

В.І. Огар<sup>1</sup>, О.М. Ноженко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний науковий центр "Інститут метрології", Харків, Україна

<sup>2</sup>Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, Харків, Україна

## РЕЗУЛЬТАТИ 20-РІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОГО ВТОРИННОГО ЕТАЛОНА УКРАЇНИ ОДИНИЦІ ДЕВІАЦІЇ ЧАСТОТИ

*In the report the final results of basic research metrological characteristics of Ukraine second military reference frequency deviation standards for the entire time of operation under analysis in various operating conditions and transportation. The results of the studies found that the standard provides reproduction and transmission unit as a standard-carrier. Technical resource reference is not completely exhausted, but one of the urgent needs is the need for a decision on modernization or development of a new standard using the latest advances of digital technology to provide advanced metrology measuring equipment, automation of process measurements, process and store the results of certification.*

**Ключові слова:** робочий еталон, девіація частоти, частотно-модульовані коливання, експлуатація.

### Введення

Військовий вторинний еталон України (ВВЕТУ) одиниці девіації частоти (ОДЧ), частотно-модульованого (ЧМ) сигналу (рис. 1) розроблений Харківським Національним науковим центром "Інститут метрології" у 1996 році [1,2]. Він призначений для зберігання, відтворення та передачі розміру ОДЧ, забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань при атестації та повірці робочих еталонів військового призначення (РЕВП). Конструкція еталона пристосована для транспортування і передавання одиниці фізичної величини на місцях експлуатації РЕВП. Згідно [3,4] щорічно проводилась його метрологічна атестація, результати яких узагальнені в [5].



Рис. 1. Робоче місце експлуатації ВВЕТУ ОДЧ

Підсумки 20-ти річної експлуатації ВВЕТУ ОДЧ та результатів транспортування на підставі аналізу основних метрологічних характеристик (МХ) еталону дозволять виробити вимоги до модернізації або створення нового вторинного еталону ОДЧ.

### Результати досліджень

Дослідження МХ еталона проводились в лабораторних умовах експлуатації.

Перша характеристика, яка досліджувалась, це середньоквадратичне (СКВ) відхилення результату відтворення еталонном девіації частоти  $S_v$ .

Визначення  $S_v$  у відповідності до документації проводились методом електронно-лічильного частотоміра за 10 незалежних вимірювань при несній частоті  $f_n=50$  МГц, модулюючій частоті  $f_m = 60$  кГц та девіації частоти  $\Delta f=1000$  кГц.

На рис. 2 наведена діаграма відносного значення СКВ результату відтворення еталонном девіації частоти, при цьому результати перевірки вважаються задовільними, якщо отримані значення не перевищують  $5 \cdot 10^{-4} \Delta f$ .

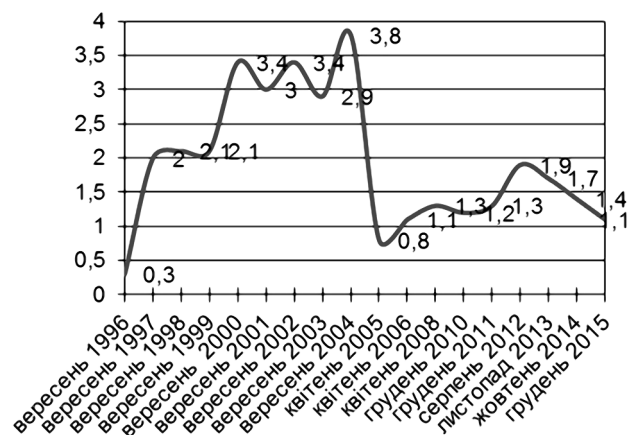


Рис. 2. СКВ результату відтворення ОДЧ

Друга характеристика, яка досліджувалась, це середньоквадратична похибка передачі еталонном ОДЧ. Оскільки еталон є активна міра, яка відтворює розмір

ОДЧ шляхом генерації ЧМ сигналу з каліброваними значеннями девіації частоти, то передача розміру ОДЧ активним засобом вимірювання здійснюється зв'язанням (компаруванням) девіації частоти еталону  $\Delta f_{\text{ЕП}}$  з девіацією частоти ЧМ сигналу РЕВП  $\Delta f_{\text{РЕВП}}$ , який атестується. Результати спостереження СКВ компарування ОДЧ, які отримані під час незалежної метрологічної атестації (НМА) еталону, починаючи з 1996 по 2015 рр., представлені на діаграмі рис. 3 для девіації частоти  $\Delta f = 1000$  кГц на модулюючій частоті 200 кГц. Із рис. 3 видно, що отримані результати спостережень за 20 років експлуатації еталону на робочому місці відповідають паспортним даним і не перевищують  $5 \cdot 10^{-4} \Delta f$ . Еталон здатний відтворювати та передавати розмір ОДЧ до РЕВП.

