поточної різниці часу між шкалами.

Другий провідний сервер точного часу Microsemi Time Provider 4100, встановлений у МЦВЕ ЗСУ, працює в режимі провідного сервера РТР (грандмастера РТР) ВЕЗСУ 07-01-01-09 і забезпечує формування сигналів синхронізації часу за протоколом РТР для веденого сервера точного часу Microsemi Time Provider 4100, розташованого в Головному пункті управління системою зв'язку та інформаційних систем Збройних Сил України (ГПУСЗІС ЗСУ). Обмін пакетами синхронізації часу за протоколом РТР між провідним сервером РТР ВЕЗСУ 07-01-01-09 і веденим сервером точного часу ГПУСЗІС ЗСУ здійснюється по магістральній міжміській транспортній оптичній мережі.

Таким чином, лінія зв'язку між національним еталоні одиниць часу та частоти і МЦВЕ ЗСУ забезпечує звірення координованої шкали часу UTC(UA) та автономної шкали часу ВЕЗСУ 07-01-01-09 за протоколом РТР. МЦВЕ ЗСУ забезпечує зберігання автономної шкали часу, звіреної з координованою шкалою часу UTC(UA), і передачу сигналів синхронізації часу за протоколом РТР ГПУСЗІС ЗСУ по магістральній оптичній лінії зв'язку між МЦВЕ ЗСУ і ГПУСЗІС ЗСУ.

Для оцінки метрологічних характеристик підсистеми протягом дослідної експлуатації здійснювалися поточні вимірювання похибки часу (Time Error – TE) між еталонною шкалою часу, джерелом якої є сигнал синхронізації часу глобальної навігаційної системи GPS та вихідних сигналів синхронізації ведених серверів РТР. Для визначення похибки, яку вносить безпосередньо лінія зв'язку при різному її навантаженні, проводилося вимірювання похибки синхронізації зафіксованого мітками часу в пакетах обміну між РТР провідним сервером та веденим РТР сервером (РТР клієнтом).

Результатом вимірювань є різниця шкал часу (ШЧ), одну з яких попередньо синхронізовано з опорною (еталонною) ШЧ з реєстрацією результату порівняння ШЧ при багаторазовому автоматичному повторенні вимірювань. У результаті аналізу даних вимірювань визначаються: середнє значення різниці ШЧ (сТЕ) та максимальне значення похибки відхилення часового інтервалу (МТІЕ). Остаточний результат вимірювань – максимальне сумарне абсолютне значення похибки часу ( $\max|TE|$ ), яке проводиться згідно з рекомендаціями ІТУ-T G.8271.1 на виходах 1PPS обладнання синхронізації кінцевого споживача, тобто в цьому випадку на виходах 1PPS ведених РТР серверів МЦВЕ ЗСУ та ГПУСЗІС ЗСУ.

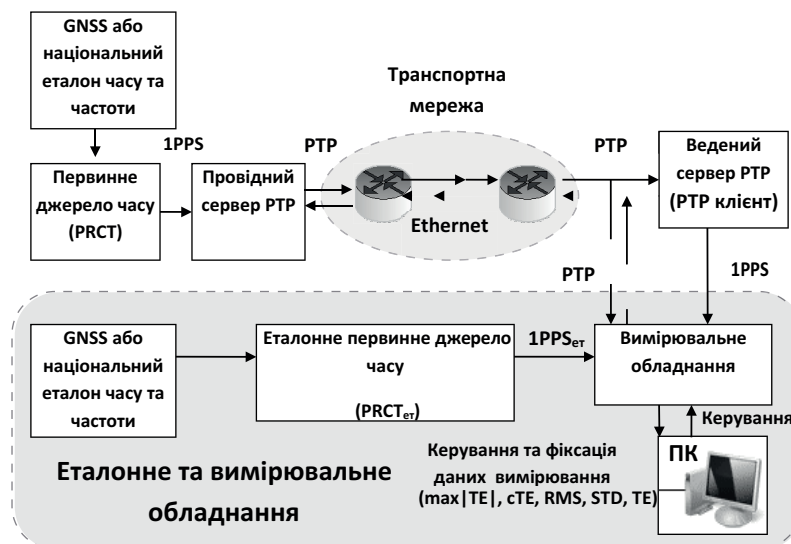


Рис. 2. Схема вимірювання різниці шкали часу обладнання кінцевого споживача (РТР клієнт) відносно шкали часу UTC при передачі сигналів синхронізації часу та частоти за протоколом РТР

Схему вимірювань, згідно з рекомендаціями ІТУ-Т G.8271.1, наведено на рис. 2.

При визначенні похибки вимірювань необхідно враховувати похибку формування мітки часу еталонного первинного джерела ШЧ (Primary Reference Time Clock – PRTC).

Похибка синхронізації часу на проміжку часу  $t$  ( $TE(t)$ ), згідно з рекомендаціями ІТУ-Т та IEEE, складається з двох компонент – постійної та динамічної складових (Recommendation G.8271.1/Y.1366.1 (2017)), тобто

$$TE(t) = cTE + dTE(t),$$

де  $cTE$  – постійна складова похибки часу  $TE$  – середнє значення  $TE$  на інтервалі часу вимірювання;  $dTE$  – динамічна складова похибки часу  $TE$  – максимальна похибка відхилення інтервалу часу (MTIE).

Засіб вимірювання обчислює поточне значення різниці ШЧ еталонного PRTC та шкали часу досліджуваного пристрою ( $TE$ ) за формулою (1):

$$TE = T_{1PPSPTR} + T_{1PPSPRTC}, \quad (1)$$

$$MTIE(n\tau_0) \cong \max_{1 \leq k \leq N-n} (\max_{k \leq i \leq k-n} TE(i) - \min_{k \leq i \leq k-n} TE(i)), n = 1, 2, \dots, N-1, \quad (3)$$

де  $\tau = n\tau_0$  – інтервал спостереження;  $\tau_0$  – інтервал часу між поточними вимірюваннями;  $TE(i) = TE(t + i\tau_0)$  –  $i$ -й відлік похибки часу.

