

УДК 621.396.91

В.В. Хижняк¹, А.О. Литовченко¹, А.Г. Дмитрієв²¹ НДЦ авіації Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту, Київ² Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНКА СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКТНОЇ АТЕСТАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИПРОБУВАНЬ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Запропоновано метод кількісної оцінки вимірювань на основі комплектної атестації вимірювальних процесів з використанням мобільних еталонів передавання розміру одиниці фізичної величини.

Ключові слова: оцінка похибки вимірювань, комплектна атестація вимірювальних процесів, метрологічне забезпечення випробувань.

Вступ

З 1 січня 2016 року набрав чинності Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 р. № 1314-VII (далі за текстом – Закон). Прийняття Закону у новій редакції спрямоване на імплементацію українського законодавства до європейських стандартів та гармонізацію основних понять у сфері метрології з міжнародним словником.

Положення Закону викладено згідно з вимогами Директиви Міжнародної організації законодавчої метрології OIML D1 «Розгляд закону про метрологію».

Відповідно до ст. 22 Закону під час метрологічного нагляду за законодавчо регульованими засобами вимірювальної техніки (ЗВТ), що перебувають в експлуатації, у суб'єктів господарювання проводиться перевірка щодо:

- стану дотримання правил застосування ЗВТ;
- додержання вимог до періодичної повірки ЗВТ;
- застосування дозволених одиниць вимірювання під час експлуатації ЗВТ.

Під дотриманням правил застосування ЗВТ [1] необхідно розуміти їх відповідність вимогам введених в дію технічних регламентів, що розкривають норми надання на ринку та/або введення в експлуатацію на території України будь-якого ЗВТ.

ЗВТ, які застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології, мають пройти оцінку відповідності (головне правило застосування ЗВТ). Оцінка відповідності законодавчо регульованих ЗВТ вимогам технічних регламентів, у тому числі первинна повірка та затвердження типу ЗВТ, проводиться у разі, коли це передбачено відповідними технічними регламентами, а якщо ЗВТ не є таким, що входить до сфери метрології, оцінка відповідності проводиться на добровільних засадах.

Водночас при випробуваннях у випробувальних установах для контролю режимів технологічного процесу, проведення експериментальних і науково-дослідних робіт використовуються, у тому числі, засоби вимірювання спеціального призначення. Як правило, такі засоби вимірювання виготовляють самі підприємства й організації або по їхній заявці сторонні організації одиничними екземплярами або окремою партією без наступного відтворення. Така група засобів вимірювання має назву – нестандартизовані засоби вимірювання.

Такі засоби вимірювання допускаються до використання тільки після їхньої метрологічної атестації, що проводять з метою встановлення метрологічних характеристик, перевірки їхньої відповідності вимогам технічного завдання, технічних умов і стандартів державної системи вимірювання, визначенню метрологічних характеристик, що підлягають контролю при експлуатації, а також їхньої придатності для використання відповідно до призначення.

У процесі експлуатації нестандартизованих засобів вимірювання, що пройшли метрологічну атестацію, підлягають перевірці і на них поширюються вимоги державних стандартів і нормативної документації, що регламентують проведення метрологічного нагляду за станом і використанням засобів вимірювання.

З урахуванням зазначеного **метою роботи** є розроблення методу оцінювання точності вимірювань на основі комплектної атестації вимірювальних процесів із застосуванням нестандартизованих засобів вимірювання під час випробувань нової чи модернізованої АТ, у тому числі і безпілотної.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Відповідно до вимог стандартів комплексу нормативних документів системи розробки та постановки на виробництво техніки, зокрема і авіаційної (АТ) одним з етапів життєвого циклу будь-якого їх зразка є етап випробувань перед прийняттям в експлуатацію [2].

Метою випробувань, в результатах яких зацікавлені як замовник, так і розробник, а також і майбутній виробник, є оцінка ефективності розробленого (модернізованого) зразка АТ відповідно до вимог технічного завдання [3].

В свою чергу, складовою частиною загального комплексу заходів з випробувань АТ, як сукупності технічних систем та об'єктів, є метрологічне забезпечення цих випробувань. Враховуючи, що результати вимірювань та контролю складають інформаційну основу для прийняття рішень стосовно ефективності випробувань, до достовірності цих результатів завжди висовуються дуже високі вимоги, які визначаються вибором вимірювальних характеристик і параметрів, засобів вимірювань та контролю.

