



УДК 621.81:621.253.2

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІЙСЬКОВОГО ВТОРИННОГО ЕТАЛОНА УКРАЇНИ ОДИНИЦІ ДЕВІАЦІЇ ЧАСТОТИ ЗА ЧАС ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

- В.І. Огар,** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент Харківського національного університету радіоелектроніки, 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
- О.А. Меркулов,** науковий співробітник Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків



В.І. Огар



В.М. Бойко



О.М. Ноженко



О.А. Меркулов

*Висвітлено основні результати досліджень метрологічних характеристик військового вторинного еталона України одиниці девіації частоти за 20 років його експлуатації.*

*The results of the study of metrological characteristics of the military secondary standard of the unit of frequency deviation of Ukraine for 20 years of its operation are highlighted.*

Рівень бойової готовності Збройних Сил (ЗС) України безпосередньо залежить від ефективності застосування озброєння та військової техніки (ОВТ), при цьому важливим є забезпечення бойових та експлуатаційних характеристик систем, комплексів та зразків озброєння, які застосовуються військовими формуваннями в сучасних умовах для захисту суверенітету та територіальної цілісності держави. Для підтримання бойових характеристик озброєння важливу роль відіграє метрологічне забезпечення (МЛЗ), що вирішує завдання своєчасного та достовірного виявлення виходу параметрів (характеристик) зразків ОВТ за межі встановлених значень під час технічного обслуговування шляхом

проведення вимірювань. Достовірність результатів таких вимірювань залежить від багатьох факторів, а саме – від єдності вимірювань відповідних фізичних величин, що забезпечується передаванням розмірів їхніх одиниць від військових еталонів ЗС України до робочих еталонів військового призначення (РЕВП), за допомогою яких безпосередньо здійснюють повірку (калібрування) засобів виміральної техніки військового призначення (ЗВТВП) у місцях постійної дислокації ОВТ. Отже, правильна експлуатація та збереження метрологічних характеристик (МХ) еталонів є головною частиною технічної основи МЛЗ та необхідним завданням, від виконання якого залежить рівень боєздатності ЗС України в цілому.

Взагалі, експлуатація військового еталона являє собою складний процес, що передбачає проведення не тільки метрологічних робіт щодо атестації, повірки та калібрування ЗВТВП, а й наукових досліджень, спрямованих на вивчення властивостей еталонів, стабільності їхніх МХ, вивчення передового досвіду та аналіз сучасних досягнень у відповідних галузях науки і техніки. Це обумовлено тим, що серед більше двох десятків військових еталонів,

які знаходяться в експлуатації у ЗС України, тільки два з них мають термін експлуатації менше 5 років, решта еталонів експлуатується більше 15 років. При такому терміні експлуатації активно проявляються відмови через старіння елементної бази, тому можуть виникати проблеми із забезпеченням стабільності відтворення та передавання одиниць фізичних величин під час експлуатації військових еталонів. Через це необхідне постійне проведення досліджень МХ вихідних еталонів, які експлуатуються у ЗС України.

Військовий вторинний еталон України (ВВЕТУ) одиниці девіації частоти розроблений Національним науковим центром "Інститут метрології" у 1996 р. та експлуатується протягом 20 років. Він призначений для зберігання, відтворення та передачі розміру одиниці девіації частоти, забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань при атестації та повірці РЕВП, до яких належать установка вимірювальна зразкова К2-38 та її аналогі, а також засоби вимірювання параметрів модуляції типу: СК3-39, СК3-40, СК3-41, СК3-43, СК3-45, СК3-46 [1–3]. Зазначені засоби вимірювань використовуються для калібрування ЗВТВП та при технічному обслуговуванні ОВТ, основними з яких є: зенітно-ракетні комплекси, засоби радіотехнічної розвідки, системи зв'язку та комплекси радіоелектронної боротьби.

Експлуатація ВВЕТУ одиниці девіації частоти в основному здійснювалася в лабораторних умовах. Цей еталон одночасно є еталоном-переносником і повинен забезпечувати разом із допоміжним обладнанням повірку ЗВТВП безпосередньо у місцях дислокації ОВТ. Як еталон-переносник ВВЕТУ одиниці девіації частоти використовувався у двох випадках: у 2007 р. під час змінення дислокації установи, де експлуатується еталон, на відстань не більше 10 км та у 2014 р. під час транспортування автомобільним транспортом на відстань приблизно 300...350 км та знаходження тривалий час у польових умовах поза межами пункту постійної дислокації. Проведені дослідження підтвердили його МХ та здатність еталона передавати розмір одиниці фізичної величини [4].