Результатом обчислення є окрема цілісна оцінка сигналу на одному періоді вимірювань стосовно екстремальних значень стабільності.

Таким чином, кінцевим результатом обчислення є максимальне абсолютне значення  $TE$  ( $\max|TE|$ ):

$$\max|TE| = cTE + MTIE.$$

Постійну складову похибки часу  $cTE$  легко скорегувати завдяки можливості її компенсації шляхом введення відповідного значення поправки при налаштуванні ведених серверів РТР. Вона виникає за рахунок асиметрії мережі й корегується введенням режиму автоматичної корекції асиметрії.

Вимірювальним засобом для звірення координованої шкали часу UTC(UA) та автономної шкали часу ВЕЗСУ 07-01-01-09 МЦВЕ ЗСУ є вимірювальна система, що складається з частотоміра CNT-90 та апаратури керування вимірювальними процесами. Паралельно для оцінки метрологічних характеристик функції моніторингу ведених серверів РТР проводилися вимірювання похибки часу внутрішньої ШЧ веденого сервера РТР відносно ШЧ внутрішнього приймача GNSS веденого сервера РТР. В цьому випадку еталонним первинним

де  $T_{1PPSPTR}$  – поточний час на виході 1PPS веденого сервера РТР;  $T_{1PPSPRTC}$  – поточний час на виході 1PPS еталонного первинного джерела ШЧ (PRTC).

Засіб вимірювання (ЗВ) також обчислює середнє значення різниці ШЧ еталонного PRTC та ШЧ веденого сервера РТР, як відношення суми всіх вимірних поточних значень  $TE$  до кількості  $N$  вимірювань за формулою (2), яке є постійною складовою похибки часу ( $cTE$ ):

$$\overline{TE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N TE - \Delta T_{ЗВ}, \quad (2)$$

де  $\Delta T_{ЗВ}$  – похибка вимірювання засобу вимірювання;  $N$  – кількість вимірювань за сеанс вимірювання.

Динамічна складова похибки часу  $TE$  – максимальна похибка відхилення інтервалу часу ( $MTIE(n\tau_0)$ ) між ШЧ еталонного PRTC та ШЧ веденого сервера РТР є нормативним показником стабільності опорних сигналів синхронізації в мережах електрозв'язку, як один з параметрів синхронізації частоти, і визначається за період часу від 1000 с до 1 доби (86400 с) за формулою (3):

джерелом ШЧ (PRTC) є приймач GNSS веденого сервера РТР, а засобом вимірювання є вбудована функція моніторингу веденого сервера РТР.

В цій підсистемі забезпечення єдиним часом Служби єдиного часу і еталонних частот України сигнали синхронізації передаються по телекомунікаційних пакетних мережах. Мережеве обладнання повинно відповідати вимогам стандартів ІТУ-Т. Для узгодження вимог до точності синхронізації часу за допомогою протоколу РТР в телекомунікаційних пакетних мережах і методів визначення похибки (невизначеності), що застосовуються метрологічними організаціями, необхідно застосовувати як критерії оцінки похибки ІТУ-Т, так і ДСТУ-Н РМГ 43-2006.

Так при дослідженнях впливу різних факторів та режимів роботи на похибку синхронізації часу доцільно оцінювати не тільки максимальне значення похибки часу в перехідний період (наприклад, при увімкненні або вимкненні відповідного сервера РТР, зміні асиметрії лінії, при максимальному навантаженні на лінію тощо), а і середньоквадратичне відхилення (СКВ) в сталому режимі. Обладнання TimeProvider 4100 має вбудовану функцію моніторингу якості вхідних сигналів синхронізації й дозволяє проводити одночасне вимірювання похибки часу 4-х вхідних сигналів відносно внутрішньої шкали часу або GNSS зі збереженням даних вимірювання. Використовуючи ці дані, можна зробити статистичний

аналіз похибки за сеанс вимірювання й оцінити вклад лінії зв'язку в сумарну похибку часу ведених серверів РТР шляхом вимірювання похибки часу та затримки пакету на вході.

Функція моніторингу якості вхідних сигналів синхронізації ведених серверів РТР забезпечує якісний контроль за станом мережі й може застосовуватися в складі метрологічного обладнання при зверненні шкал часу як первинне джерело часу й як вимірювальний засіб.

На точність вимірювання різниці між ШЧ, переданою за допомогою протоколу РТР по мережі передачі даних Ethernet (TCP/IP), та опорною (еталонною) ШЧ впливає безліч дестабілізуючих факторів, у тому числі технічні характеристики провідного та веденого серверів РТР, елементів мережі, тип профайлу РТР, налаштування параметрів повідомлень РТР, навантаження мережі зв'язку. Для забезпечення мінімальної різниці між ШЧ провідного сервера РТР та шкалою часу кінцевого споживача (веденого сервера РТР) необхідно калібрування всіх задіяних у процесі передачі сигналів синхронізації часу пристроїв.

В ході дослідної експлуатації проводилися вимірювання поточного значення похибки часу і визначення  $\max|TE|$  в умовах періодичного та безперервного режимів роботи провідного сервера РТР. За період дослідної експлуатації було зафіксовано зміну маршруту проходження пакетів РТР в мережі, що призводило до зміни асиметрії лінії зв'язку. Досліджено вплив навантаження в магістральній лінії зв'язку протягом доби на точність синхронізації. Для оцінки впливу навмисних та ненавмисних відключень [4, 5] на роботу підсистеми під час дослідної експлуатації було імітовано відсутність сигналу супутників GNSS.