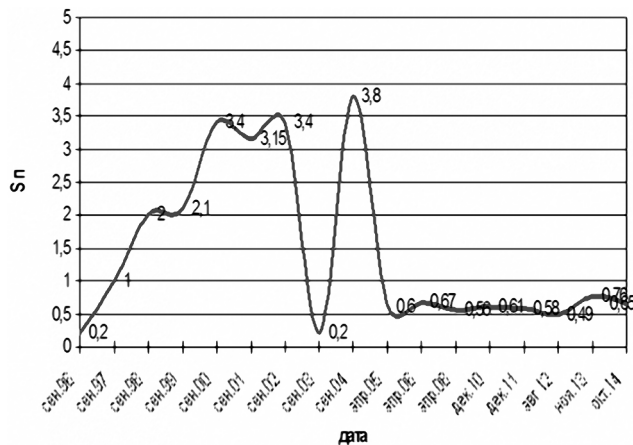


Рис. 3. СКВ передачі ОДЧ

Наступна характеристика, яка досліджувалась, це невилучена систематична похибка відтворення еталонном парціальних та пікових значень девіації частоти (НСП). Визначення похибки відтворення парціальних значень девіації частоти за першою гармонікою модуляції виконується шляхом порівняння значень, які вимірюються методом електронно-лічильного частотомира та методом нулів функції Бесселя за відповідною методикою [5]. На рис. 4 наведена діаграма спостереження за значеннями НСП за весь час експлуатації ВВЕТУ ОДЧ з 1996 року. Результати перевірки вважаються задовільними, якщо НСП еталона не перевищує 0,6 %.

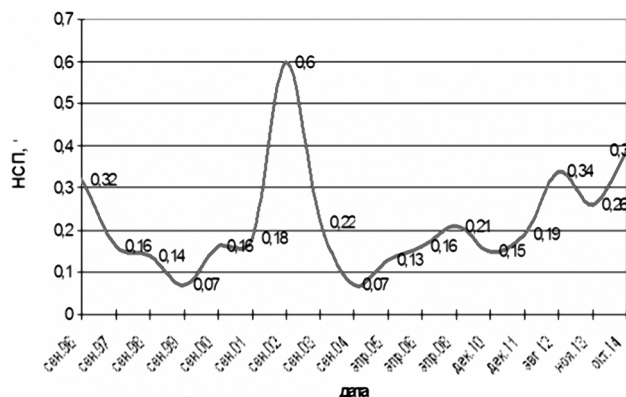


Рис. 4. НСП відтворення ОДЧ

На рис. 5 представлена діаграма спостереження за стабільністю параметрів еталону за весь час експлуатації. Як видно із рис. 5, отримані результати спостережень даної характеристики за 20 років експлуатації на робочому місці в основному стабільні, але у 2002 році мав місце вихід параметру стабільності еталону за межі допустимих значень.

У подальшому нестабільність не перевищувала  $3 \cdot 10^{-3} \Delta f$  (Гц/рік) або або 0,3 %, що відповідає паспортним даним.

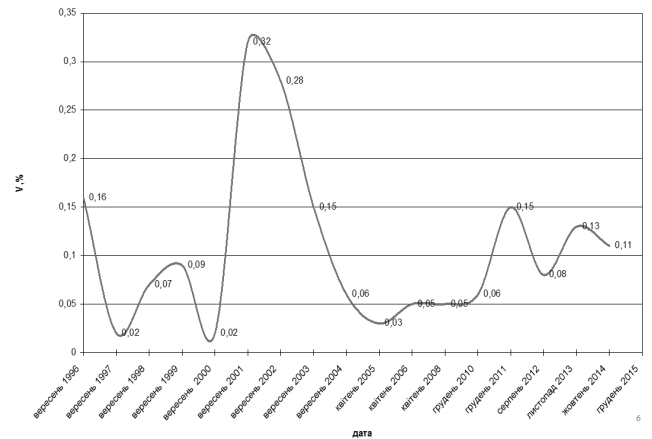


Рис. 5. Стабільність відтворення ОДЧ

### Метрологічні характеристики до і після транспортування

За весь час експлуатації еталон тільки один раз використовувався як еталон-переносник ОДЧ (ЕПДЧ). Спостереження за МХ еталону здійснено до і після транспортування на відстань 350 км та знаходження тривалий час в польових умовах [7].