ВВЕТУ одиниці девіації частоти очолює повірочну схему Міністерства оборони (МО) України щодо передачі розміру одиниці девіації частоти. За схемою передавання розміру одиниці фізичної величини він опирається на національну еталонну базу України та у відповідності до експлуатаційної документації звіряється з державним первинним еталоном одиниці девіації частоти (ДЕТУ 09-03-96), який знаходиться в ННЦ "Інститут метрології". Міжповірочний інтервал еталона встановлено 1 рік, за результатами звірень протягом усього терміну експлуатації еталон завжди було визнано придатним. Востаннє еталон було звірено з державним еталоном у березні 2015 р. та на підставі протоколу

про звірення № 252 від 18.03.2015 р. визнано придатним до застосування.

Слід зазначити, що ВВЕТУ одиниці девіації частоти одночасно є вихідним еталоном ЗС України одиниці девіації частоти та виконує важливі для держави функції щодо передачі розміру одиниці девіації частоти, створення умов та забезпечення обороноздатності за рахунок підтримання окремих видів озброєння в належному стані в галузі МЛЗ. Тому основними висунутими до еталона вимогами є: стабільність у часі МХ та постійна готовність до виконання функцій з передачі розміру одиниці фізичної величини. Виконання цих вимог можливе завдяки безвідмовній роботі еталона, дотриманню належних умов експлуатації та постійному проведенню досліджень його МХ.

У цій статті висвітлено результати досліджень за основними характеристиками еталона за 20 років експлуатації. Ці результати використано для визначення стану еталона, висвітлення основних проблемних питань та шляхів удосконалення еталонної бази ЗС України щодо продовження терміну функціонування еталона за призначенням.

Дослідження МХ еталона проводилися під час незалежної метрологічної атестації (НМА) згідно з методикою [5]. Основні МХ еталона, досліджені за час експлуатації, такі:

$S_n$  – середньоквадратична похибка передачі еталоном одиниці девіації частоти;

$S_b$  – середньоквадратичне відхилення (СКВ) результату відтворення еталоном одиниці девіації частоти;

$\theta$  – невилучена систематична похибка відтворення еталоном пікових значень девіації частоти.

Результати досліджень зазначених МХ еталона за час експлуатації наведено нижче.

Перша досліджувана характеристика – це СКВ результату відтворення еталоном девіації частоти  $S_b$ . Визначення  $S_b$  у відповідності до документації проводилися методом електронно-лічильного частотоміра за 10 незалежних вимірювань при несній частоті  $f_n=50$  МГц, моделюючій частоті  $F_m=60$  кГц та девіації частоти  $\Delta f=1000$  кГц. На рис.1 наведено діаграму спостереження за СКВ результату відтворення еталоном одиниці девіації частоти, при цьому результати спостереження вважаються задовільними, якщо отримані значення СКВ не перевищують  $5 \cdot 10^{-4} \Delta f$ . Із рисунка видно, що отримані результати спостережень за 20 років експлуатації еталона відповідають паспортним даним і не перевищують значення  $5 \cdot 10^{-4} \Delta f$ .

Друга досліджувана характеристика – середньоквадратична похибка передачі еталоном одиниці девіації частоти. Оскільки еталон є активною мірою, яка відтворює розмір одиниці девіації частоти шляхом генерації частотно-модульованого (ЧМ) сигналу з каліброваними значеннями девіації частоти, то передача розміру одиниці девіації частоти