### Мета дослідної експлуатації

Метою дослідної експлуатації апаратно-програмних засобів синхронізації є:

- визначення метрологічних характеристик і параметрів засобів синхронізації в штатному та періодичному режимах роботи провідного сервера РТР, а також при впливі дестабілізуючих факторів (вплив асиметрії лінії зв'язку, навантаження в мережі, вразливість GNSS);
- підтвердження відповідності метрологічних характеристик апаратно-програмних засобів синхронізації вимогам, що висувалися згідно з тактико-технічним завданням до науково-дослідної роботи;
- розробка пропозицій щодо розбудови, впровадження, підвищення надійності та точності системи забезпечення єдиним часом військових споживачів;
- визначення складу та метрологічних характеристик засобів системи метрологічного контролю та управління еталонними сигналами, способів їх

застосування для обґрунтування пропозицій складу апаратного оснащення технічної складової цієї системи.

### Результати дослідної експлуатації апаратно-програмних засобів синхронізації (прив'язки шкал часу) та ВЕЗСУ

Для дослідження впливу навантаження в мережі на похибку часу веденого сервера РТР були проведені цілодобові вимірювання похибки часу (TE) його вхідного РТР сигналу та вихідного сигналу 1PPS. Результати впливу навантаження лінії зв'язку на точність формування міток часу у вхідному РТР сигналі протягом доби наведено на рис. 3.

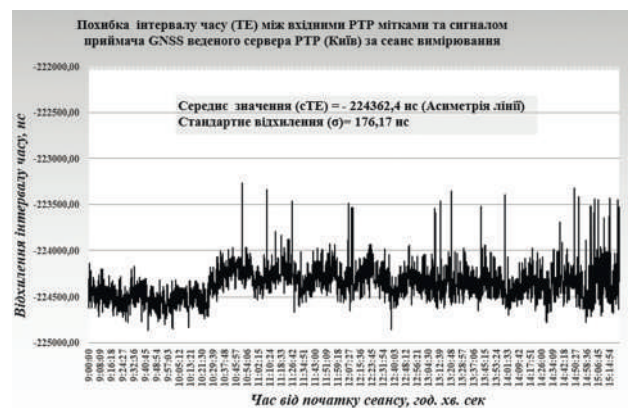


Рис. 3. Результати впливу навантаження лінії зв'язку на точність формування міток часу у вхідному РТР сигналі за час синхронізації веденого сервера РТР від провідного сервера РТР при періодичному режимі роботи

У цьому випадку асиметрія лінії становила 224 мкс. Це не є оптимальним режимом роботи і збільшує похибку часу, але дає можливість оцінити сумарний вплив асиметрії мережі та навантаження мережі на похибку часу веденого сервера РТР (клієнта РТР). Типову зміну навантаження магістральних мереж наведено на рис. 4.

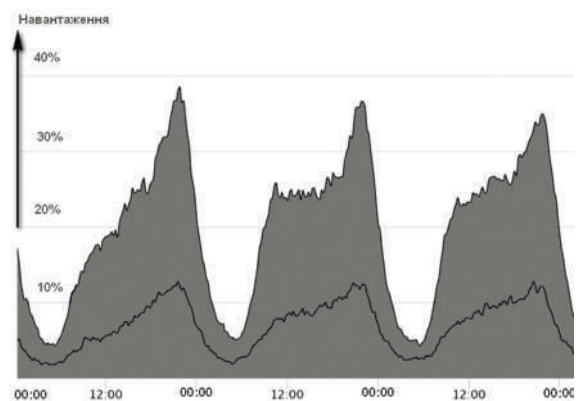


Рис. 4. Типова зміна навантаження магістральних мереж

Похибку часу вхідного РТР сигналу (нижня крива) та вихідного сигналу 1PPS (верхня крива) веденого сервера наведено на рис. 5.

З наведених графіків видно, що максимальне навантаження припадає на проміжок часу з 21:00 по 23:00, що призводить до пікового значення похибки веденого сервера РТР (вихідного сигналу 1PPS)

близько 1 мкс. При цьому спостерігається кореляція між значенням похибки вихідного сигналу 1PPS веденого сервера RTP та похибкою часу вхідного RTP сигналу. При збільшенні навантаження у вхідному RTP сигналі змінюється як середнє значення, так і СКВ похибки. Порівняно з похибкою часу вхідного RTP сигналу значення похибки вихідного сигналу 1PPS веденого сервера RTP значно менше, оскільки внутрішня шкала часу веденого сервера формується вхідним RTP сигналом тільки після його обробки та аналізу.

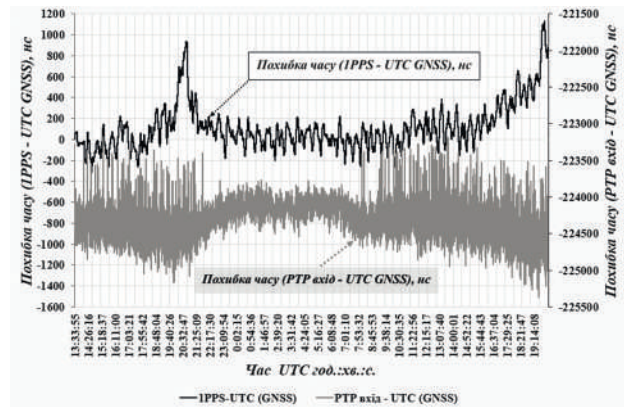


Рис. 5. Вплив навантаження на похибку часу вихідного сигналу веденого сервера протягом доби. Похибка часу вхідного RTP сигналу (нижня крива) та вихідного сигналу 1PPS (верхня крива) веденого сервера

Вимірювання проводилися згідно з методикою дослідної експлуатації протягом трьох діб.

