



ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕТАЛОНА-ПЕРЕНОСНИКА ОДИНИЦІ ДЕВІАЦІЇ ЧАСТОТИ ПІСЛЯ ВПЛИВУ НА НЬОГО ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ГРАНИЧНИХ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ

- В.І. Огар,** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент Харківського національного університету радіоелектроніки
- О.В. Дзисюк,** начальник Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків
- В.М. Бойко,** начальник науково-дослідного відділу – заступник начальника Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків
- О.М. Ноженко,** старший науковий співробітник Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків



В.І. Огар



О.В. Дзисюк



В.М. Бойко



О.М. Ноженко

Розглянуто вплив на метрологічні характеристики еталона-переносника одиниці девіації частоти його передислокації, яка включала транспортування автомобільним транспортом у визначений район та зберігання його в умовах неопалюваного ангару поза межами пункту постійної дислокації.

The influence of relocation of the mobile standard of frequency deviation onto its metrological characteristics, which included: transportation by road to a certain area and its storage in conditions of unheated hangar outside their home stations is considered.

Дослідження метрологічних характеристик проводилися на еталоні-переноснику одиниці девіації частоти, який є військовим вторинним еталоном України одиниці девіації частоти (ВВЕТУ 09-03-02-99), розробленим Національним науковим центром “Інститут метрології” та прийнятим на озброєння у Збройних Силах України у 1997 р. як зразок озброєння та військової техніки. Еталон-переносник одиниці девіації частоти (ЕПДЧ) призначений для зберігання, відтворення та передавання розміру одиниці девіації частоти, забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань під час атестації та перевірки засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП), які використовуються при метрологічному обслуговуванні різноманітного озброєння [1].

У 2014 р. на ЕПДЧ здійснювалася перевірка робочого еталона військового призначення (РЕВП) – установки вимірювальної К2-38, яка використовується для калібрування інших ЗВТВП, а також при технічному обслуговуванні озброєння та військової техніки. Унікальною особливістю еталона є те, що він є еталоном-переносником і може забезпечити разом із допоміжним обладнанням перевірку ЗВТВП безпосередньо на місцях дислокації озброєння [1]. Згідно з інструкцією щодо передислокації транспортування еталона може здійснюватися будь-яким видом транспорту за умови захисту від прямого впливу атмосферних опадів. Під час транспортування автомобільним транспортом швидкість не повинна перевищувати 60 км/год для шосейних доріг та 30 км/год – для ґрунтових [2].

За час експлуатації, починаючи з 1997 р., еталон жодного разу не був переміщений до іншого місця роботи і весь час знаходився на пункті постійної дислокації у приміщенні в лабораторних умовах експлуатації. Згідно з паспортом умови експлуатації мають бути такими: температура повітря – $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, відносна вологість – $(65 \pm 15) \%$, атмосферний тиск – (750 ± 30) мм рт. ст. [1].

Оскільки еталон, згідно з паспортом, є еталоном-переносником і разом із допоміжним обладнанням здатний передавати розмір одиниці девіації частоти до РЕВП та ЗВТВП безпосередньо

на місцях дислокації озброєння на територіально рознесених пунктах, то цікаво було б за час експлуатації здійснити його транспортування та перевірити метрологічні характеристики (МХ) до та після передислокації.

Із цією метою у 2014 р. було проведено транспортування еталона та перевірку його окремих МХ до та після передислокації. З квітня по жовтень 2014 р. було виконано тимчасову передислокацію еталона у визначений район на відстань 350 км автомобільним транспортом у штатній тарі та зберігання його в граничних умовах температурно-вологісного режиму.

