

УДК 681.3

В.М. Чинков, С.В. Герасимов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ПРИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ

Проведений аналіз існуючих видів встановлення інтервалів технічного (метрологічного) обслуговування озброєння та військової техніки. Показані переваги переведення озброєння на експлуатацію за технічним станом. Обґрунтована необхідність розробки методів та засобів діагностування зразків озброєння з метою визначення їх фактичного технічного стану. Сформульована сучасна математична проблема синтезу вимірювальних сигналів для визначення технічного стану зразків озброєння при їх експлуатації за технічним станом. Обґрунтовані обмеження щодо синтезу вимірювальних сигналів.

Ключові слова: вимірювальний сигнал, синтез, контроль технічного стану, озброєння та військова техніка.

Вступ

Постановка проблеми. Об'єктивною тенденцією розвитку зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) на сучасному етапі є постійне зростання їх складності, що обумовлено розширенням кола задач, які ними вирішуються, з одночасним підвищенням вимог до ефективності, бойової готовності та експлуатаційної надійності. У цей час є загально-визнаним, що одним з основних напрямків удосконалення системи експлуатації зразків ОВТ є розвиток системи їх метрологічного забезпечення. Результати контролю технічного стану ОВТ за рахунок проведення вимірювань їх параметрів, тобто операцій метрологічного обслуговування, при експлуатації за допомогою військових засобів вимірювальної техніки (ВЗВТ) представляють інформаційну основу для прийняття рішень щодо управління технічним станом цих ОВТ [1, 2].

У світовій практиці експлуатації зразків ОВТ розрізняють три види встановлення інтервалів визначення їх технічного стану за результатами проведення вимірювання та контролю параметрів – інтервалів технічного (метрологічного) обслуговування (ІТО), які встановлюються в календарному періоді або залежно від часу роботи [3].

Перший вид ІТО припускає, що єдиний для всіх зразків ОВТ даного типу інтервал встановлюється на основі нормативних документів на даний вид зразків. В цьому випадку ІТО задається, як правило, заводом-розробником.

Другим видом ІТО є індивідуальний інтервал, встановлений відповідно до конкретних умов експлуатації ОВТ даного типу у військових підрозділах і частинах (наприклад, залежно від кліматичних умов, інтенсивності застосування тощо). Якщо призначений інтервал не збігається з інтервалом, що вказується в нормативній або в експлуатаційній до-

кументації на даний тип, то його необхідно погоджувати із заводом-розробником.

До третього виду ІТО належить встановлення індивідуальних ІТО для окремих зразків ОВТ, призначених для виконання важливих задач, або які є аварійно-небезпечними. Індивідуальні ІТО, як правило, передбачені для систем високоточної ракетно-космічної зброї.

Перший вид ІТО використовується у військових частинах і підрозділах Збройних Сил України. Однак, для окремих груп авіаційної та зенітної ракетної техніки при їх експлуатації за технічним станом ІТО встановлюється залежно від їх стану [4–6].

Оптимальними за певними критеріями є другий та третій види встановлення ІТО, які переважно використовуються в провідних країнах світу. Таки ІТО дозволяють своєчасно та достовірно виявляти вихід параметрів (характеристик) зразків ОВТ за межі встановлених значень проведенням вимірювань, як періодичних, так і позапланових. Вони використовуються при експлуатації ОВТ за технічним станом.

Метою технічної експлуатації зразків ОВТ за фактичним технічним станом є підвищення надійності та зниження експлуатаційних витрат, при цьому призначають необхідні роботи по технічному обслуговуванню ОВТ залежно від фактичного технічного стану конкретного його зразка і передбачуваної зміни цього стану в процесі експлуатації.

Значний досвід застосування технічного обслуговування за фактичним станом дозволяє дати оцінку отриманому ефекту (переважно за рахунок встановлення оптимальних ІТО): зниження витрат на обслуговування до 75 %; зниження кількості обслуговувань за час експлуатації до 50 %; зниження кількості відмов до 70 % за перший рік роботи (за час приробки) [7].

Основою експлуатації за технічним станом є діагностування і прогнозування реального стану

зразка. За допомогою засобів діагностування проводять безперервний або періодичний контроль параметрів стану ОВТ. Прогнозування виконують при безперервному контролі для визначення інтервалу часу, за який збережеться працездатний стан, а при періодичному контролі – для визначення моменту часу наступного контролю.

Результати діагностування і контролю параметрів ОВТ є основою для ухвалення рішень про необхідність технічного обслуговування, часу його проведення й об'ємів, а також про час проведення чергового контролю технічного стану. Тому розробка засобів діагностування фактичного стану зразків ОВТ є актуальною науковою задачею.