З метою визначення похибки часу веденого сервера RTP ППСУЗІС ЗСУ при періодичному режимі роботи провідного сервера RTP МЦВЕ ЗСУ (роботі сервера кожної доби з 9:00 до 17:00) проведено сеанси вимірювання похибки часу (TE) вихідного сигналу 1PPS веденого сервера RTP (цілодобова експлуатація), протягом яких здійснювалося вимкнення та увімкнення провідного сервера RTP. Це дало змогу оцінити реакцію веденого сервера RTP на відсутність і появу мережевого сигналу синхронізації від провідного сервера RTP при його вимкненні та увімкненні або несправності в лінії. Типовий процес зміни дже-

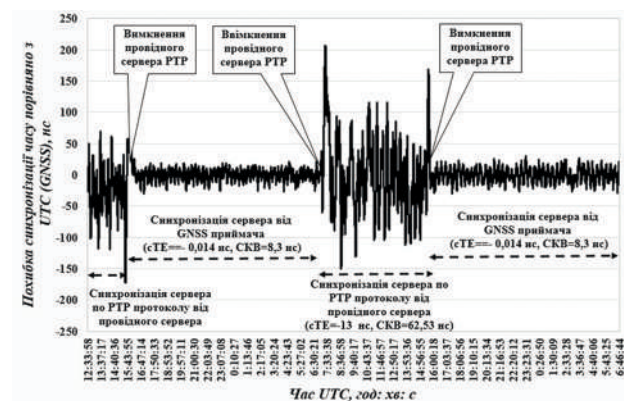


Рис. 6. Точнісні характеристики веденого RTP сервера, що розташований у Києві при переході від джерела синхронізації RTP (провідного сервера RTP, що розташований у Харкові) до синхронізації від власного GNSS приймача і навпаки

рел синхронізації з RTP від провідного сервера RTP ВЕЗСУ (після його вимкнення) до GNSS і навпаки (після його увімкнення) з оцінкою точнісних характеристик наведено на рис. 6. При вимкненні провідного сервера RTP через перехід на деякий час у режим утримання до прийняття рішення про заміну джерела сигналу синхронізації з RTP на GNSS веденим сервером RTP максимальна похибка часу ( $\max|TE|$ ) становила не більше 2 мкс. При увімкненні провідного сервера RTP і переході веденого RTP сервера із режиму синхронізації від GNSS до режиму синхронізації від сигналу RTP через відсутність повного захвату еталонного вхідного сигналу ВЕЗСУ 07-01-01-09 в провідному сервері RTP на початковому періоді від моменту увімкнення до моменту переходу в режим синхронізації максимальна похибка часу ( $\max|TE|$ ) становила не більше 3 мкс.



Рис. 7. Максимальна похибка синхронізації часу веденого RTP сервера при вимкненні та увімкненні провідного сервера RTP

Максимальну похибку часу веденого сервера RTP при зміні джерела сигналу синхронізації з RTP на GNSS (при вимкненні провідного сервера RTP), а потім при зміні джерела сигналу синхронізації з GNSS на RTP (при увімкненні провідного сервера RTP) наведено на рис. 7. Початкове значення похибки часу в перехідний період і тривалість переходу на режим максимальної точності залежить від відхилення частоти опорного генератора провідного сервера RTP в перехідний період. Термін часу переходу на режим максимальної точності становив не більше 2,5 год. На рис. 7 під час перехідного періоду на режим максимальної точності при увімкненні провідного сервера RTP зафіксовано перекалібрування веденого RTP сервера (RTP клієнта) через зміну асиметрії лінії зв'язку. Процедура автоматичної компенсації асиметрії не призвела до значної випадкової похибки, але оскільки цю процедуру було здійснено в період перехідного процесу, вона призвела до невеликої постійної похибки калібрування асиметрії (до 50 нс).

Максимальне значення похибки синхронізації часу в період переходу до режиму максимальної точності при увімкненні провідного сервера RTP без процедури автоматичної компенсації асиметрії наведено на рис. 8.

Одним із факторів, що впливають на похибку часу веденого сервера РТР, є асиметрія мережі [4]. До асиметрії мережі може привести зміна маршрутизації проходження пакетів РТР у прямому та зворотному напрямках (зміна конфігурації мережі). В процесі досліджень зміна конфігурації мережі призводила до появи різних значень асиметрії. Для оцінки впливу її зміни за різних обставин зміна конфігурації проводилась як у перехідні періоди (в моменти увімкнення і вимкнення провідного сервера РТР (рис. 7)), так і в сталому режимі роботи.

Затримка пакетів у магістральній оптичній лінії зв'язку Харків-Київ при різних конфігураціях мережі становила від 2 до 5 мс. Значення асиметрії в мережі змінювалося від  $\pm 2$  мкс до  $\pm 1$  мкс. Для запобігання виникненню форс-мажорних обставин, внаслідок яких може змінитися значення асиметрії в Time Provider 4100 (ведений сервер РТР ГПУСЗІС ЗСУ), було активовано функцію автоматичної компенсації асиметрії.

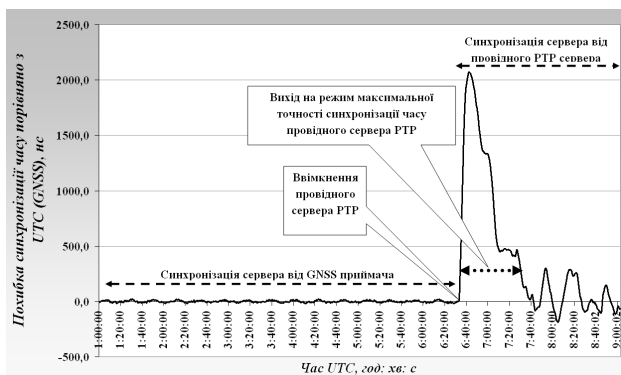


Рис. 8. Максимальна похибка синхронізації часу веденого РТР сервера (РТР клієнта) при увімкненні провідного сервера РТР без процедури автоматичної компенсації асиметрії (29.10.2019)

Зміна маршрутизації лінії приводила до зміни значення затримки пакетів РТР у прямому та зворотному напрямках (рис. 9) і, як наслідок, зміни значення відхилення позначки часу РТР від значення часу внутрішнього годинника веденого РТР сервера (рис. 10). Це в свою чергу приводить до автоматичного перекалібрування сервера (рис. 11).