До передислокації еталона, у відповідності до плану досліджень ЕПДЧ на 2014 р., перевірялися його основні метрологічні характеристики, а саме [1]:

| | |
|--|--|
| Діапазон відтворюваних значень девіації частоти (Δf), Гц | 1·10 ² ...1·10 ⁶ |
| Діапазон модулюючих частот (F_m), кГц | 0,02...200 |
| Діапазон несних частот (f_n), МГц | 0,1...1000 |
| Рівень вихідної напруги частотно-модульованого (ЧМ) сигналу, який відтворюється еталonom на несних частотах 50, 10, 5, 1 МГц, мВ, не менше | 100 |
| Середньоквадратичне значення рівня частотного фону та шуму ЧМ-сигналу, який відтворюється еталonom на частоті 50 МГц: для смуги 0,3...3,4 кГц, Гц, не більше | 10 |
| для смуги 0,02...20 кГц, Гц, не більше | 45 |
| для смуги 0,02...200 кГц, Гц, не більше | 300 |
| Середньоквадратичне відносне відхилення результату | |

компарування ($СКВ_{\text{комп}}$) одиниці девіації частоти, %, не більше 0,05

Середньоквадратичне відносне відхилення результату відтворення ($СКВ_{\text{відт}}$) еталonom одиниці девіації частоти, %, не більше 0,05

Невилучена систематична відносна похибка відтворення еталonom парціальних та пікових значень девіації частоти, %, не більше 0,6

Для проведення досліджень щодо впливу передислокації ЕПДЧ на МХ після повернення еталона на пункт постійної дислокації були перевірені ті ж самі МХ. Розглянемо досліджувані МХ, що привертають особливу увагу.

Перша досліджувана характеристика – це рівень вихідної напруги ЧМ-сигналу, який відтворюється еталonom на відповідних несних частотах. Спостереження проводилися на основній несній частоті 50 МГц за допомогою вимірювача модуляції СКЗ-45, підключеного до ЕПДЧ у режимі вимірювання рівня сигналу. Результати річних спостережень за рівнем вихідної напруги ЧМ-сигналу, який відтворюється еталonom на несній частоті 50 МГц (рис. 1), вважаються задовільними, якщо значення рівня вихідної напруги ЧМ-сигналу не менше 100 мВ. На рис. 1 та на інших рисунках позначено, що з кінця квітня по жовтень 2014 р. вимірювання не проводилися, у зв'язку з тим що еталон знаходився поза межами пункту постійної дислокації.

Як видно із рис. 1, результати річних спостережень відповідають технічним даним на еталон. Отримані значення знаходяться в межах від 200 до 300 мВ, тому ця МХ еталона до і після передислокації відповідає паспорту. Але слід звернути увагу на наявність у першому місяці після передислокації еталона коливання рівня вихідної напруги ЧМ-сигналу.