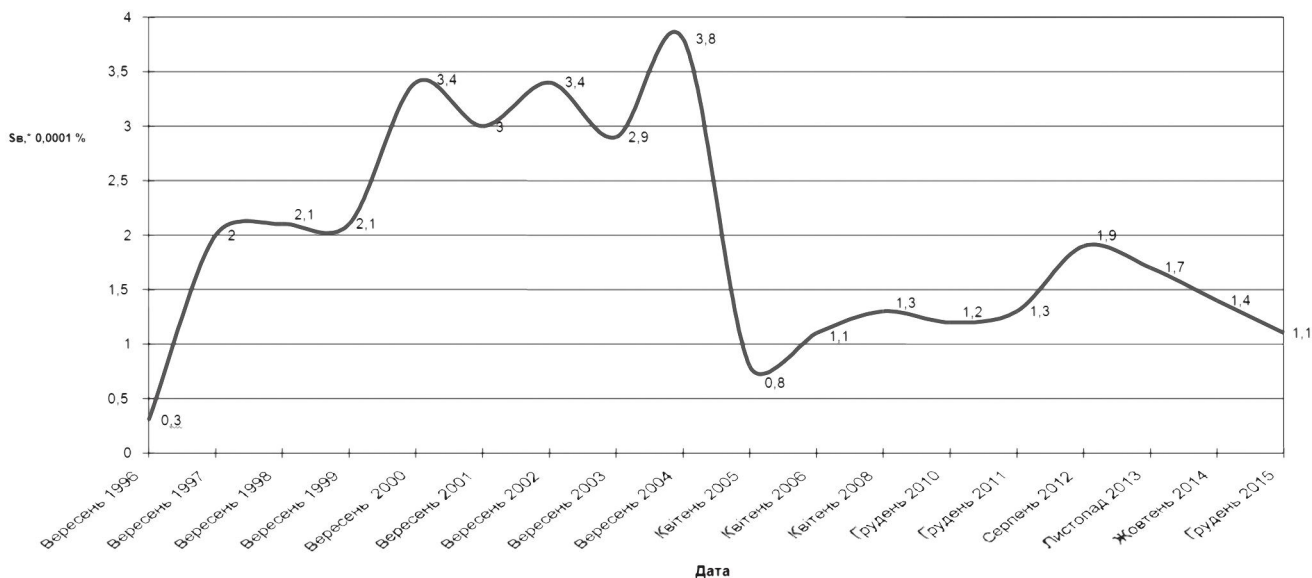


Рис. 1. Діаграма спостереження за СКВ результату відтворення еталонм одиниці девіації частоти

активним засобам вимірювання здійснюється звіренням (компаруванням) девіації частоти еталона  $\Delta f_{\text{ЕП}}$  з девіацією частоти ЧМ-сигналу РЕВП  $\Delta f_{\text{ЗВТ}}$ , який атестується. Тому за результати середньоквадратичної похибки передачі еталонм одиниці девіації частоти взято результати спостереження за СКВ компарування одиниці девіації частоти, отримані під час НМА еталона з 1996 по 2015 рр. Отримані значення показано на рис.2 для значень девіації частоти  $\Delta f = 1000$  кГц та моделюючої частоти  $F_m = 200$  кГц. Із рисунка видно, що отримані результати спостережень відповідають паспортним даним і не перевищують  $5 \cdot 10^{-4} \Delta f$ . Еталон здатний відтворювати та передавати розмір одиниці девіації частоти до РЕВП.

Наступна досліджувана характеристика – це невилучена систематична похибка (НСП) відтворення еталонм пікових значень девіації частоти. Для визначення цієї характеристики, згідно з методикою [5], спочатку здійснюється визначення похибки відтворення парціальних значень девіації частоти за першою гармонікою модуляції шляхом порівняння значень, які вимірюються методом електронно-лічильного частотоміра та методом нулів функції Бесселя. Далі проводиться розрахунок НСП відтворення пікових значень девіації частоти за відповідною формулою [5]. На рис.3 наведено діаграму спостереження за значеннями НСП за весь час експлуатації еталона. Результати спостереження вважаються задовільними, якщо НСП еталона не перевищує