Аналіз літератури. Проведений аналіз робіт [1 – 8], які направлені на обґрунтування переведення зразків ОВТ на експлуатацію за технічним станом, показав, що вони не вирішують проблему розробки та обґрунтування методів та засобів діагностування зразків з метою визначення їх фактичного технічного стану.

Метою даної статті є формулювання сучасної математичної постановки проблеми синтезу вимірювальних сигналів для визначення технічного стану зразків ОВТ при їх експлуатації за технічним станом.

Основна частина

Кількісні оцінки контролю параметрів зразків ОВТ (кількість інформації, точність, чутливість тощо) при заданому часі контролю (або кількості точок відліків), точності ВЗВТ, за допомогою яких проводиться операція контролю, або рівень перешкод, визначаються величинами $g_i(t, \{u\})$, які є похідними вихідного сигналу контрольованого зразка по параметрах контролю x_i , $i = \overline{1..N}$, N – кількість параметрів контролю:

$$g_i(t, \tau) = \frac{\partial h(t)}{\partial x_i}, \quad (1)$$

де t – час контролю; τ – тривалість вхідного вимірювального сигналу $u(\tau)$; $h(t)$ – перехідна характеристика.

Оскільки величина $g_i(t, \tau)$ представляє собою функціонали від вхідного вимірювального сигналу $u(\tau)$, то і кількісні оцінки, що розглядаються, будуть функціоналами від цього сигналу. Тому при заданому часі контролю (кількості точок відліків), точності вимірювальних приладів (рівня перешкод) визначення оптимальної для даної кількісної оцінки методики контролю полягає у знаходженні параметрів такого вхідного вимірювального сигналу $u(\tau)$ (синтезу вимірювального сигналу), який забезпечує найбільше або найменше значення цієї оцінки. Наприклад, при оптимізації за чутливістю вхідний сиг-

нал $u(\tau)$ повинен забезпечувати найбільше значення чутливості S , при оптимізації за точністю вимірювальний сигнал $u(\tau)$ повинен приводити до найменшого значення похибки вимірювання.

Слід відзначити, що розв'язання цієї проблеми дозволяє також визначити вхідний сигнал, який забезпечує при заданому значенні оцінки мінімальний час контролю, що дозволяє підвищити оперативність проведення операцій визначення технічного стану зразків ОВТ, тобто підвищити їх коефіцієнт готовності.

Так, нехай для значення тривалості контролю T параметрів зразка ОВТ з якогось інтервалу знайдені відповідні оптимальні сигнали $u_{\text{опт}}(\tau)$ і відповідні їм значення оцінок, наприклад, чутливості $S_{\text{max}}(T)$. Значення цих оцінок є монотонними функціями від T . Так, $S(T)$ – монотонно зростаюча функція від T . Тому, задавши значення оцінки, можна визначити найменший час контролю T_{min} і оптимальний цьому часу контролю вхідний вимірювальний сигнал $u_{\text{опт}}(\tau)$. Таким чином, визначення мінімального часу, який забезпечує задане значення кількісної оцінки $S_{\text{max}}(T)$, зводиться після розв'язання відповідної варіаційної задачі до визначення зворотної функції.

Відзначимо, що наведене вище належить також і до дискретних вимірювань вихідного сигналу в точках (моментах) відліку t_1, t_2, \dots, t_n . Роль величини T в цьому випадку відіграє кількість точок відліків n .

Для оптимізації методики контролю технічного стану зразка ОВТ необхідно визначити екстремуми кількісних оцінок якості контролю: чутливості, точності, кількості вимірювальної інформації.

Проведений аналіз кількісних оцінок показав, що для більшості практичних випадків для оптимізації вхідного вимірювального сигналу можна використовувати оцінку по чутливості S :

$$S = \int_0^T \int_0^T k(\tau, \tau') u(\tau) u(\tau') d\tau d\tau', \quad (2)$$

де $k(\tau, \tau')$ – функція, яка визначає зв'язок тривалості τ вимірювального сигналу реального ВЗВТ з теоретично обґрунтованою тривалістю вимірювального сигналу τ' (еталонна тривалість).

У формулі (2) функція $k(\tau, \tau')$ зв'язана з похідними від перехідної характеристики системи $h(t, \tau, x_1, \dots, x_N)$ по контрольованим параметрам x_i залежністю:

$$k(\tau, \tau') = \int_0^T \sum_{i=1}^N g_i(t, \tau) g_i(t, \tau') dt, \quad \text{и} \quad (3)$$

де функція $g_i(t, \tau)$ дорівнює

$$g_i(t, \tau) = \frac{\partial h(t, \tau, x_1, \dots, x_N)}{\partial x_i}. \quad (4)$$

Як видно з (2), чутливість S є функціоналом від вхідного сигналу $u(\tau)$. Тому визначення форми вхідного сигналу, який забезпечує найбільше значення величини S , є варіаційною задачею.