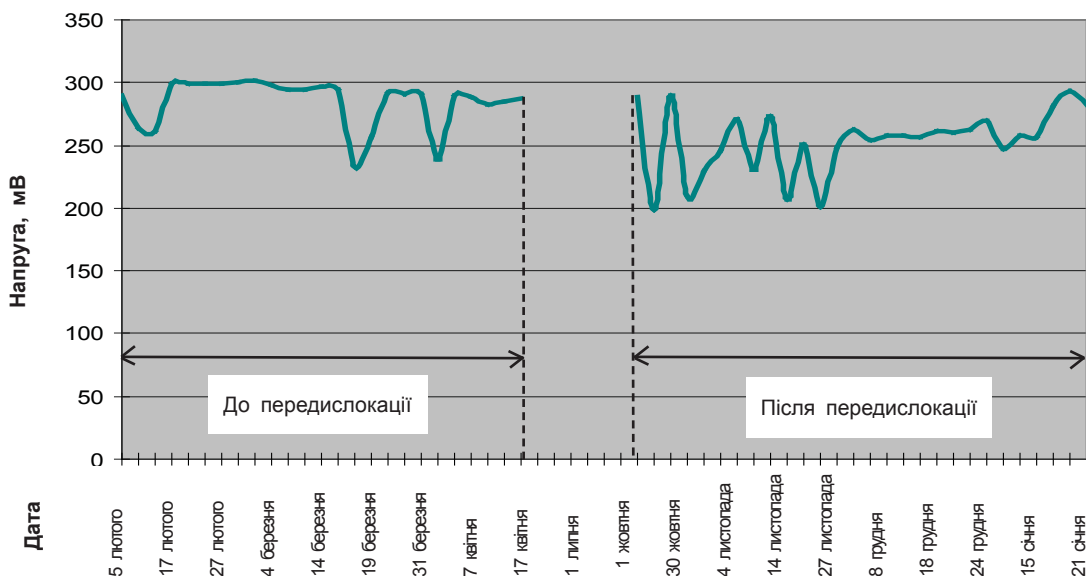


Рис. 1

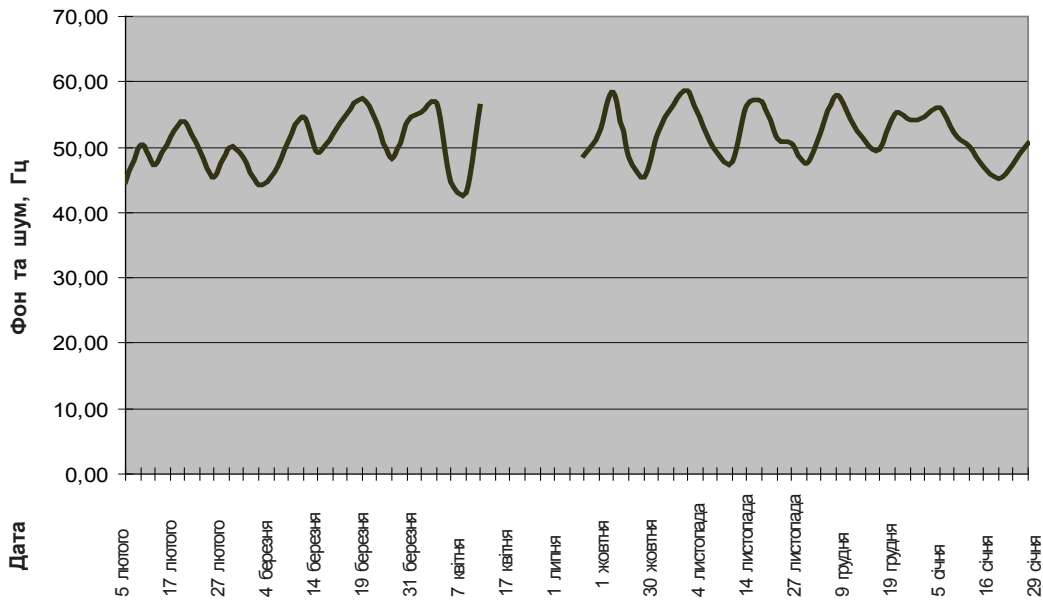


Рис. 2

Друга досліджувана характеристика – середньоквадратичне значення рівня частотного фону та шуму ЧМ-сигналу, який відтворюється еталоном на основній частоті 50 МГц для смуги 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, вимірювання рівня фону й шуму $\Delta f_{\text{СК3-45}}$ за результатами атестації вимірювача модуляції СК3-45 і проведення розрахунку за формулою

$$\Delta f_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{\Delta f_{\text{ЕПДЧ}}^2 - \Delta f_{\text{СК3-45}}^2}}{5}.$$

Результати річних спостережень за рівнем частотного фону та шуму ЧМ-сигналу на несній частоті 50 МГц у смугі 0,02...200 кГц (рис. 2) вважаються задовільними, якщо отримані значення не перевищують 300 Гц.

Як видно із рис. 2, результати річних спостережень відповідають технічним даним на еталон. Отримані значення до передислокації та після повернення не перевищують 300 Гц, тому МХ еталона відповідають паспорту.

Третя досліджувана характеристика – СКВ_{комп} під час передавання розміру одиниці девіації частоти від еталона-переносника до робочого еталона. Процес передавання розміру має дві стадії: режим калібрування та режим компарування. У режимі калібрування виконується встановлення необхідних значень девіації частоти на виході генератора ЧМ-сигналів ЕПДЧ методом електронно-лічильного частотоміра (ЕЛЧ) [1, 3]. У режимі компарування виконується