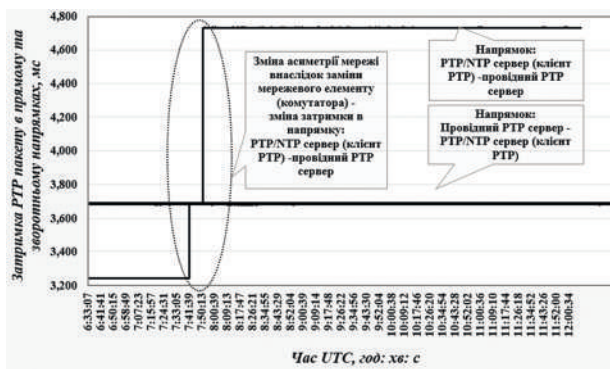


Рис. 9. Зміна затримки пакетів РТР в напрямку від РТР клієнта до РТР провідного сервера внаслідок заміни елемента мережі

Процес зміни значення асиметрії та процедура автоматичної компенсації асиметрії впливають на точність синхронізації часу веденого РТР сервера. На рис. 11 зображено залежність похибки синхронізації часу веденого РТР сервера у випадку зміни значення асиметрії зі встановленим режимом автоматичної компенсації асиметрії при періодичному режимі роботи провідного сервера РТР.

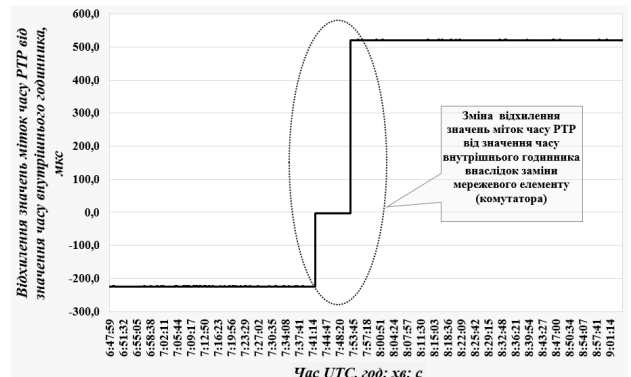


Рис. 10. Відхилення значення позначки часу РТР від значення часу внутрішнього годинника веденого РТР сервера при зміні затримки пакетів РТР в напрямку від РТР клієнта до РТР провідного сервера

З рис. 11 видно, що зміна значення асиметрії призвела до короткочасної похибки часу веденого РТР сервера. При безперервному режимі роботи за період дослідної експлуатації така похибка становила не більше 400 нс. При періодичній роботі провідного сервера РТР через тривалу процедуру калібрування (кілька годин) виникає похибка калібрування, що може призвести до стрибка похибки часу в кілька мікросекунд.



Рис. 11. Залежність похибки синхронізації часу веденого РТР сервера у випадку зміни значення асиметрії

Проведені оцінки функціонування сервісу надання точного часу дозволили сформулювати вимоги до провайдера щодо оптимізації маршрутизації лінії з метою зменшення значення асиметрії. В результаті проведених провайдером дій асиметрія зменшилася з 520,64 до 2,78 мкс (рис. 12).

Оптимальним з точки зору мінімальної похибки є мінімальне значення асиметрії в мережі. Конфігурацію мережі з мінімальним значенням асиметрії

трії 2,78 мкс в мережі було вибрано для штатного режиму роботи.

Результати вимірювання точності передавання шкали часу до веденого PTP сервера при його штатному функціонуванні після оптимізації оптоволоконного підключення наведено на рис. 13. Точність передавання шкали часу до веденого PTP сервера при його періодичному режимі роботи після оптимізації оптоволоконного підключення наведено на рис. 14.

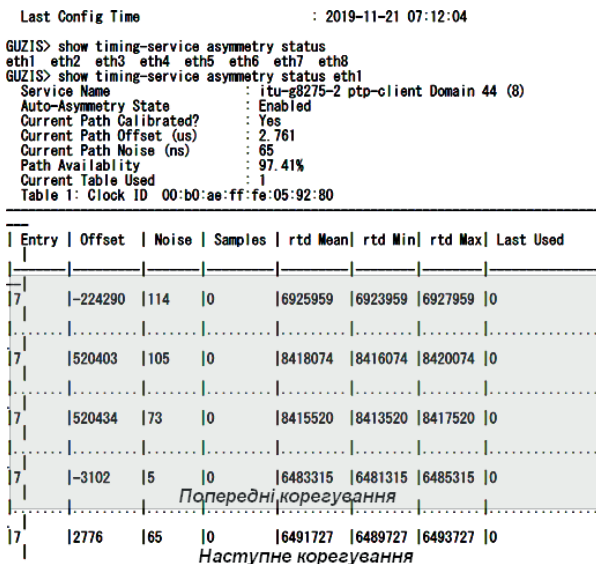


Рис. 12. Таблиця результатів калібрування веденого PTP сервера після оптимізації оптоволоконної лінії та проведення процедури автоматичної компенсації асиметрії

