

Юрій Борисович Прібилєв (канд. техн. наук, доцент, докторант)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

МЕТРОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*“В Военном и морском ведомствах осмотрительно наблюдать, чтоб весы и меры везде были правдивые и истинные и никто б через оные вреда не учинил”
Из указа Петра I.*

Визначено вплив стану метрологічного забезпечення на ефективність застосування озброєння та військової техніки. Доведена необхідність автоматизації контролю та діагностики складних комплексів озброєння та військової техніки та застосування автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем військового призначення. Визначена проблема підвищення метрологічної надійності інформаційно-вимірювальних систем військового призначення. Розглянути вимоги, що пред'являються до інформаційно-вимірювальних систем військового призначення. Проаналізовано лінійна та експоненціальна моделі зміни в часі похибки інформаційно-вимірювальних систем військового призначення. Наведено, що точність вимірювань у цих системах визначається похибкою первинного перетворювача вимірювальної інформації.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальні системи військового призначення; метрологічна надійність; похибка вимірювання; метрологічне забезпечення.

Вступ

Постановка проблеми. Ймовірність ураження, своєчасність виявлення, дальність і скритність дій, готовність до застосування та інші характеристики сучасного озброєння та військової техніки (ОВТ) на поле бою прямо залежать від рівня його метрологічного забезпечення. Досвід антитерористичної операції показав, що в сучасних умовах роль метрологічного забезпечення незмірно зростає. Сьогодні у Збройних Силах (ЗС) України експлуатується кілька мільйонів засобів вимірювань, що підлягають метрологічному забезпеченню. Сучасні зразки і комплекси озброєння мають у своєму складі тисячі вимірювальних приладів, мір і перетворювачів різного призначення. Так, наприклад, у складі зенітно-ракетного комплексу експлуатується понад тисячу засобів вимірювань. Природно, що величезний парк вимірювальної техніки вимагає надійного метрологічного обслуговування, що неминує веде до збільшення обсягів повірочних робіт з одночасним підвищенням вимог до якості та достовірності результатів перевірки.

Відомо, що в ЗС України експлуатуються зразки ОВТ з неодноразовим продовженням ресурсу і терміну служби. При цьому великий обсяг точних вимірювань їх параметрів стає єдиною гарантією можливості використання за призначенням, безпечного і безаварійного застосування ОВТ. Якісне метрологічне забезпечення, яке гарантуватиме точність вимірювань, дозволяє зберегти боєготовність і ефективність старіючих зразків озброєння, страхує

особовий склад і населення країни від можливих аварій і катастроф через їх раптові відмови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Воєнна доктрина України [1] передбачає переозброєння ЗС України сучасними, наукомісткими, високоточними зразками озброєння, досягнення параметрів і характеристик яких багато в чому залежить від організації їх метрологічного забезпечення. Це технічне переозброєння вимагає випереджаючого розвитку технічних засобів військової метрології та говорить про підвищену увагу вчених до проблем метрологічного забезпечення ОВТ.

Мета статті. Метою статті є аналіз впливу стану метрологічного забезпечення на ефективність застосування ОВТ та метрологічної надійності інформаційно-вимірювальних систем військового призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Особливої уваги військових метрологів вимагає високоточна зброя (ВТЗ), ефективність застосування якої підтверджується досвідом бойових дій останніх років. У складі високоточних систем (розвідки, виявлення і цілевказівки, топогеодезичного і навігаційного забезпечення, часової синхронізації, радіоелектронної боротьби та протидії) є безліч високоточних засобів вимірювань, від метрологічного забезпечення яких залежить точність і ефективність ураження цілей.

Оцінка та підтримання характеристик ВТЗ базуються на національних і військових еталонах одиниць часу і частоти, довжини, фази, напруги, параметрів лазерного, інфрачервоного

випромінювання та інших. Наприклад, багато зразків ВТЗ оснащуються сучасними приймачами сигналів космічної навігаційної системи і, таким чином, є високоточними засобами вимірювань.

Перераховані вище фактори разом з прискоренням науково-технічного прогресу вимагають серйозної перебудови в області метрологічного забезпечення ОВТ.

З появою складних комплексів ОВТ, жорсткістю вимог до їх боєготовності засоби вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТ ВП) не завжди встигали забезпечувати достовірний контроль і діагностику у відведений час. Так, щоб підготувати, наприклад, ракетний або авіаційний комплекс до виконання бойового завдання, необхідно в обмежений час проконтролювати велике число параметрів. Істотно підвищити продуктивність праці та якість повірочних робіт, зробити процес перевірки більш об'єктивним можливо лише шляхом автоматизації процедур перевірки із застосуванням усього арсеналу новітніх засобів автоматики, електроніки та обчислювальної техніки.