порівняння встановленого значення девіації частоти еталона з девіацією частоти ЧМ-сигналу РЕВП. Принцип дії компаратора ЕПДЧ ґрунтується на використанні методу заміщення, при якому порівнювані ЧМ-сигнали в короткий термін по черзі подаються на частотний детектор. Для компарування ЧМ-сигналів із різними несними частотами використовується частотний детектор зі складу вимірювача девіації частоти типу СК3-45, вихідна напруга якого подається на перетворювач напруга–частота. Імпульси з виходу перетворювача напруга–частота з частотою f , пропорційною девіації частоти, подаються на лічильник. Компарування відбувається за два такти роботи. У першому такті роботи формується інтервал вимірювань (близько 4 с) і еталонний ЧМ-сигнал подається на вхід компаратора. При цьому імпульси з виходу перетворювача напруга–частота з частотою, пропорційною девіації частоти еталона-переносника f_e , подаються на лічильник. У другому такті роботи формується такий же інтервал вимірювань, але на вхід вимірювача девіації частоти подається ЧМ-сигнал з РЕВП. При цьому на виході перетворювача напруга–частота маємо імпульси з частотою f_0 , пропорційною девіації частоти РЕВП. За перші два такти роботи ЕПДЧ у режимі компарування визначаються коди, пропорційні девіації частоти еталона, та код різниці девіацій ЕПДЧ та РЕВП, які подаються до регістрів і далі – на входи керованих подільників частоти, на виході яких маємо частоту повторення імпульсів f_1 та f_2 . Для визначення відносної різниці девіацій частот від ЕПДЧ та РЕВП сигнали частот f_1 та f_2 подаються на входи зовнішнього ЕЛЧ, який включений у режим вимірювання відношення частот. Відносна різниця девіацій частот ЕПДЧ та РЕВП у відсотках (відносна похибка) автоматично усереднюється за 10 спостережень, розраховується у відповідності до формули (1) та відображається на індикаторному табло частотоміра:

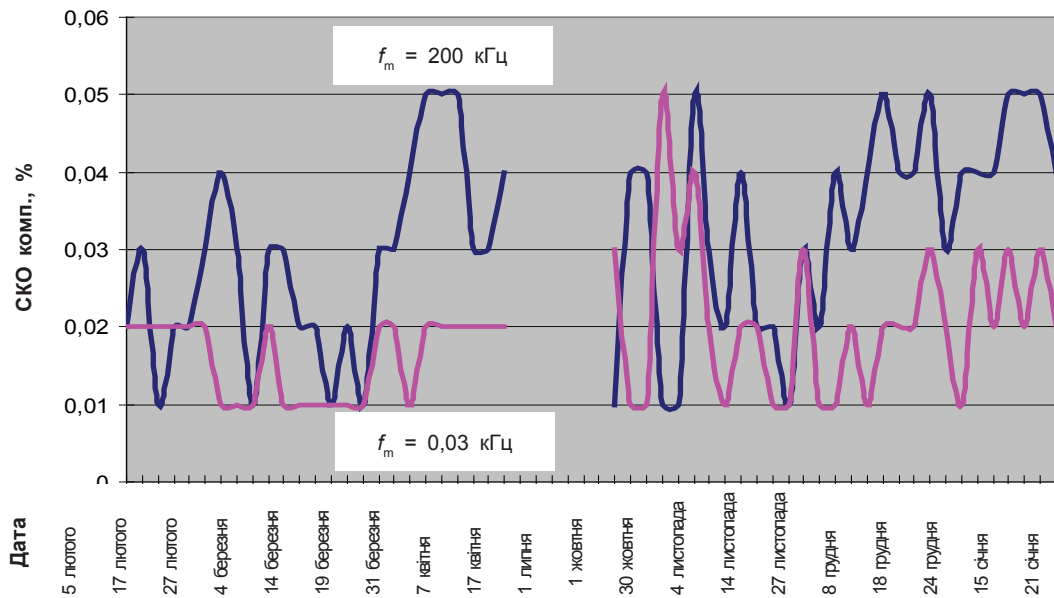


Рис. 3

$$\delta, \% = \frac{\sum_1^{10} \Delta f_e - \sum_1^{10} \Delta f_0}{\sum_1^{10} \Delta f_e} \cdot 100. \quad (1)$$

Результат компарування мало залежить від опорної частоти, нелінійних спотворень і шумів сигналів вимірювача девіації частоти завдяки короткому терміну часу вимірювань, при якому параметри сигналів і тракту проходження практично не змінюються, та алгоритму статистичної обробки результатів компарування [4].