При цьому відхилення результатів вимірювань прогнозуються із заданою вірогідністю, не виходячи за встановлені межі [4]. Саме "прив'язка" вимірювань до державних еталонів є найбільш важливою умовою забезпечення єдності вимірювань. Вона, за стандартом ISO серії 9000, – необхідна і обов'язкова у забезпеченні якості оцінювання параметрів і характеристик безпосередньо зразка АТ, що підлягає випробуванням. Таким чином, можна перелічити основні принципи дотримання єдності та точності вимірювань при випробуваннях:

- результати вимірювань виражаються в загальноприйнятих, узаконених одиницях;
- відхилення результатів вимірювань відомі й прогнозовані;
- відхилення вимірювань знаходяться у встановлених межах.

У наявних літературних джерелах достатньо обґрунтовано розглядаються окремо теоретичні підходи щодо оцінювання параметрів і характеристик безпосередньо зразка АТ, що підлягає випробуванням, умов проведення випробувань, метрологічних характеристик засобів вимірювань і контролю, випробувального обладнання та устаткування. Для достовірної оцінки усіх цих параметрів і характеристик використовується до десятків тисяч прецизійних засобів вимірювань та контролю, які також, безумовно, призначені і для технічного забезпечення спеціально обладнаних випробувальних полігонів та центрів [5–6].

Виклад основного матеріалу

Сьогодні в системі державної авіації України експлуатується значний парк засобів ЗВТ, що дає змогу, в основному, забезпечити вимірювання і зберігання розмірів одиниць фізичних величин та доведення їх до споживачів. Проте метрологічний і технічний рівень більшості засобів вимірювальної техніки не відповідає перспективним вимогам споживачів суб'єктів державної авіації України, а вартість метрологічних послуг для робочих еталонів, особливо на верхньому рівні, надто велика і має тенденцію до зростання. До того ж різко зростає вартість транспортування засобів вимірювальної техніки до місця дислокації вихідних еталонів, досягаючи у більшості випадків вартості метрологічної послуги.

Реалізація існуючого методу атестації робочих еталонів (вимірювальний процес – ВП) здійснюється за схемою, наведеною на рис. 1 [5].

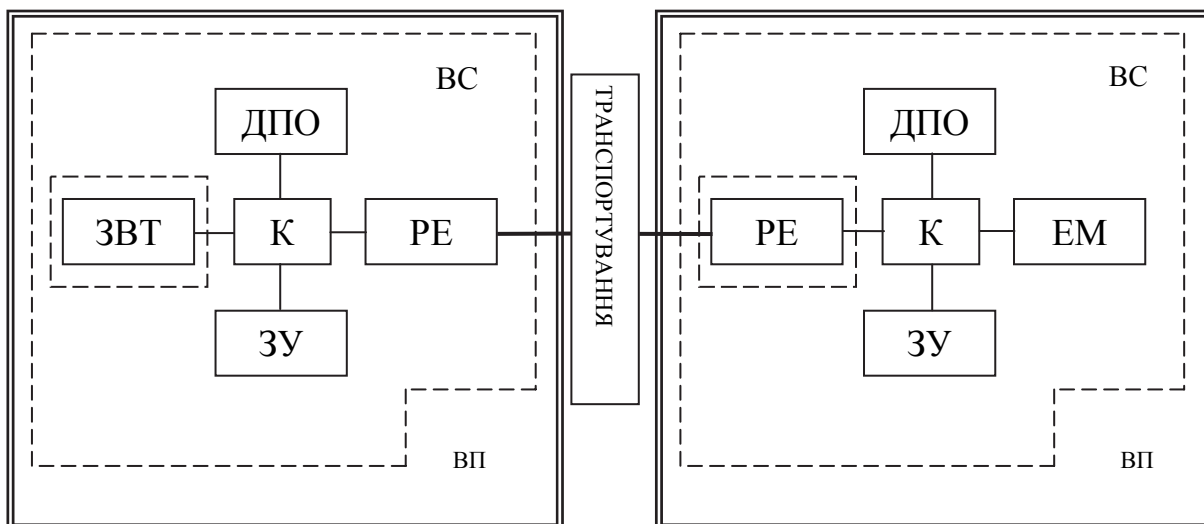


Рис. 1. Схема поелементної атестації

Робочі еталони, що мають повірятися та атестуватися, вилучаються з вимірювальної системи (ВС) метрологічної лабораторії, транспортуються до місця дислокації вихідного еталону і повертаються