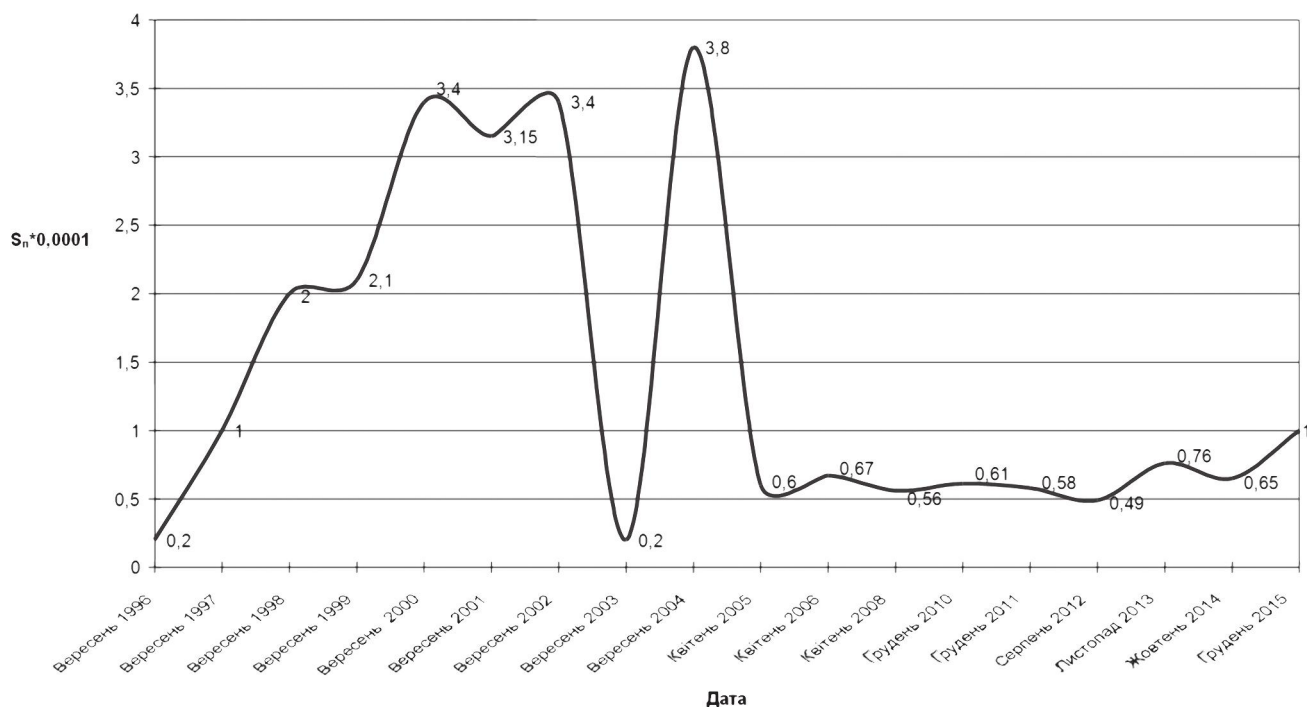


Рис. 2. Діаграма спостереження за СКВ компарування одиниці девіації частоти

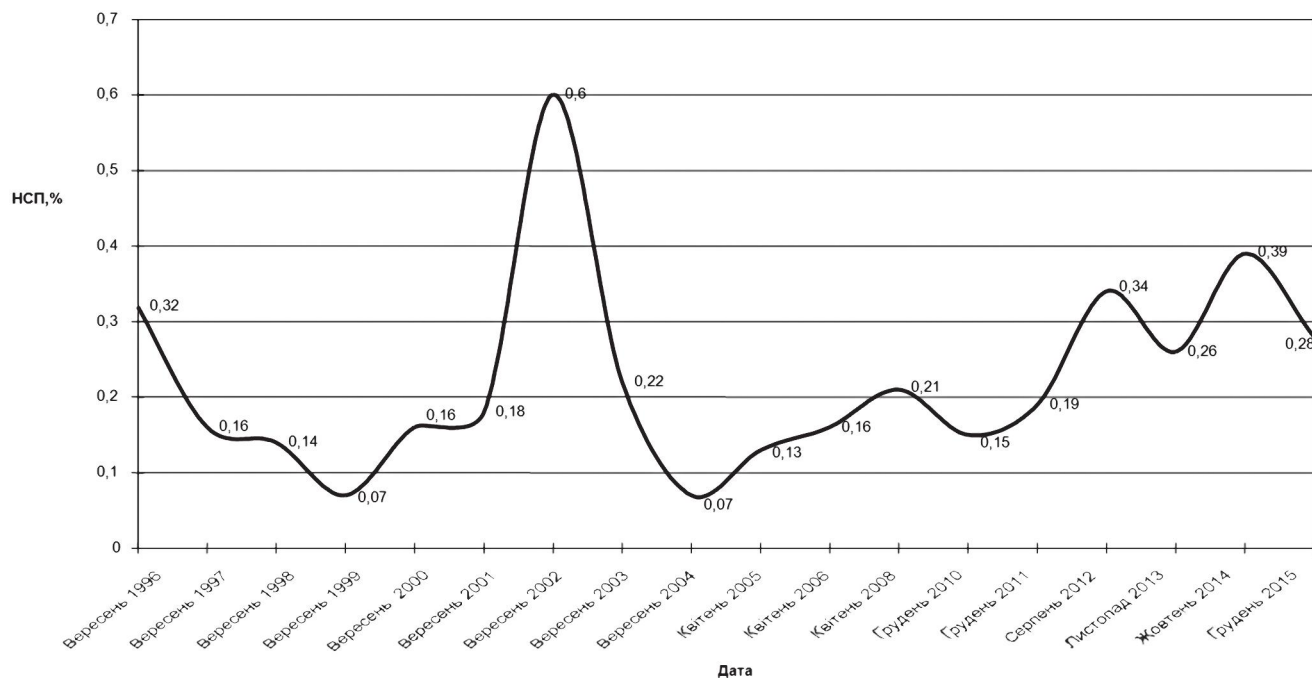


Рис. 3. Діаграма спостереження за НСП відтворення значень девіації частоти

0,6 %. Як видно з рисунка, результати спостережень за НСП відтворення еталоном пікових значень девіації частоти показують, що отримані значення за межі допустимого не вийшли, НСП відповідає паспортним даним.

На підставі проведених досліджень щодо спостережень за НСП відтворення пікових значень девіації частоти можна визначити нестабільність еталона за кожний рік експлуатації згідно з формулою:

$$v = \left| \Theta_1 - \Theta_2 \right|,$$

де  $\Theta_1$  – НСП еталона, визначеного під час НМА за поточний рік;  $\Theta_2$  – НСП еталона, визначеного під час попередньої НМА.

Результати визначення нестабільності еталона, наведені у табл.1, вважаються задовільними, якщо значення нестабільності не перевищують  $3 \cdot 10^{-3} \Delta f$  (Гц/рік) або 0,3 %.

Таблиця 1  
Результати визначення НСП та нестабільності еталона

Дата	$\Theta$ , %	$v$ , %
09.1996	0,32	0,16
09.1997	0,16	0,02
09.1998	0,14	0,07
09.1999	0,07	0,09
09.2000	0,16	0,02
09.2001	0,28	0,32
09.2002	0,60	0,28
09.2003	0,22	0,15
09.2004	0,07	0,06
04.2005	0,13	0,03
04.2006	0,16	0,05

Дата	$\Theta$ , %	$v$ , %