У зв'язку з цим гостро постало питання про автоматизацію контролю та діагностики складних комплексів ОВТ. Рішення його було знайдено в автоматизованих засобах контролю, до яких можна віднести автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи (ІВС). Наприклад, до складу будь-якого зенітно-ракетного комплексу обов'язково входить автоматизована контрольно-випробувальна рухома станція, яка призначена для забезпечення автоматизованого контролю бортової апаратури зенітної керованої ракети.

Для реалізації автоматизованої перевірки засобів вимірювань (ЗВ) застосовуються еталонні та допоміжні засоби перевірки, функціонально об'єднані в автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи. ІВС - це сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань різних фізичних величин, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів, призначена для отримання вимірювальної та іншої інформації про досліджуваній об'єкт в умовах його функціонування або зберігання, її перетворення і обробки з метою представлення споживачеві в необхідному вигляді [2].

ІВС військового призначення (ВП) служать для отримання інформації про технічний стан зразків ОВТ. З цією метою вони (з мінімальною участю операторів) вирішують задачі контролю і діагностики зразка ОВТ, окремих його вузлів (блоків), регулювання параметрів і прогнозування технічного стану. Для визначення технічного стану зразка ОВТ автоматизовані системи контролю виробляють, як правило, допускову оцінку його параметрів. Таким чином визначають, чи знаходяться значення контрольованих параметрів в межах встановлених на них допусків.

До ІВС ВП пред'являються досить жорсткі вимоги, що обумовлено наступними причинами:

для вимірювальних приладів на об'єктах ОВТ відводиться мало місця, тому виникає необхідність в їх мікромініатюризації;

високі вимоги до боєготовності ОВТ викликають необхідність застосування у ІВС ВП технічних рішень, які скорочують допоміжні операції по підготовці її до застосування та зменшують тривалість самих вимірювань;

широкі номенклатура і діапазон фізичних величин, що вимірюються.

Особливості ІВС ВП, що призначені для роботи в польових умовах, пов'язані з необхідністю одночасного вимірювання ряду параметрів і характеристик з тим, щоб в їх взаємозалежності і впорядкованості виявляти характерні риси аналізованих процесів і явищ, що виникають в ОВТ. ІВС ВП повинні мати стійкість до впливу зовнішніх факторів природного та штучного походження (вібрації при транспортуванні, високі і низькі температури, велика вологість, ударна хвиля та ін.) та бути пристосованою до роботи в жорстких умовах експлуатації, при дії вражаючих факторів зброї.

Вбудовування мікропроцесорів у ІВС ВП для автоматизації операцій вибору необхідного режиму роботи забезпечує істотне скорочення тривалості і трудомісткості вимірювань та дозволяє виконувати автоматичну обробку вимірювальної інформації по складним алгоритмам. Застосування мікропроцесорів дозволило замінити ряд ручних операцій електронними, завдяки цьому точність вимірювань вдалося підвищити в декілька разів, зменшити габаритні розміри, масу і енергоспоживання приладів. За рахунок виключення великого числа рухомих механічних частин (їх функції виконує мікроелектроніка) істотно зросла надійність приладів. Все це дозволяє за рахунок скорочення тривалості контролю зменшити час приведення ОВТ в стан готовності до застосування. Застосування ЕОМ у ІВС ВП дозволило покласти на програмну частину ІВС реалізацію складних вимірювальних перетворень, що забезпечують виконання непрямих, сукупних і спільних вимірів, статистичних вимірювань, вимірювань з корекцією і адаптивних вимірювань [3].

Прогрес у створенні та вдосконаленні ІВС ВП йде в двох напрямках [3]:

1. Формалізація опису вимірювальних процедур за рахунок формування програмної частини ЗВ.

2. Зниження похибки перетворення вимірювальної інформації на шляху від первинного перетворювача (датчика) до ЕОМ за рахунок досягнень сучасної напівпровідникової схемотехніки.

Удосконалення принципів побудови ЗВ та використання модульного підходу до синтезу як апаратної, так і програмної частини ІВС ВП, привело до створення ЗВ з відкритими функціональними можливостями, варійованими за рахунок трансформації складу ІВС ВП. Ця

особливість ІВС ВП в сукупності з ускладненням реалізованих алгоритмів вимірювань вимагає формування адекватних методів метрологічного аналізу результатів вимірювань.