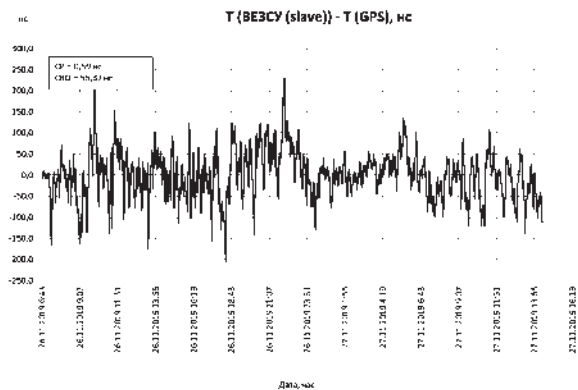


Рис. 13. Точнісні характеристики сигналу синхронізації 1 PPS на веденому сервері в штатному режимі

Результати вимірювань відхилення значень міток часу PTP, переданих від національного еталона, від значення часу ВЕЗСУ 07-01-01-09, що синхронізований за сигналами GNSS, які отримані із використанням вимірювальної системи на базі електронного частотоміра CNT-91 та апаратури керування вимірювальними процесами, наведено на рис. 15.

Паралельно проводилися вимірювання відхилення значень міток часу PTP, переданих від національного еталона, від значення часу

ВЕЗСУ 07-01-01-09, що синхронізований за сигналами GNSS із використанням вимірювальної системи, вбудованої в сервер часу Microsemi Time Provider 4100. СКВ значень міток часу становило 26,16 нс, що співпадає зі значенням СКВ (26,42 нс), отриманим при вимірюванні з використанням вимірювальної системи на базі електронного частотоміра CNT-91 та апаратури керування вимірювальними процесами.

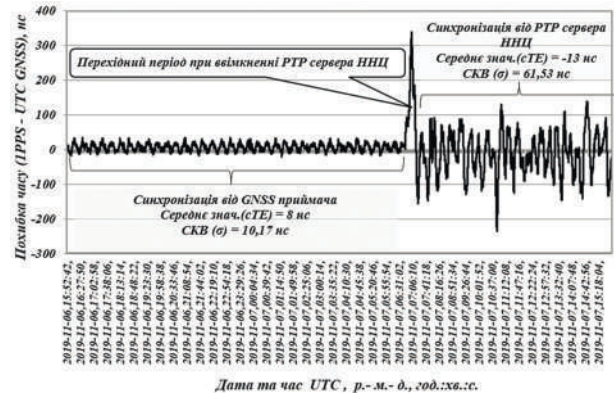


Рис. 14. Точнісні характеристики сигналу синхронізації 1 PPS на веденому сервері PTP при його періодичному режимі роботи

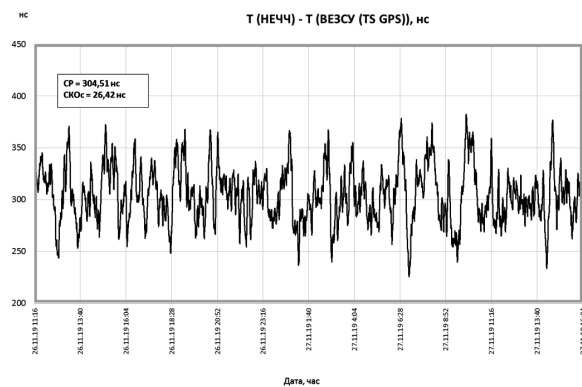


Рис. 15. Результати вимірювань відхилення значень міток часу PTP від значення часу ВЕЗСУ 07-01-01-09, що синхронізований за сигналами GNSS (вимірювальна система на основі CNT-91)

Це підтверджує можливість використання сервера часу Microsemi Time Provider 4100 як вимірювального засобу. Відмінність значень постійної складової пояснюється неврахованою затримкою в сигнальних кабелях та антенному кабелі GNSS.

Під час дослідної експлуатації було імітовано відсутність сигналу супутників GNSS для оцінки впливу на роботу веденого сервера PTP ППСУЗІС ЗСУ підсистеми випадків придушення сигналів GNSS або впливу природних факторів на роботу приймача GNSS [4, 5]. При синхронізації сервера від ВЕЗСУ 07-01-01-09 за протоколом PTP, якщо сигнал супутників GNSS відсутній, він формує аварійне повідомлення про відсутність прийому сигналів GNSS, а на точність синхронізації часу це не впливає.



Слід зазначити, що у випадку відсутності прийому сигналу GNSS і сигналу синхронізації РТР точність часу веденого сервера РТР буде забезпечуватися його внутрішнім опорним генератором. Сигнал GNSS використовується як опорний системою моніторингу, та при автоматичній компенсації асиметрії і за його відсутності будуть обмежені функціональні можливості серверів РТР.

### Перспективи подальшого розвитку системи

З кожним роком зростає необхідність і точність синхронізації часу не тільки у військовому секторі, а і в критичних до точності часу галузях (урядові, фінансові та наукові установи, зв'язок, енергетика, транспорт) [4].

Зважаючи на вразливість GNSS, що переважно використовується як джерело точного часу, побудова незалежних національних систем синхронізації є нагальною потребою. Дані дослідження є фундаментальною основою для подальшої розбудови незалежної від GNSS системи синхронізації часу у військовому секторі Служби єдиного часу і еталонних частот для визначення вимог до технічних характеристик та функціональних можливостей обладнання системи, режимів її роботи з метою забезпечення необхідної точності часу і надійності цієї системи.

Результати досліджень доцільно використати при розробці та впровадженні аналогічних систем в інших критичних до точності часу галузях [4].