04.2008	0,21	0,05
12.2010	0,15	0,06
12.2011	0,19	0,15
08.2012	0,34	0,08
11.2013	0,26	0,13
10.2014	0,39	0,11
12.2015	0,28	

На рис. 4 зображено діаграму спостереження за нестабільністю параметрів еталона за весь час експлуатації. Як видно з рисунка 4, отримані результати спостережень цієї характеристики в основному стабільні, але в 2002 р. мав місце вихід параметра нестабільності еталона за межі допустимих значень. У подальшому нестабільність не перевищувала 0,3 %, що відповідає паспортним даним.

Проведений аналіз та узагальнення всіх досліджуваних МХ еталона, показують, що у період з 2000 по 2004 рр. МХ еталона нестабільні. Із рис. 1–4 видно, що значення всіх досліджуваних МХ знаходяться на границі допустимих значень, а параметр нестабільності еталона вийшов за межі допустимих значень. Для відновлення стабільності роботи еталона двічі було проведено поточний ремонт: перший раз у 2002 р., а другий – у 2004 р.. Ремонт проведено сумісними зусиллями фахівців установи, де експлуатується еталон, та установи, де еталон розроблено, після чого в ННЦ “Інститут метрології” було підтверджено МХ еталона в ході його атестації. Крім досліджень МХ еталона слід розглянути також й експлуатаційні характеристики, визначені розробником у документації на еталон, а саме: напрацювання на відмову – 2000 годин,