Ключовими для будь-якого ЗВ, від найпростішого аналогового приладу до сучасної комп'ютерної ІВС, є поняття його метрологічних характеристик (погрішності вимірювань і надійності вимірювань) оскільки оператор завжди стоїть перед дилемою - вірити чи не вірити отриманому результату.

Аналіз метрологічної надійності сучасних зразків ІВС ВП, в структуру яких входять первинні перетворювачі (аналогові датчики), блоки первинної обробки вимірювальної інформації (аналого-цифрові перетворювачі) і обчислювальна машина (вбудована мікроЕОМ або ПЕОМ), показує, що інструментальні похибки аналого-цифрового перетворення в гіршому випадку не перевищують похибки квантування [3]. Ця похибка незмінна в часі і може бути врахована в програмному забезпеченні розрахунків результатів вимірювань. Температурна похибка каналу апаратної обробки вимірювальної інформації може бути знижена до вельми малих величин автоматичною програмною автокорекцією. Похибки розрахунків за допомогою ЕОМ зводяться, практично, до похибки округлення.

Слабкою ланкою в цьому ланцюгу є первинні перетворювачі, відносні похибки яких в залежності від типу датчика лежать в діапазоні від десятків частин до одиниць і більше відсотків [6]. Крім того, багато датчиків нестабільні в часі, старіють, мають гістерезис, схильні до впливу зовнішніх факторів, що обурюють, мають розкид параметрів в партії, вимагають індивідуального калібрування і т. і.

Таким чином, похибки вимірювань в сучасних ІВС ВП визначаються, практично, похибками первинних перетворювачів (датчиків) і саме проблеми з датчиками зазвичай призводять до метрологічних відмов ІВС ВП.

Мінімізація похибок первинного перетворення може бути досягнута шляхом вдосконалення принципів і технологій виготовлення як самих датчиків, так і за рахунок оригінальних схемотехнічних рішень побудови каналів первинної обробки вимірювальної інформації.

Метрологічні характеристики будь-якого ЗВ у складі ІВС ВП, зокрема похибки, можуть змінюватися в процесі експлуатації. Слід зазначити, що не всі складові похибки схильні до зміни в часі. Наприклад, методичні похибки залежать тільки від використовуваної методики вимірювань. Серед інструментальних похибок є багато складових, практично не схильних до старіння [4].

Зміна метрологічних характеристик ІВС ВП в часі обумовлено процесами старіння в його вузлах і елементах, викликаними взаємодією з зовнішньої навколишнім середовищем. Ці процеси протікають, в основному на молекулярному рівні і

не залежать від того, знаходиться засіб вимірювання в експлуатації або на консервації. Отже, основним фактором, що визначає старіння ІВС ВП, є календарний час з моменту виготовлення. Швидкість старіння залежить, насамперед, від використовуваних матеріалів і технологій. Дослідження [4] показали, що незворотні процеси, які змінюють похибку, протікають досить повільно і зафіксувати ці зміни в ході експерименту в більшості випадків неможливо. Тому в сучасних ІВС ВП використовують різні математичні методи, на основі яких будуються моделі зміни похибок і виробляється прогнозування метрологічних відмов.

Частіше розглядається одна з двох моделей зміни в часі похибки ІВС ВП: лінійна або експоненціальна [3].

Модель похибки з певною ймовірністю можна представити у вигляді:

$$\Delta t = \Delta_0 + F(t),$$

де Δ_0 – початкова похибка ЗВ; $F(t)$ – випадкова для сукупності ЗВ даного типу функція часу, обумовлена фізико-хімічними процесами поступового зносу і старіння елементів і блоків.

Отримати точний вираз для цієї функції виходячи з фізичних моделей процесів старіння практично не представляється можливим. Тому, ґрунтуючись на експериментальних і статистичних дослідженнях, функцію $F(t)$ апроксимують тієї чи іншої математичної залежністю.

Найпростішою моделлю зміни похибки є лінійна модель:

$$\Delta t = \Delta_0 + vt$$

де v – швидкість зміни похибки.

Як показали проведені дослідження [4], дана модель задовільно описує процес старіння ІВС ВП в діапазоні від одного до п'яти років.

Практика показує, що в ряді випадків з часом похибка може, як збільшуватись, так і зменшуватись. Цю ситуацію описує експоненціальна модель:

$$\omega(t) = \omega_0 e^{\alpha t},$$

де ω_0 – частота метрологічних відмов на момент виготовлення ІВС ВП (при $t = 0$), α – позитивне чи негативне прискорення процесу метрологічного старіння.