Розглянутий вище принцип роботи ЕПДЧ у режимі компарування з деякими особливостями використовується при незалежній метрологічній атестації [5]. При цьому перший такт роботи ЕПДЧ залишається без змін, а в другому такті замість ЧМ-сигналу від РЕВП на вхід еталона подається вихід-

ний ЧМ-сигнал ЕПДЧ шляхом з'єднання його входу з виходом. Завдяки цьому існує можливість перевіряти еталон "сам на себе" та визначити СКВ_{комп} девіації частоти.

На рис. 3 наведено діаграму річного спостереження значень СКВ_{комп} девіації частоти $\Delta f = 1000$ кГц на модулюючих частотах 200 та 0,03 кГц на ЕПДЧ при з'єднанні його входу з виходом. Із рисунка видно, що отримані значення СКВ_{комп} девіації частоти еталона за рік не перевищують допустимого значення, яке дорівнює 0,05 %. Як видно, результати спостережень, виконані до передислокації та після повернення еталона на робоче місце, не суперечать паспортним даним на еталон та його технічним характеристикам. Але слід зазначити, що:

по-перше, на МХ еталона впливають умови зберігання та експлуатації; із діаграми видно, що у квітні та жовтні спостерігається погіршення зна-

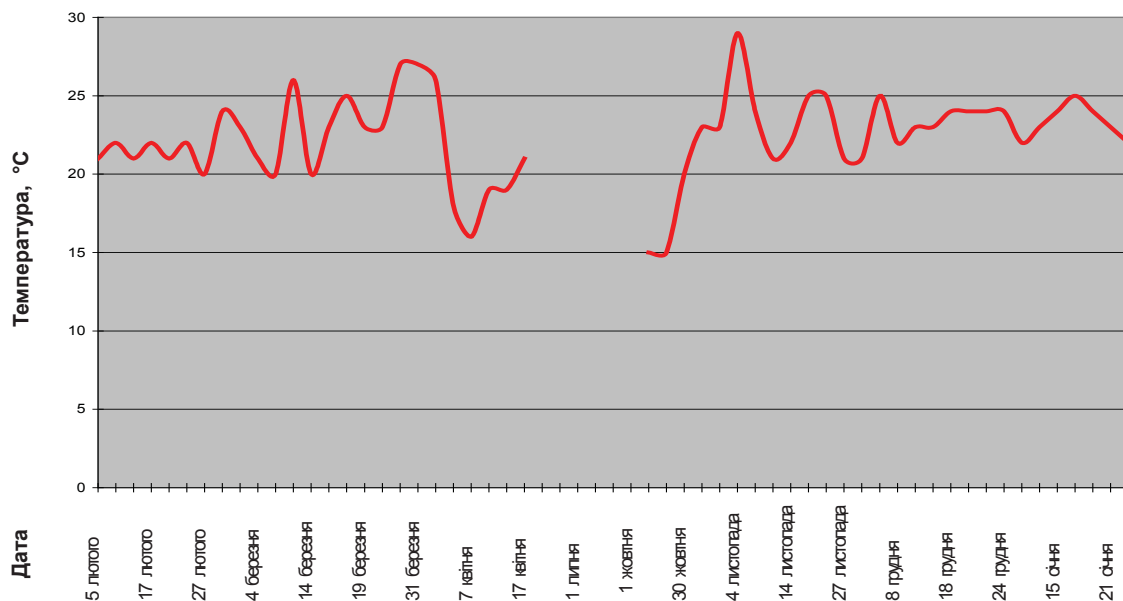


Рис. 4

чень СКВ_{компл} девіації частоти до межі допустимого значення, яке дорівнює 0,05 %;

по-друге, із діаграми видно, що у перший місяць після передислокації еталона з 20 жовтня по 17 листопада 2014 р. спостерігається хаотичне коливання характеристики еталона від мінімального до максимального значення.