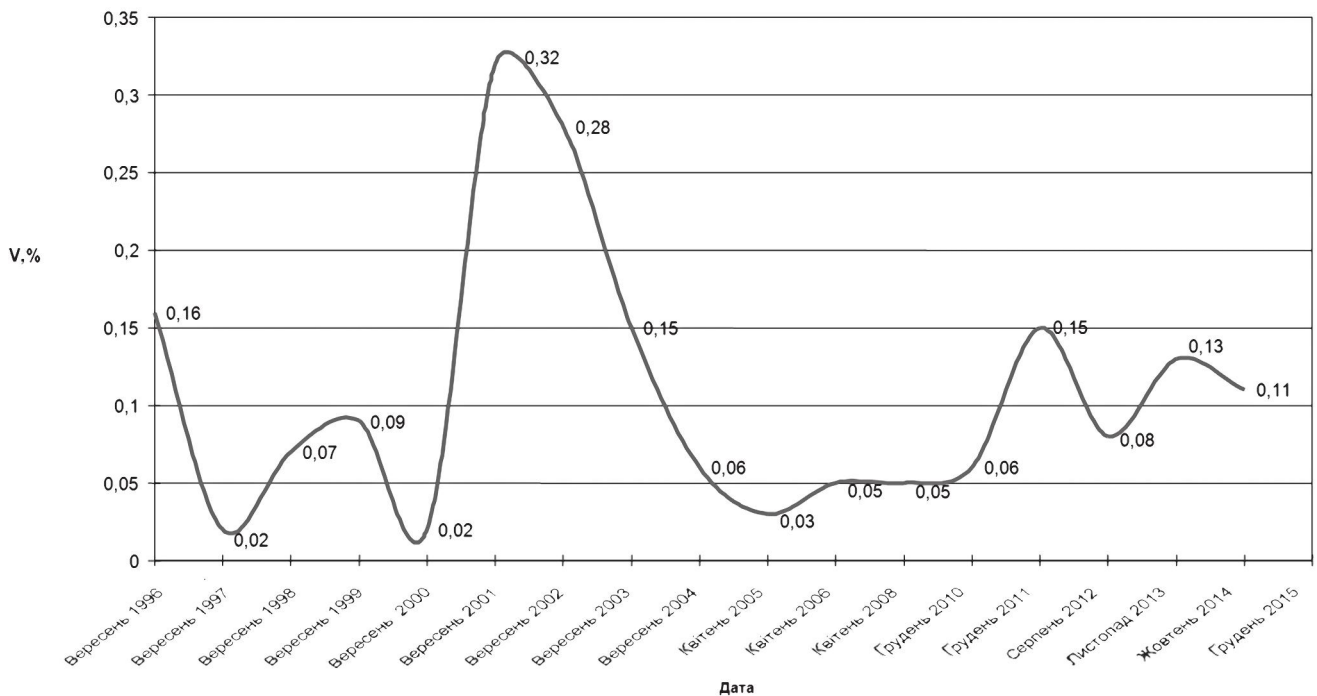


Рис. 4. Діаграма спостереження за нестабільністю еталона

гама-відсотковий ресурс – 10000 годин, гама-відсотковий термін служби – 10 років. Результати порівняння експлуатаційних характеристик еталона, визначених розробником у документації на еталон, та фактичних даних (згідно з формуляром), отриманих за весь час експлуатації, наведено в табл. 2.

Таблиця 2  
Результати порівняння експлуатаційних характеристик еталона

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

Із табл. 2 видно, що експлуатаційна характеристика напрацювання на відмову в основному відповідає характеристиці, яку визначив розробник, оскільки час виникнення першої відмови фактично відповідає паспортним даним. Що стосується інших характеристик, то слід зазначити, що гама-відсотковий ресурс еталона не вичерпано, а гама-відсотковий термін служби вдвічі перевищено.

За 20 років експлуатації еталона виявлено проблемні питання, які потребують вирішення:

- по-перше, доопрацювання документації на еталон у частині уточнення порядку проведення НМА та приведення у відповідність до вимог нової редакції (2016 р.) закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність”, у якому встановлюєть-

ся перехід від поняття “похибки вимірювання” до поняття “невизначеність вимірювання”, що відповідає прийнятому ще в 1993 р. ВІРМ, ІЕС, ІСО, ОІМЛ “Керівництву з вираження невизначеності вимірювань”;

- по-друге, необхідність модернізації існуючого або розроблення нового еталона.