Перша характеристика, яка досліджувалась, це рівень вихідної напруги ЧМ сигналу, який відтворюється еталонном на частотах носія 50 МГц, 10 МГц, 5 МГц, 1 МГц. Спостереження проводились на основній частоті 50 МГц за допомогою вимірювача модуляції СКЗ–45, який підключений до ЕПДЧ в режимі вимірювання рівня сигналу. Результати річних спостережень за рівнем вихідної напруги ЧМ сигналу, який відтворюється еталонном на несній частоті 50 МГц наведені на рис. 6 та вважаються задовільними, якщо значення рівня вихідної напруги ЧМ сигналу не менше 100 мВ.

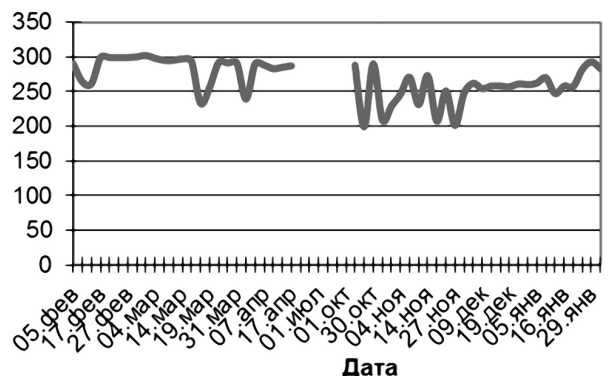


Рис. 6. Рівень вихідної напруги ЧМ сигналу

На рис. 6 та на інших рисунках позначено, що з кінця квітня місяця по жовтень 2014 року вимірювання не проводились, у зв'язку з тим, що еталон знаходився поза межами постійної дислокації.

Як видно із рис. 6, результати річних спостережень задовольняють технічним даним на еталон. Отримані значення знаходяться в межах від 200 до 300 мВ, тому дана МХ еталона до передислокації та після її відповідає паспорту. Але, слід зазначити наявність у першому місяці після передислокації еталону колювання рівня вихідної напруги ЧМ сигналу.

Друга характеристика, яка досліджувалась, це середньоквадратичне значення рівня частотного фону та шуму ЧМ сигналу, який відтворюється еталонем на основній частоті 50 МГц для полоси 0,02–200 кГц. Визначення середньоквадратичного значення рівня частотного фону та шуму ЧМ сигналу [1] здійснюється шляхом вимірювання девіації частоти немодульованого сигналу ЕПДЧ —  $\Delta f_{\text{ЕПДЧ}}$  на п'ятій гармоніці сигналу 50 МГц, тобто 250 МГц на виході помножувача частоти в блоці генератора дискретних частот установки вимірювальної К2–38, вимірювані рівня фону й шуму  $\Delta f_{\text{СКЗ-45}}$  за результатами атестації вимірювача модуляції СКЗ–45 і проведення розрахунку за формулою

$$\Delta f_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{\Delta f_{\text{ЕПДЧ}}^2 - \Delta f_{\text{СКЗ-45}}^2}}{5}$$

Результати річних спостережень за рівнем частотного фону та шуму ЧМ сигналу на частоті носія 50 МГц в полосі 0,02–200 кГц наведені на рис. 7 та вважаються задовільними, якщо отримані значення не перевищують 300 Гц.