### Висновки

За результатами дослідної експлуатації апаратно-програмних засобів синхронізації (прив'язки шкал часу) підсистеми забезпечення єдиним часом можна зробити такі висновки:

1. Визначено метрологічні характеристики і параметри засобів синхронізації підсистеми:

- сервер точного часу Microsemi Time Provider 4100, призначений для звірення шкал часу UTC(UA) і ВЕЗСУ 07-01-01-09 і включений у режимі веденого РТР сервера при безперервному режимі роботи (2 доби), дозволяє отримати сигнал синхронізації за протоколом РТР від національного еталона одиниць часу та частоти з СКВ 26,42 нс від середнього значення еталонного сигналу частоти 1 PPS шкали координованого часу UTC(UA);

- сервер часу Microsemi Time Provider 4100 МЦВЕ, включений у режимі провідного РТР сервера, забезпечує цілодобове передавання від ВЕЗСУ 07-01-01-09 до Головного пункту управління системою зв'язку та інформаційних систем ЗС України еталонних сигналів часу за протоколом РТР. СКВ ШЧ веденого сервера РТР вузла зв'язку (м. Київ) на інтервалі спостереження 30 діб

у періодичному режимі роботи серверів не перевищувало 100 нс. При цілодобовому режимі роботи (за 2 доби) СКВ становило 52,32 нс (за 2 доби). В періодичному режимі роботи в моменти переходу від одного джерела синхронізації до іншого спостерігається короткочасне збільшення похибки часу до кількох мікросекунд.

2. Підтверджено відповідність метрологічних характеристик апаратно-програмних засобів синхронізації вимогам, що висуваються згідно з тактико-технічним завданням до науково-дослідної роботи. Схема побудови першої черги підсистеми сервісу надання точного часу в межах функціонування військового сегменту Служби єдиного часу і еталонних частот дозволяє забезпечити цілодобовий сервіс надання точного часу, синхронізованого з національною шкалою координованого часу UTC(UA) без використання закордонних GNSS. GNSS використовуються тільки як резерв другого ешелону та як опорні сигнали системи контролю.

3. При розбудові та впровадженні підсистеми сервісу надання точного часу в межах функціонування військового сегменту Служби єдиного часу і еталонних частот необхідно приділяти увагу підвищенню надійності та точності системи. Для цього необхідно забезпечити цілодобовий режим роботи системи, резервування джерел живлення серверів, встановити режим автоматичної корекції асиметрії мережі для РТР клієнтів, задіяні в системі у віддалених вузлах резервні джерела точного часу, наприклад, вторинні еталони часу.

4. Вбудована в сервер часу Microsemi Time Provider 4100 система керування та моніторингу, а також їхнє програмне забезпечення дозволяє як дистанційно керувати роботою сервера, так і контролювати в реальному часі точність отримуваних ними сигналів синхронізації з встановленням порогових значень аварійної сигналізації. Функція автоматичної компенсації асиметрії сервера часу Microsemi Time Provider 4100 запобігає виникненню похибки синхронізації часу при зміні конфігурації мережі й забезпечує високу точність синхронізації часу.

5. Для забезпечення надійності метрологічних характеристик апаратно-програмних засобів синхронізації до сервісу надання точного часу в межах функціонування військового сегменту Служби єдиного часу і еталонних частот має входити система метрологічного контролю та управління еталонними сигналами. Вона повинна мати можливість контролювати точність сигналів синхронізації і складатися з еталонного джерела часу з сервером РТР та вимірювальної системи звірення шкал часу. Метрологічні характеристики мають відповідати вимогам стандартів ІТУ-Т, що висуваються до всіх складових мережі синхронізації за протоколом РТР.

## **Результаты опытной эксплуатации подсистемы обеспечения единым временем военных потребителей на базе серверов точного времени Microsemi Time Provider 4100**

**В.В. Солдатов<sup>1</sup>, А.В. Дзисюк<sup>2</sup>, В.М. Бойко<sup>2</sup>, А.Б. Гаврилов<sup>2</sup>,  
М.И. Свитенко<sup>2</sup>, Р.Н. Рарог<sup>2</sup>, А.Н. Свистун<sup>3</sup>, Н.В. Матвиенко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный научный центр "Институт метрологии", ул. Мироносицкая, 42, 61002, Харьков, Украина  
time.metrology@ukr.net*

<sup>2</sup> *Метрологический центр военных эталонов ВС Украины, ул. Полтавский Шлях, 195, 61098, Харьков, Украина  
gavanat66@gmail.com*

<sup>3</sup> *Главное управление связи и информационных систем Генерального штаба ВС Украины, пр. Воздухофлотский, 6,  
03168, Киев, Украина  
a.svystun@mil.gov.ua*

<sup>4</sup> *ООО "ВИРКОМ", ул. Волошская, 23, 04070, Киев, Украина  
mnv@wircom.ua*

### **Аннотация**

В рамках функционирования военного сегмента Службы единого времени и эталонных частот представлены результаты опытной эксплуатации подсистемы обеспечения единым временем военных потребителей, которая построена на базе национального эталона единиц времени и частоты, исходного эталона единиц времени и частоты Вооруженных Сил Украины с применением серверов точного времени (Microsemi Time Provider 4100) и оптоволоконных технологий для передачи сигналов синхронизации времени по протоколам PTP и NTP по пакетным сетям передачи данных – Ethernet.

Исследования подтвердили возможность передачи эталонных сигналов временной и частотной синхронизации с применением современных цифровых и оптоволоконных технологий от национального эталона единиц времени и частоты к исходному эталону единиц времени и частоты Вооруженных Сил Украины со среднеквадратичным отклонением (СКО) погрешности, не превышающим 30 нс.

Результаты исследований дают возможность сформировать базовые требования к составу, техническим характеристикам, функциональным возможностям и режимам работы оборудования системы синхронизации времени военных потребителей с использованием протоколов PTP и NTP по пакетным сетям передачи данных – Ethernet с целью обеспечения ее надежности и точности.