назад. Далі під терміном «вимірювальна система» слід розуміти сукупність:

робочих еталонів (РЕ) або еталонних мір (ЕМ); компараторів (К);

допоміжних приладів та обладнання (ДПО), до яких треба віднести термостати, джерела живлення, генератори сигналів тощо;

засобів управління вимірювальним процесом (ЗУ) – інтерфейси, електронно-обчислювальні машини.

$$(P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge P_i) \rightarrow R_{BC} \rightarrow R_{ВП}$$

За такого способу рішення про якість вимірювального процесу приймається за принципом «придатний» або «непридатний» згідно зі схемою:

$$(P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge P_i) \rightarrow R_{BC} \rightarrow R_{ВП}$$

де предикати P мають такі логічні значення:

P_1 – робочий еталон – придатний до використання;

P_2 – метрологічна лабораторія має реєстраційне посвідчення, що підтверджує наявність необхідних робочих еталонів, обладнання, приміщень тощо;

P_3 – повіряючий має посвідчення на проведення атестації;

P_i – результат періодичної інспекції метрологічної лабораторії – позитивний;

R_{BC} – вимірювальна система метрологічної лабораторії – придатна;

$R_{ВП}$ – вимірювальний процес у метрологічній лабораторії – придатний.

При цьому атестовані робочі еталони використовуються з допущенням, що похибки, які виникають при їх транспортуванні і повірці з вихідним еталоном, несуттєво впливають на сумарну похибку вимірювання і тому з певною ймовірністю можуть забезпечити процес передачі розміру одиниці фізичної величини з необхідним рівнем точності.

Однак у загальному випадку сумарна похибка Δ_{Σ} залежить не тільки від P_2, P_3, P_i , а також і від низки неврахованих помилок, які обумовлені відмінністю вимірювання у метрологічних лабораторіях та на вихідному еталоні призначення [7]:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5, \Delta_6, \Delta_7, \Delta_8, \Delta_9),$$

де Δ_1 – похибка робочого еталону;

Δ_2 – похибка допоміжних приладів та обладнання;

Δ_3 – похибка від впливу факторів зовнішнього середовища;

Δ_4 – похибка системи управління;

Δ_5 – методична похибка застосування робочих еталонів;

Δ_6 – похибки (у тому числі і від “прихованих” відмов), що виникають під час транспортування приладів до місця атестації;

Δ_7 – похибка від нестабільності зберігання одиниці фізичної величини робочого еталону;

Δ_8 – похибка еталонного комплексу;

Δ_9 – похибка зовнішніх умов при атестуванні робочих еталонів.

Із аналізу цієї залежності та схеми (рис. 1) видно, що об'єктивним інструментальним методом оцінюється тільки похибка робочих еталонів (Δ_1), яка є мірою якісного його зв'язу з вихідним еталоном і не може служити характеристикою усього вимірювального процесу, який здійснюється у метрологічних лабораторіях випробувального полігону. Тому вимірювання можуть виявитись неточними і відрізнятись від очікуваного результату за похибкою атестованого робочого еталону. Виявити та оцінити всі складові сумарної похибки Δ_{Σ} у більшості випадків неможливо.

Для вирішення цього завдання необхідні порівняльні оцінки якості вимірювань, що виконуються у метрологічних лабораторіях і на вихідних еталонах. Довірчі оцінки для зв'язу можуть бути отримані при одночасному визначенні значення одиниці фізичної величини в метрологічних лабораторіях і на вихідних еталонах, що можливо у тому випадку, коли передача розміру одиниці фізичної величини здійснюється по неспотвореним каналам зв'язу, або при послідовному визначенні цієї фізичної величини. Існуючі до останнього часу технічні засоби не дозволяли якісно вирішити це інструментальне завдання.

Поява мобільних еталонів передавання створила об'єктивні передумови для переходу від повірки (атестації) окремих робочих еталонів на вихідних еталонах до комплектної атестації вимірювальних процесів у метрологічних лабораторіях [7–8].

Схема використання мобільних еталонів передавання (МЕП) при комплектній атестації показана на рис. 2.