Необхідно відзначити, що розв'язання цієї задачі дозволить також визначити вхідний сигнал, який забезпечує задане значення оцінки S за мінімальний час контролю. Доведемо це твердження.

Дійсно, нехай при кожному даному значенні T знайдені оптимальні сигнали $u_{\text{опт } T}(\tau)$ і відповідні цим сигналам значення $S_{\text{max}}(T)$. Оскільки $S(T)$ є монотонно зростаючою функцією від T , то, задавши значення S , можна з графіку функції $S(T)$ знайти значення $T = T_{\text{min}}$, яке відповідає максимальній чутливості $S_{\text{max}}(T)$, і відповідний цьому часу сигнал $u_{\text{опт } T}(\tau)$.

Таким чином, визначення оптимального вхідного вимірювального сигналу при контролі технічного стану зразка ОБТ зводиться до вирішення варіаційної задачі знаходження найбільшого (найменшого) значення деякого функціоналу $\Phi(\{u\})$ в класі вхідних сигналів $u(\tau)$. При чому клас вхідних сигналів $u(\tau)$ не може бути абсолютно довільним. Вхідні вимірювальні сигнали визначаються реальними ВЗВТ – генераторами (калібраторами) сигналів, а це, в свою чергу, накладає на них певні обмеження, які необхідно враховувати при синтезі.

По-перше, вхідні сигнали формуються реальними генераторами сигналів. Тому енергія сигналу E_c є пропорційною величині

$$\int_0^T u^2(\tau) d\tau$$

і його середня потужність пропорційна величині

$$\frac{1}{T} \int_0^T u^2(\tau) d\tau.$$

Енергія та середня потужність сигналу не можуть бути нескінченно великими.

Це накладає на вхідний сигнал таке інтегральне обмеження:

$$\int_0^T u^2(\tau) d\tau \leq E_c. \quad (5)$$

З іншого боку, амплітуда U_m сигналу $u(\tau)$ і його миттєва потужність, пропорційна величині $u^2(\tau)$, також не можуть бути нескінченно великими.

Це накладає на вимірювальний сигнал наступне локальне обмеження:

$$|u(\tau)| \leq U_m. \quad (6)$$

По-друге, обмеження на сигнал $u(\tau)$ накладаються об'єктом контролю (зразком ОБТ). Ці обмеження виникають із-за того, що перевантаження, які виникають на окремих елементах і блоках зразка при подачі на його вхід надмірно великих сигналів, є більшою частиною небажаними, а в деяких випадках і недопустимими. Такого роду обмеження накладаються на напругу та струм на окремих елементах зразка та відносяться більшою частиною до інтегрального чи локального обмеження. Так, наприклад, потужність, яка виділяється на активних опорах, не повинна перевищувати встановлених для неї номінальних значень. Якщо час, який характеризує теплову енергію, перевищує тривалість контролю T , то обмеження накладаються фактично на середню потужність і енергію та відносяться до інтегрального обмеження. Локальне обмеження виникає, наприклад, для напруг на конденсаторах, які не повинні перевищувати пробивну напругу.

По-третє, обмеження, що подібні наведеним вище, можуть виникати і в тих випадках, коли великі вхідні сигнали не призводять до перевантажень або до виходу системи з ладу. Це пов'язано з тим, що реальний елемент зразка ОБТ призначено для роботи всередині визначеного діапазону значень сигналу, в якому структура елемента з достатньою точністю може бути описана оператором $\Phi(\{u\})$, що залежить від номенклатури параметрів x_i . При виході режимів елемента за межі робочого діапазону сигнал може змінитися від оператора $\Phi(\{u\})$ і точність прийнятої для опису елемента апроксимації різко знижується.

Тому відомості відносно параметрів x_i , які отримані в результаті контролю елемента поза межами робочого діапазону, можуть бути малопродатними (непродатними) для екстраполяції їх всередину робочого діапазону. Таким чином, можливі значення сигналу обмежуються областю, всередині якої точність прийнятої апроксимації оператора елемента буде по крайній мірі не нижче точності визначення параметрів.

Якщо робочий діапазон включає точку $u(\tau) = 0$, то вказане обмеження належить до локального. Таким чином, задача оптимізації контролю по вхідному сигналу зводиться до знаходження найбільшого значення функціоналу S (2) при врахуванні додаткових умов – інтегрального та локального обмежень (5) і (6).

Умова локального обмеження з математичної точки зору більш жорстка, ніж умова інтегрального обмеження.