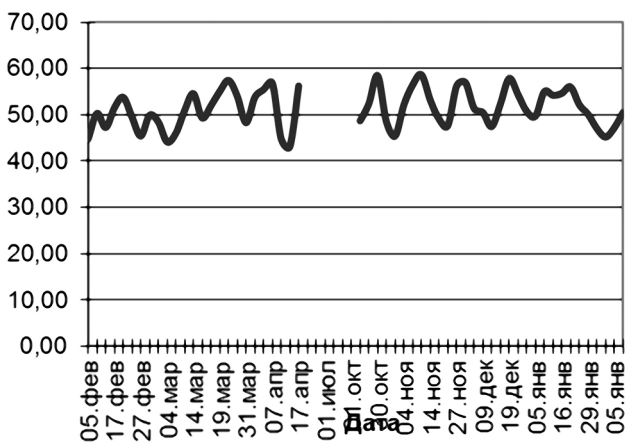


Рис. 7. Рівень частотного фону та шуму до і після транспортування

Як видно із рис. 7, результати річних спостережень задовольняють технічним даним на еталон. Отримані значення до передислокації та після повернення не перевищують 300 Гц, тому МХ еталона відповідають паспорту.

Третя характеристика, яка досліджувалась — СКВ відтворення еталонем девіації частоти. Резуль-

тати річних спостережень за СКВ відтворення еталонем девіації частоти  $\Delta f = 1000$  кГц. При модулюючих частотах 0,03 кГц, 6 кГц, 60 кГц до і після транспортування наведені на рис. 7. Отримані значення задовольняють паспорту та не перевищують 0,05 %.

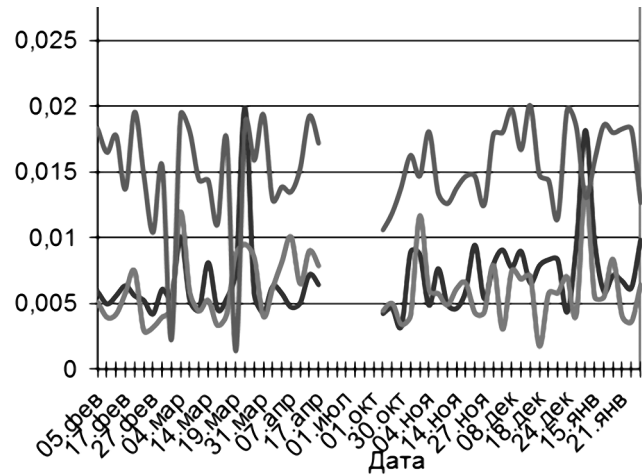


Рис. 8. СКВ відтворення ОДЧ до і після транспортування

Четверта характеристика, яка досліджувалась — СКВ передавання значення ОДЧ.

На рис. 9 представлена діаграма річного спостереження значень СКВ передавання значення ОДЧ  $\Delta f = 1000$  кГц на моделюючих частотах 200 кГц та 0,03 кГц. Результати спостережень, які виконані до передислокації та після повернення еталону на робоче місце не суперечать паспортним даним та повинні бути не більше 0,05 %.

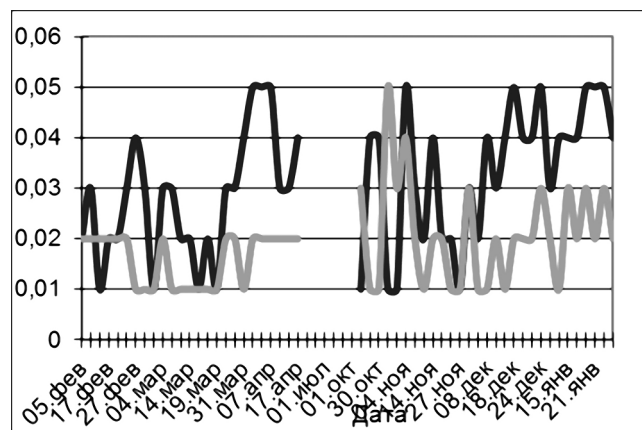


Рис. 9. СКВ передавання до і після транспортування

Як видно, результати спостережень, які виконані до передислокації та після повернення еталону на робоче місце не суперечать паспортним даним на еталон та його технічним характеристикам. Але слід зазначити, що:

— по-перше, на МХ еталону впливають умови зберігання та експлуатації, із діаграми видно, що у квітні та жовні місяці спостерігається погіршення значень СКВ<sub>комп</sub> девіації частоти до межі допустимого значення, яке дорівнює 0,05 %;

— по-друге, із діаграми видно, що у першій місяць після передислокації еталону з 20 жовтня по



17 листопада 2014 року спостерігається хаотичне коливання характеристики еталону від мінімального до максимального значень.