Як видно зі схеми, робочі еталони не вилучаються з вимірювальної системи метрологічної лабораторії. Розмір одиниці фізичної величини передається мобільним еталоном передавання, який попередньо атестується на вихідному еталоні і потім транспортується до метрологічної лабораторії випробувального полігону. Спеціалісти, що експлуатують мобільні еталони передавання, атестують у метрологічних лабораторіях робочі еталони з оцінкою похибки передавання розміру одиниці фізичної величини.

$$R_{BC} \wedge R_{ЕП} \rightarrow R_{ВП}$$

Після чого мобільний еталон передавання повертається до вихідного еталону, де проводиться контрольне визначення характеристик мобільного еталону передавання для виключення невизначеності в оцінці сумарної похибки Δ_{Σ} , що вноситься його нестабільністю та впливом умов транспортування.

У цьому випадку визначення якості вимірювального процесу проводиться за схемою:

$$R_{BC} \wedge R_{ЕП} \rightarrow R_{ВП}$$

де $R_{ЕП}$ – предикат “мобільний еталон передавання придатний”.

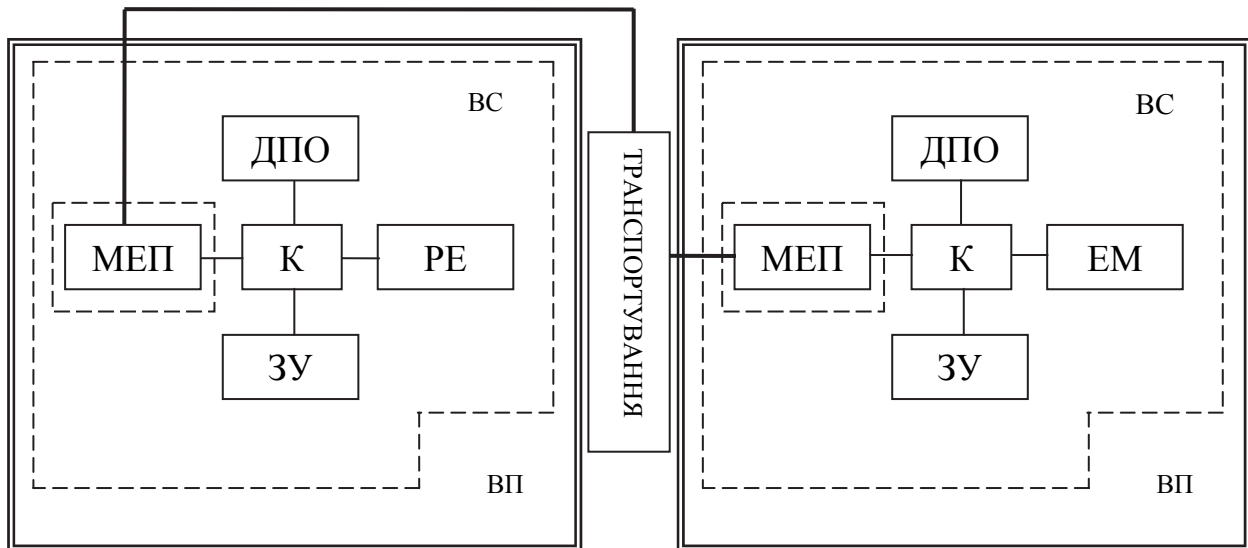


Рис. 2. Схема комплектної атестації

Реалізуючи цю схему, оцінюються похибки Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 , Δ_4 , Δ_5 , Δ_8 , Δ_9 , а похибки Δ_6 і Δ_7 – виключаються. Поелементна ж атестація оцінює лише похибки Δ_1 , Δ_8 і Δ_9 .

Визначення величини сумарної похибки Δ_Σ в загальному вигляді виконується за формулою

$$\Delta_\Sigma = X_{B3} - X_{C3},$$

де X_{B3} – значення одиниці фізичної величини, яке зберігається еталоном передавання і визначене при атестації вимірювальної системи;

X_{C3} – середнє значення одиниці фізичної величини, яке визначене за результатами атестації до та після транспортування і зберігається мобільним еталоном передавання.

Відповідно, результат атестації робочих еталонів остаточно проводиться метрологічною лабораторією після розрахунку сумарної похибки Δ_Σ усього вимірювального процесу у метрологічній лабораторії.

Запропонований метод комплектної атестації покладено в основу математичної моделі кількісної оцінки єдності та точності вимірювання при проведенні випробувань зразків АТ. Попередні результати моделювання показують, що точність відтворення розміру одиниці фізичної величини робочими еталонами задовольняють вимогам і забезпечують необхідну точність вимірювального процесу, а похибка вимірювання знаходиться у зазначеному інтервалі.