Це можна пояснити тим, що на МХ еталона впливають різні фактори: температурний режим, умови експлуатації, транспортування та попереднього зберігання. Як видно із рис. 3, для відновлення та стабілізації характеристики еталона в лабораторних умовах на робочому місці знадобився приблизно один місяць.

Для виявлення зв'язку між температурою на робочому місці і СКВ_{компл} девіації частоти проведено статистичне дослідження. На рис. 4 наведено діаграму річного спостереження за температурою на робочому місці експлуатації еталона.

Статистичне дослідження щодо впливу температури на МХ еталона полягало в обчисленні коефіцієнта кореляції r_{xy} між рядами даних СКВ_{компл} (y_i) і температури (x_i) за формулами [6]

$$r_{x,y} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

де n – кількість точок спостереження.

Обчислення коефіцієнта кореляції проводилося в програмі Excel за допомогою функції КОРРЕЛ (масив t , масив СКВ_{компл}). Результати розрахунку наведено в табл. 1.

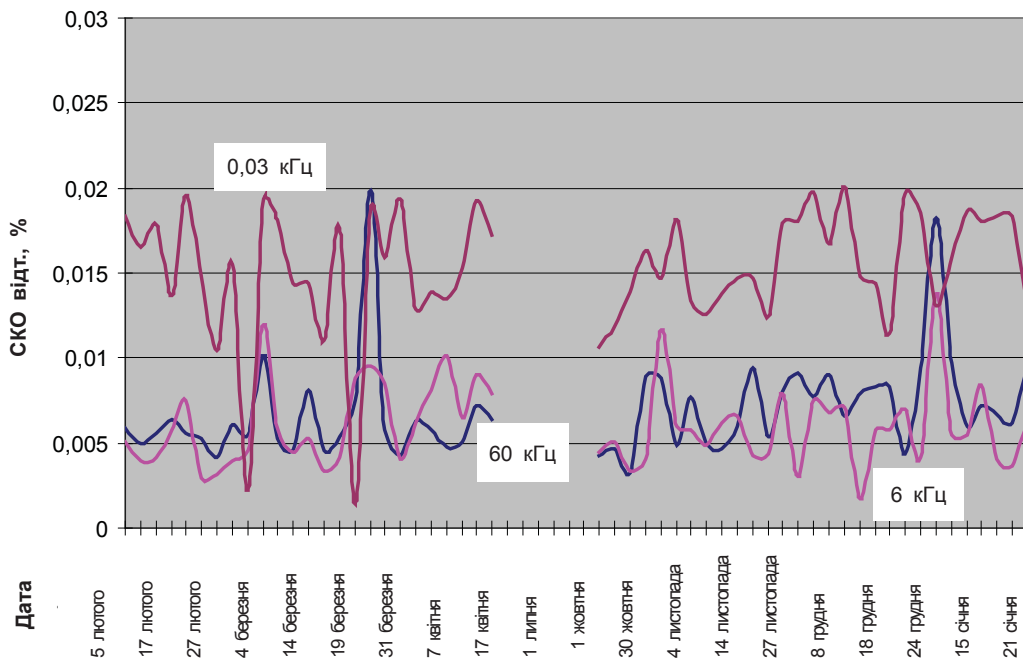


Рис. 5

Таблиця 1
Значення коефіцієнта кореляції між температурою і СКВ_{компл}

| Параметри сигналу | Коефіцієнт кореляції |
|--|----------------------|
| Для $Fm = 200$ кГц; $\Delta f = 1000$ кГц; $f_H = 50$ МГц | 0,012 |
| Для $Fm = 0,03$ кГц; $\Delta f = 1000$ кГц; $f_H = 50$ МГц | 0,293 |

Оскільки значення коефіцієнта кореляції позитивні та менші за 0,3, то можна зазначити, що сила кореляційного зв'язку між температурою і СКВ_{компл} слабка і позитивна. У цілому СКВ_{компл} практично не залежить від температури в межах нормальних умов експлуатації, а максимальні значення СКВ_{компл} у квітні та жовтні можна пояснити виходом температури за нормальні умови експлуатації еталона.