Наступна характеристика, що досліджувалась, це невилучена систематична похибка відтворення еталоном парціальних та пікових значень девіації частоти (НСП). Визначення похибки відтворення парціальних та пікових значень девіації частоти по першій гармоніці модуляції виконано під час НМА еталону у 2013, 2014 та 2015 роках.

Результати перевірки наведені у табл. 1 та вважаються задовільними, якщо значення НСП дорівнюють  $\delta(\Delta f) \leq 0,6 \%$ .

Таблиця 1. Отримані значення спостережень

Параметри сигналу, які вимірювались $F_m = 200$ кГц; $\Delta f = 481$ кГц; $f_n = 50$ МГц	Отримане значення НСП, %
листопад 2013 року	0,26
жовтень 2014 року	0,39
січень 2015 року	0,34

Як видно із табл. 1, результати спостережень за НСП відтворення еталоном девіації частоти у 2013–2015 роках показують, що отримані значення за межі допустимого не вийшло, МХ еталону до передислокації та після її відповідають паспортним даним.

### Характеристики надійності

Крім досліджень МХ еталону, розглянуті інші експлуатаційні характеристики еталону: напрацювання на відмову, гама-відсотковий ресурс, гама-відсотковий строк служби. Результати порівняння паспортних експлуатаційних характеристик еталону та фактичних даних, отриманих за весь час експлуатації, наведені у табл. 2:

Таблиця 2. Результати порівняння характеристик

Назва характеристики	Значення визначене у документації	Фактично отримане значення
Напрацювання на відмову	2000 годин	1920 годин
Гама-відсотковий ресурс	10000 годин	5400 годин
Гама-відсотковий строк служби	10 років	20 років

Із табл. 2 видно, що експлуатаційна характеристика напрацювання на відмову в основному відповідає характеристиці, яку визначив розробник, оскільки перша відмова, яка виникла, фактично відповідає паспортним даним. Щодо інших характеристик, то слід зазначити, що гама-відсотковий

ресурс еталона не вичерпано, а гама-відсотковий строк служби вдвічі перевищено.

### Висновки

За результатами проведених досліджень встановлено, що еталон працездатний, має задовільний стан, забезпечує відтворення і передачу розміру ОДЧ, витримує режим транспортування та здатний передавати розмір одиниці фізичної величини як еталон-переносник.

Технічний ресурс еталона остаточно не вичерпаний, але нагальною потребою є необхідність прийняття рішення про проведення модернізації еталону або розроблення нового еталону з використанням досягнень цифрової техніки для метрологічного забезпечення нових засобів вимірювальної техніки, обробки та зберігання результатів атестації.

### Список літератури

- [1] Эталон-переносчик единицы девиации частоты. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. АМШК.411166.001 ТО. X. — ННЦ «Институт метрологии», 1996. — 76 с.
- [2] Pavlenko Yu.F., Ogar V.I., Kolbasin A.I., Shpanion S.P. Mobile standard of frequency deviation unit in frequency modulation signals CPEM Digest (Conference on Precision Electromagnetic Measurements), Germany, Braunschweig, 1996.
- [3] Метрологія. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Державна повірочна схема для засобів вимірювань девіації частоти: ДСТУ 3392–96. — [Чинний від 1997.01.01]. — К.: Держстандарт України, 1996. — 21 с.
- [4] Метрологія. Вимірювачі девіації частоти та девіації фази. Методи повірки: ДСТУ 4005–2000. — [Чинний від 2001.01.07]. — К.: Держстандарт України, 2000. — 14 с.
- [5] Огар В.І., Ноженко О.М., Бойко В.М. Меркулов О.А. Дослідження метрологічних характеристик вихідного еталона Збройних сил України одиниці девіації частоти за 20 років його експлуатації. Український метрологічний журнал. Вип. № 1. — Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2016.
- [6] Павленко Ю.Ф., Шпаньон П.А. Измерение параметров частотно-модулированных колебаний. — М.: Радио и связь, 1986. — 286 с.
- [7] Огар В.І., Дзисюк О.В., Бойко В.М., Ноженко О.М. Дослідження впливу передислокації еталона-переносника одиниці девіації частоти на його метрологічні характеристики. Український метрологічний журнал. Вип. № 1. — Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2015. — С. 21–27.