Так, для робочих мір послаблення електромагнітних коливань 2-го розряду (частота 5 МГц, діапазон 20–30 Дб) при довірчій ймовірності $P=0,95$ інтервали похибки з використанням методу комплек-

тної атестації становлять $+(-) 0,31$ Дб і $+0,41$ при поелементному методі. Вірогідність зростає у 1,1–1,5 разів. Показник оперативності метрологічних робіт збільшується на 5–7 % при зниженні витрат на їх проведення.

В результаті впровадження методу комплектної атестації очікується підвищення точності вимірювань метрологічних лабораторій випробувальних полігонів при їх атестації шляхом врахування похибок, які не бралися до уваги при обчисленнях за методом поелементної оцінки. Також реалізація цього методу дасть економічний ефект через відсутність витрат на транспортування робочих еталонів до місць дислокації вихідних еталонів.

Висновки

Необхідність упровадження методу комплектної атестації підтверджується ще тим, що іноземні метрологічні служби в рамках національних програм якості вимірювань проводять заходи щодо переходу на цей метод передачі розміру одиниці фізичної величини.

Подальший розвиток методу комплектної атестації може розвиватися шляхом комплектної атестації метрологічних лабораторій випробувальних полігонів без участі спеціалістів, які експлуатують вихідні еталони, а тільки силами особового складу цих метрологічних частин за допомогою мобільних еталонів передавання, що доставляються каналами зв'язку [7; 9], наприклад поштою. В цьому випадку порядок використання мобільних еталонів передавання залишається таким самим.

Список літератури

1. Зоргач Д. Упровадження ДСТУ ISO/IEC 17025. Узагальнений аналіз / Д. Зоргач, В. Новіков, А. Пазюк // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2010. – № 1. – С. 14-16.
2. Комплекс стандартів системи розробки і постановки на виробництво озброєння та військової техніки (ГОСТ В 15. ...).
3. Андреев Е.В. Метрологические испытательные базы – гарантии качества и надёжности разрабатываемых систем / Е.В. Андреев, Б.П. Лукашов // Приборы и системы управления. – 1993. – У 8. – С. 41.
4. Хижняк В.В. Проблеми метрологічного забезпечення випробувань складних зразків озброєння та військової техніки / В.В. Хижняк, В.Ю. Камінський // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський військовий університет. – 2004. – Вип. 8 (36). – С. 229-237.
5. Каминский В.Ю. Экспериментальное моделирование аттестации поверочных лабораторий / В.Ю. Каминский, В.А. Щеглов // Измерит. техника. – 1988. – № 11. – С. 14-16.
6. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT) : ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 – [Чинний з 2007 -07 -01]. – К.: Держспоживстандарт, 2007. – 32 с. – (Національний стандарт України).
7. Хижняк В.В. Аналіз методів прогнозування технічного стану складних систем та особливості їх за-

стосування при формуванні програм експлуатації державних еталонів / В.В. Хижняк, А.Г. Дмитрієв, А.О. Литовченко // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 4 (48). – С. 57-60.

8. Хижняк В.В. Модель процесу метрологічного забезпечення випробувань складних технічних об'єктів / В.В. Хижняк // Період. наук. видання НАОУ “Труди академії”. – 2004. – №56. С. 248-257.

9. Хижняк В.В. Метод підвищення автономності метрологічного забезпечення вимірювальних комплексів та систем при полігонних випробуваннях об'єктів на основі адаптивної моделі комплексування засобів вимірювальної техніки / В.В. Хижняк // Зб. наук. пр. Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України. – 2004. – № 4 (29). – С. 34-47.

Надійшла до редколегії 18.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.Б. Леонтьєв, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКТНОЙ АТТЕСТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

В.В. Хижняк, А.А. Литовченко, А.Г. Дмитриев

Предложено метод количественной оценки измерений на основе комплектной аттестации измерительных процессов с использованием эталонов передачи размера единицы физической величины.

Ключевые слова: оценка погрешности измерений, комплектная аттестация, метрологическое обеспечение испытаний.

**ESTIMATION OF THE TOTAL MEASUREMENT ERROR BASED
ON THE INTEGRATED CERTIFICATION
OF MEASURING PROCESSES DURING AERONAUTICAL ENGINEERING TESTING**

V. Khizhnyak, A. Lytovchenko, A. Dmitriev

It is proposed method of quantitative measurement estimation based on complex certification of measurement processes using the transfer standards of the unit size of a physical quantity.

Keywords: measurement error estimation, comprehensive certification, metrological support of tests.