Четверта досліджувана характеристика – СКВ_{відт} одиниці девіації частоти. У відповідності до плану досліджень характеристик ЕПДЧ, у 2014 р. проводилися спостереження за СКВ_{відт} еталонном девіації частоти за 10 незалежних вимірювань при $f_H = 50$ МГц, $Fm = 60$ кГц, 6 кГц, 30 Гц та при девіації частоти $\Delta f = 1000$ кГц. Визначення СКВ_{відт} еталонном девіації частоти проводилося шляхом $n = 10$ незалежних вимірювань Δf на різних частотах модуляції методом ЕЛЧ за формулою [1]

$$S = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1) \cdot n}}$$

де x_i – результат i -го спостереження; \bar{x} – середнє значення за 10 спостережень,

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{10} x_i / n.$$

При проведенні розрахунків маємо відносне значення СКВ_{відт}, відтворене еталоном девіації частоти при $\Delta f = 1000$ кГц. Результати річних спостережень за СКВ_{відт} еталоном девіації частоти (рис. 5) вважаються задовільними, якщо отримані значення не перевищують 0,05 %.

Із рисунка видно, що:

по-перше, отримані результати спостережень до передислокації та після повернення еталона не перевищують значення 0,05 %, що відповідає паспортним даним. Передислокація еталона не вплинула на похибку відтворення еталоном одиниці девіації частоти;

по-друге, на результат СКВ_{відт} впливає значення частоти модуляції; так, значення СКВ_{відт} для частоти модуляції $Fm = 60$ та 6 кГц значно кращі, ніж для $Fm = 30$ Гц. Для оцінки впливу на МХ еталона зовнішніх умов, а саме температури, під час якої проводилися вимірювання, для наочного подання результатів спостереження на рис. 6 наведено діаграму, яка крім графіків спостереження за СКВ_{відт} одиниці девіації частоти, містить графік змінення температури на робочому місці експлуатації еталона.

Як видно із рис. 6, отримані у 2014 р. значення спостережень за СКВ_{відт} еталоном девіації частоти при зміні температури показують, що спостерігається вихід температури за нормальні умови експлуатації еталона, при цьому присутнє незначнє коливання СКВ_{відт} девіації частоти в бік погіршен-

ня значень, але за межі допустимого жодне значення не вийшло.

Результати обчислення коефіцієнтів кореляції (табл. 2), що виконане аналогічно описаному вище, підтверджують ці висновки.

Таблиця 2
Значення коефіцієнта кореляції між температурою і СКВ_{відт}

| Параметри сигналу | Коефіцієнт кореляції |
|---|----------------------|
| Для $f_m = 60$ кГц; $\Delta f = 1000$ кГц; $f_n = 50$ МГц | 0,127 |
| Для $f_m = 6$ кГц; $\Delta f = 1000$ кГц; $f_n = 50$ МГц | 0,107 |
| Для $f_m = 0,03$ кГц; $\Delta f = 1000$ кГц; $f_n = 50$ МГц | 0,125 |

П'ята досліджувана характеристика – це невилучена систематична відносна 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 незалежної метрологічної атестації еталона у 2013–2015 рр. за допомогою порівняння значень, які вимірюються методом ЕЛЧ та методом нулів функції Бесселя. Результати перевірки (табл. 3) вважаються задовільними, якщо значення НСП дорівнюють $\delta(\Delta f) \leq 0,6$ %.

Як видно із табл. 3, результати спостережень за НСП відтворення еталоном девіації частоти у 2013–2015 рр. показують, що отримані значення за межі допустимого не вийшли, МХ еталона до та після передислокації відповідають паспортним даним.