Дійсно, умова локального обмеження призводить до виконання умови інтегрального обмеження, при якому $E_c = U_m^2 T$. На практиці для допустимих значень E_c може бути $E_c < U_m^2 T$ (наприклад, генератор або елемент (блок) зразка ОВТ допускає короткотривале збільшення значення сигналу). Тому умова інтегрального обмеження є залежною від умови локального обмеження.

Висновки

В статті обґрунтовано, що синтез вимірювальних сигналів (розрахунок параметрів оптимального вхідного вимірювального сигналу) для визначення технічного стану зразка ОВТ зводиться до вирішення варіаційної задачі знаходження найбільшого (найменшого) значення деякого функціоналу, який залежить від кількісних оцінок контролю параметрів зразків ОВТ, залежно від параметрів вхідних вимірювальних сигналів.

Розв'язання цієї задачі дозволяє також розрахувати параметри вхідного сигналу, який забезпечує при заданому значенні оцінки мінімальний час контролю. Крім того, обґрунтовані обмеження, щодо синтезу вимірювальних сигналів.

В наступних публікаціях будуть розглянуті методи розв'язання варіаційних задач і запропоновані методики синтезу (визначення параметрів) оптимальних вимірювальних сигналів для проведення діагностування зразків ОВТ при інтегральних і локальних обмеженнях. При цьому буде з'ясований зв'язок між запропонованими оптимальними методами і частотними (часовими) методами контролю, які використовуються сьогодні при планових технічних обслуговуваннях зразків ОВТ.

Список літератури

1. Мелещенко Ю.С. Техніка й закономірності її розвитку / Ю.С. Мелещенко. – К.: Наука, 2005. – 176 с.
2. Положение о технической эксплуатации по состоянию летательных аппаратов военного назначения / Приказ начальника вооружения ВВС от 24.09.2009. – М.: Воениздат, 2010. – 20 с.
3. Данилов А.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем / А.А. Данилов. – Пенза: Профессинал, 2008. – 63 с.
4. Порядок переведення та експлуатації за технічним станом військової авіаційної техніки, за якою не здійснюється авторський нагляд / Наказ Міністра оборони України від 20.02.2007 N 61. – К.: МО України, 2007. – 12 с.
5. Порядок технічного супроводження експлуатації військової авіаційної техніки Збройних Сил України, за якою не здійснюється авторський нагляд / Наказ Міністра оборони України від 20.06.2011 N 339. – К.: МО України, 2011. – 25 с.
6. Порядок експлуатації за технічним станом озброєння та військової техніки зенітних ракетних і радіотехнічних військ, за якими не здійснюється авторський нагляд / Наказ Міністра оборони України від 05.02.2010 N 53. – К.: МО України, 2011. – 10 с.
7. Авиация: Большая Российская Энциклопедия / Под ред. Г.П. Свищев. – М.: Энциклопедия, 1994. – 736 с.
8. Гриб Д.А. Експлуатація та ремонт за технічним станом озброєння військової техніки зенітних ракетних військ: проблемні питання та шляхи їх вирішення / Д.А. Гриб, Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук, В.П. Михиденко // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 4(24). – С. 28-31.

Надійшла до редколегії 10.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ

В.Н. Чинков, С.В. Герасимов

Проведен анализ существующих видов назначения интервалов технического (метрологического) обслуживания вооружения и военной техники. Показаны преимущества перевода вооружения на эксплуатацию за техническим состоянием. Обоснована необходимость разработки методов и средств диагностирования образцов вооружения с целью определения их фактического технического состояния. Сформулирована современная математическая проблема синтеза измерительных сигналов для определения технического состояния образцов вооружения при их эксплуатации за техническим состоянием. Обоснованы ограничения, которые не обходимо учитывать при синтезе измерительных сигналов.

Ключевые слова: измерительный сигнал, синтез, контроль технического состояния, вооружение и военная техника.

MATHEMATICAL RAISING OF PROBLEM OF SYNTHESIS OF MEASUREMENTS SIGNALS FOR DETERMINATION OF THE TECHNICAL STATE OF STANDARDS OF ARMAMENT DURING THEIR EXPLOITATION AFTER THE TECHNICAL STATE

V.N. Chinkov, S.V. Gerasimov

The analysis of existent types of setting of intervals of technical (metrology) maintenance of armament and military technique is conducted. Advantages of translation of armament are returned on exploitation after the technical state. The necessity of development of methods and facilities of diagnostic of standards of armament is grounded with the purpose of determination of their actual technical state. The modern mathematical problem of synthesis of measuring signals is formulated for determination of the technical state of standards of armament during their exploitation after the technical state. Grounded limitations which not walked around to take into account at the synthesis of measuring signals.

Keywords: measuring signal, synthesis, control of the technical state, armament and military technique.