**Ключевые слова:** Служба единого времени и эталонных частот; синхронизация; эталонное время.

## **The results of pilot operation of the subsystem of universal time provision for military consumers based on the precise time servers Microsemi Time Provider 4100**

**V. Soldatov<sup>1</sup>, O. Dzysiuk<sup>2</sup>, V. Bojko<sup>2</sup>, A. Gavrilov<sup>2</sup>, M. Svitenko<sup>2</sup>, R. Rarog<sup>2</sup>,  
A. Svystun<sup>3</sup>, M. Matvienko<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *National Scientific Centre "Institute of Metrology", Myronosytska Str., 42, 61002, Kharkiv, Ukraine  
time.metrology@ukr.net*

<sup>2</sup> *Metrological Center of Military Standards of the Armed Forces of Ukraine, Poltavskiy Shlyakh, 195, 61098, Kharkiv, Ukraine  
gavanat66@gmail.com*

<sup>3</sup> *General Directorate of Communications and Information Systems of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine,  
Vozdukhoflotsky Avenue, 6, 03168, Kyiv, Ukraine  
a.svystun@mil.gov.ua*

<sup>4</sup> *TOV "WIRCOM", Voloska Str., 23, 04070, Kyiv, Ukraine  
mnv@wircom.ua*

### **Abstract**

As part of the operation of the military segment of the Service of Universal Time and Reference Frequencies, the results of the pilot operation of the subsystem for providing universal time for military consumers are presented, which is built on the basis of the national measurement standard of time and frequency, the output standard of the Armed Forces of Ukraine of time and frequency using precise time servers (Microsemi Time Provider 4100) and fiber-optic technologies for transmitting time synchronization signals via PTP and NTP protocols over packet data networks – Ethernet.

Studies have confirmed the possibility of transmitting reference signals of time and frequency synchronization using modern digital and fiber-optic technologies from the national measurement standard of time and frequency to the reference standard of the units of time and frequency of the Armed Forces of Ukraine with the root mean square deviation (RMS) of error not exceeding 30 ns.

RMS from the mean value of the reference signal of frequency 1 PPS of the slave server of the communication center (Kyiv) when transmitting reference signals for synchronizing time from the reference standard of the units of time and frequency of the Armed Forces of Ukraine (Kharkiv) in the observation interval of 30 days (with periodic daily switching on the servers located in the ICEC of the Armed Forces of Ukraine) did not exceed 100 ns. With a continuous operating mode (2 days), the RMS was not more than 65 ns. The research results make it possible to formulate basic requirements for the composition, technical characteristics, functional capabilities and operating modes of the equipment of the military consumer time synchronization system using the PTP and NTP protocols over packet data networks – Ethernet in order to ensure its reliability and accuracy.

**Keywords:** Service of Universal Time and Reference Frequencies; synchronization; reference time.

### Список літератури

1. Питання Служби єдиного часу і еталонних частот. Постанова Кабінету Міністрів України від 2 вересня 2015 р. № 664.
2. Про особливості метрологічного забезпечення діяльності у сфері оборони України. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2015 р. № 1152.
3. Корецький Е., Шевкун С., Головня М., Мещеряк О., Бойко В., Гаврилов А., Світенко М., Троцько М. Проблеми та шляхи вирішення завдань з контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти в Збройних Силах України. *Метрологія та прилади*. 2019. № 2. С. 57–62.
4. Матвієнко М.В., Гайдаманчук В.А., Пастушенко І.М. Особливості модернізації національної мережі єдиного часу з урахуванням досвіду впровадження сучасних технологій синхронізації часу в корпоративних мережах. *Український метрологічний журнал*. 2019. № 1. С. 12–18. doi: 10.24027/2306-7039.1.2019.164419
5. Солдатов В.В. Служба єдиного часу і еталонних частот України. Синхронізація часу з використанням Інтернет протоколів NTP і PTP: стан та перспективи розвитку. *Український метрологічний журнал*. 2019. № 3. С. 23–29. doi: 10.24027/2306-7039.3.2019.182219
2. Peculiarities of Metrological Support of Defense Activities in Ukraine. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 23, 2015. No. 1152 (in Ukrainian).
3. Koretsky E., Shevkun S., Golovnya M., Mesheryak O., Bojko V., Gavrillov A., Svitenko M., Trotsko M. Problemi ta shlyahi virishennya zavdan z kontrolyu ta upravlinnya peredavanniam etalonnih signaliv chasu ta chastoti v Zbrojnih Silah Ukrayini [Problems and Ways to Take Objectives with the Control and Management by the Transmission of Ethnic Time and Frequency Signals in the Armed Forces of Ukraine]. *Metrology and instruments*, 2019, no. 2, pp. 57–62 (in Ukrainian).
4. Matvienko M., Gaidamanchuk V., Pastushenko I. Osoblivosti modernizaciyi nacionalnoyi mrezi yedinogo chasu z urahuvanniam dosvidu vprovadzhennya suchasnih tehnologij sinhronizaciyi chasu v korporativnih mrezhah [Features of modernization of the National network of universal time based on the experience of introducing modern time synchronization solutions in corporate networks]. *Ukrainian Metrological Journal*, 2019, no. 1, pp. 12–18 (in Ukrainian). doi: 10.24027/2306-7039.1.2019.164419
5. Soldatov V. Sluzhba yedinogo chasu i etalonnih chastot Ukrayini. Sinhronizaciya chasu z vikoristanniam Internet protokoliv NTP i PTP: stan ta perspektivi rozvitku [The Service of Universal Time and Reference Frequencies of Ukraine. Time synchronization with the use of the Internet NTP and PTP: state and development prospects]. *Ukrainian Metrological Journal*, 2019, no. 3, pp. 23–29 (in Ukrainian). doi: 10.24027/2306-7039.3.2019.182219

### References

1. Issues of the Uniform Time and Reference Frequency Service. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of September 2, 2015. No. 664 (in Ukrainian).