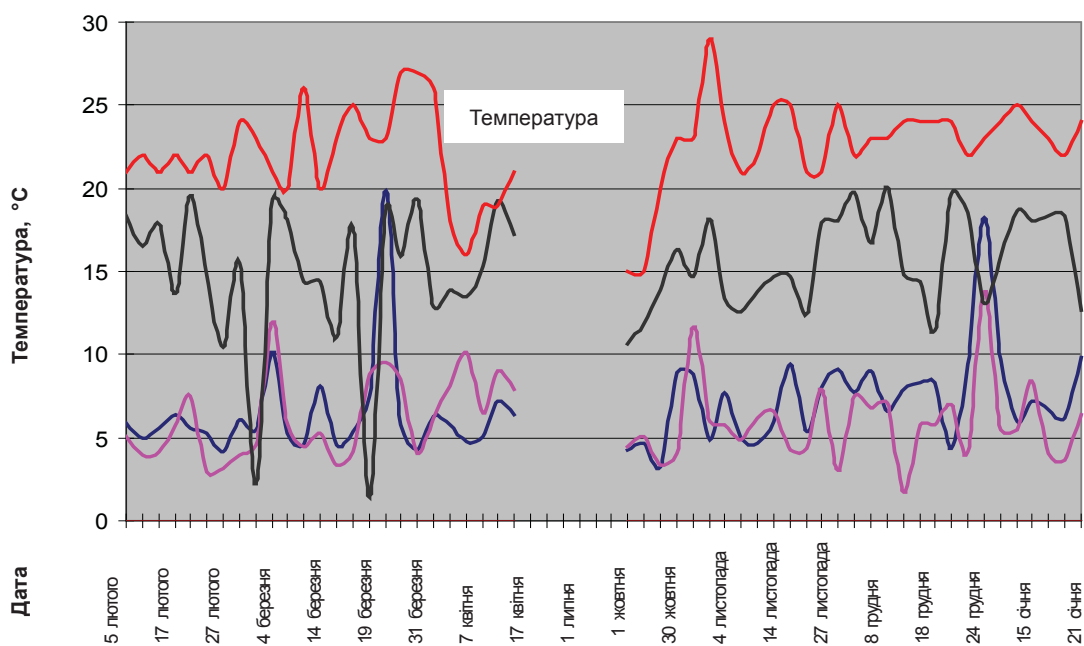


Рис. 6

Таблиця 3

Отримані значення спостережень за НСП

| Параметри сигналу, які вимірювалися: $Fm = 200$ кГц; $\Delta f = 481$ кГц; $fH = 50$ МГц | Отримане значення НСП, % |
|---|--------------------------|
| листопад 2013 р. | 0,26 |
| жовтень 2014 р. | 0,39 |
| січень 2015 р. | 0,34 |

Висновок

Еталон-переносник одиниці девіації частоти витримав режим транспортування автомобільним транспортом у визначений район на відстань в одному напрямку 350 км у штатній тарі та зберігання його в граничних умовах температурно-вологісного режиму поза межами пункту постійної дислокації, при цьому МХ еталона до та після передислокації відповідали паспортним даним.

Список літератури

1. Эталон-переносчик единицы девиации частоты. Техническое описание и инструкция по

- эксплуатации: АМШК.411166.001 ТО. – Харьков: ННЦ “Институт метрологии”, 1996. – 76 с.
2. Инструкция по передислокации эталона-переносчика единицы девиации частоты. – Харьков: ННЦ “Институт метрологии”, 1996. – 5 с.
 3. Павленко Ю.Ф. Измерение параметров частотно-модулированных колебаний / Ю.Ф. Павленко, П.А. Шпаньон. – М.: Радио и связь, 1986. – 286 с.
 4. Забезпечення єдності електрорадіовимірювань: навч. посібник для студентів вузів / Ю.Ф. Павленко, І.П. Захаров, С.І. Кондрашов, В.К. Гусельніков; за ред. Ю.Ф. Павленка. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2009. – 192 с.
 5. Военный эталон-переносчик единицы девиации частоты: методика независимой метрологической аттестации и сличения с государственным эталоном. – Харьков: ННЦ “Институт метрологии”, 1996. – 17 с.
 6. Корреляционный анализ. Использование MS Excel для расчета коэффициента корреляции: уч.-метод. пособие для студентов. – Казань: ГБОУ ВПО “Казанский государственный медицинский университет”, 2011. – 18 с.