Експоненціальна модель процесу старіння дозволяє описати зміну похибки ІВС ВП при збільшенні його віку від року і до практично нескінченності. Однак дана модель має ряд недоліків. Для засобів вимірювань з негативним прискоренням процесу старіння вона прогнозує (при $t \rightarrow \infty$) прагнення похибки до граничного нормованого значення, а при позитивному прискоренні модель дасть необмежене зростання похибки з часом, що суперечить практиці.

Очевидно, що програмне коригування похибки первинних перетворювачів можливо тільки, якщо визначена функція $F(t)$. А це, в свою чергу,

можливо на основі досить тривалих статистичних спостережень за конкретним типом датчиків, що експлуатуються в одних і тих же умовах.

Таким чином, програмне коригування похибок може бути застосовано тільки для вирішення дуже обмеженого кола завдань, що вирішуються при проектуванні ІВС ВП.

Розвиток технологій виготовлення датчиків, досягнення мікроелектроніки дозволили в даний час різко знизити вартість первинних перетворювачів, налагодити випуск “інтелектуальних датчиків”, що поєднують в собі не тільки функції первинного перетворення

вимірюваної величини, аналого-цифрового перетворення, передачі вимірювальної інформації по каналам зв'язку, а й ряд інших сервісних функцій [5].

Висновки й перспективи подальших досліджень

На теперішній час бойова готовність ОВТ в значній мірі залежить від стану метрологічного забезпечення. Визначено, що метрологічна надійність сучасних зразків ІВС ВП визначається головним чином похибками первинних перетворювачів (датчиків).

Література

1. Про Воєнну Доктрину України: Указ Президента України 15 червня 2004 року № 648/2004. 2. ДСТУ 2681-94. Державний стандарт України. Метрологія. Терміни та визначення. 3. Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 219 с.

4. Фридман А. Э. Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.11.15 СПб., 1994, 423 с. 5. Мищенко С. В. Метрологическая надежность измерительных средств / С. В. Мищенко, Э. И. Цветков, Т. И. Чернышова. – М. : Машиностроение, 2001. – 218 с.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Юрий Борисович Прибылев (канд. техн. наук, доцент, докторант)

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

Определено влияние состояния метрологического обеспечения на эффективность применения вооружения и военной техники. Доказана необходимость автоматизации контроля и диагностики сложных комплексов вооружения и военной техники и применения автоматизированных информационно-измерительных систем военного назначения. Рассмотрена проблема повышения метрологической надежности информационно-измерительных систем военного назначения. Определены требования, предъявляемые к информационно-измерительным системам военного назначения. Проанализированы линейная и экспоненциальная модели изменения во времени погрешности информационно-измерительных систем военного назначения. Показано, что точность измерений в этих системах определяется погрешностью первичного преобразователя измерительной информации.

Ключевые слова: информационно-измерительные системы военного назначения; метрологическая надежность; погрешность измерения; метрологическое обеспечение.

METROLOGICAL RELIABILITY OF MILITARY INFORMATION MEASURING SYSTEMS

Yurii B. Pribyliev (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate)

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The influence of the metrological support condition on using arms and military equipment efficiency was determined. The control and diagnosis automation necessity of complex arms and military equipment and using automated information-measuring systems for military use was proved. The problem of improving metrological reliability of information and measurement systems for military use was considered. The requirements for information and measurement systems for military use were determined. The linear and exponential change with time error models of information and measurement systems for military use were analyzed. It was demonstrated that the measurement accuracy in these systems is determined by the primary transformer error of measurement data.

Keywords: information and measuring systems for military use; metrological reliability; measurement error; metrological support.

References

1. Pro vojennu doktrynu Ukrainy: Ukaz Prezydenta Ukrainy, 15.06.2004 y. № 648/2004. 2. DSTU 2681-94. Derzhavnyj standart Ukrainy. Metrologhija. Terminy ta vyznachennja. 3. Volodarskiy E.T., Kukharчук V.V., Podzharenko V.O., Serdjuk G.B., (2001), Metrological support of measurements and control. [Metrolohichne zabezpechennja vymirjuvanj i kontrolju. Navchalnyj posibnyk], Vinnycja, VDTU, p. 219. 4. Fridman A. E., (1994), Theory of metrological reliability of measuring

instruments and other technical means available to precision characteristics. [Teoriya metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmerenij i drugih tehniceskijh sredstv, imeyuschih tochnostnyie harakteristiki], SPb, p. 423. 5. Mischenko S.V., Tsvetkov E.I., Chernyshova T.I., (2001), Metrological reliability of measuring devices, [Metrologicheskaya nadezhnost izmeritelnyih sredstv], Mashinostroenie, p. 218.

Отримано: 7.11.2014 р.