Доцільність удосконалення (або модернізації) еталона обумовлено сьогоденними умовами та потребами ЗС України. Проведений аналіз літератури [6] свідчить, що існуючі типи вимірювачів девіації частоти знайшли широке застосування у діапазонах найбільш масового використання ЧМ та активно розвиваються. Їх розвиток направлений на підвищення точності вимірювання ЧМ-сигналів та розширення функціональних й експлуатаційних можливостей за рахунок впровадження мікропроцесорної техніки. Тому аналогічні вдосконалення необхідні й на еталоні. Реалізація указанного напрямку можлива лише за умови проведення наукових досліджень та виконання дослідно-конструкторської роботи щодо модернізації існуючого еталона, але така робота є досить тривалою і передбачає чимале фінансування.

Розробка нового еталона є найліпшою перспективою сучасного вдосконалення еталонної бази вимірювання одиниці девіації частоти в ЗС України. У зв'язку з тим, що в сучасних умовах зміни характеру бойових дій та військових конфліктів потребують масштабної і цілеспрямованої оптимізації ЗС України, основним змістом цього процесу є трансформація застарілих сил і засобів управління, а також оснащення сучасного ОВТ новими цифровими засобами [7]. Створений еталон повинен бути сумісним із цифровими засобами об-

робки для автоматизації процесів вимірювання та має використовуватися як автоматизоване робоче місце для повірки РЕВП. До складу такого еталона мають бути включені персональний комп'ютер та безпосередньо сам еталон. Головною особливістю такого еталона є те, що він повинен мати вбудовані засоби вимірювань, такі, наприклад, як: генератор частотно-модульованих та немодульованих коливань, генератор низьких частот, частотомір, засоби калібровки, компаратор девіації частоти та засоби введення та виведення інформації на персональний комп'ютер. Завдяки наявності у складі еталона вбудованих засобів та програмного забезпечення, він матиме такі переваги:

- заміна вбудованими засобами практично всіх стандартних ЗВТВП, які використовуються як допоміжне обладнання при повірці РЕВП на робочому місці;

- можливість повністю автоматизувати процес повірки (атестації);

- забезпечення збереження та виведення на друк результатів повірки (атестації), у тому числі протоколу та свідоцтва про повірку.

Таким чином, на підставі результатів проведених досліджень характеристик ВВЕТУ одиниці девіації частоти за час експлуатації, слід відзначити, що наразі еталон:

- працездатний, має задовільний стан та продовжує очолювати повірочну схему передачі розміру одиниці девіації частоти в МО України;

- забезпечує передачу розміру одиниці фізичної величини та єдність вимірювання девіації частоти в діапазонах найбільш поширеного застосування частотної модуляції згідно з “Військовою метрологічною схемою передачі розміру одиниці девіації частоти (ВМС 09.08–09)”, що повністю відповідає завданням метрологічних служб та охоплює всі наявні ЗВТВП та методи здійснення їх повірки й калібрування;

- потребує внесення змін у комплект документації в частині уточнення порядку проведення НМА та приведення її у відповідність до вимог нормативних документів;

- потребує вдосконалення, а саме, сучасною перспективою такого вдосконалення може бути

створення нового еталона, сумісного із цифровими засобами обробки та автоматизацією процесів вимірювання.

#### 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. 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. – (Державний стандарт України).
3. Метрологія. Вимірювачі девіації частоти та девіації фази. Методи повірки: ДСТУ 4005–2000. – [Чинний від 2001-01-07]. – К.: Держстандарт України, 2000. – 14 с. – (Державний стандарт України).
4. Дослідження метрологічних характеристик еталона-переносника одиниці девіації частоти після впливу на нього зовнішніх факторів транспортування та граничних умов зберігання / В.І. Огар, О.В. Дзисюк, В.М. Бойко, О.М. Ноженко // Український метрологічний журнал. – 2015. – №1. – С. 21–27.
5. Военный эталон-переносчик единицы девиации частоты: Методика независимой метрологической аттестации и сличения с государственным эталоном. – Харьков: ННЦ “Институт метрологии”, 1996. – 17 с.
6. 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: Вид-во “Підручник НТУ “ХПІ”, 2011. – 232 с.
7. Бондаренко Л.О. Перспективи розвитку системи зв'язку і автоматизації Збройних Сил / Л.О. Бондаренко, П.П. Кисиленко, С.П. Срібний // VI науково-технічна конференція ВІТІ. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2012. – С. 13–19.