

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЯГОМ ПІСЛЯГАРАНТІЙНОГО ПЕРІОДУ

В.Ф. Авдєєв, к.т.н. А.В. Кошель, к.т.н. В.В. Янов
(подав д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

На етапі експлуатації складних технічних систем (СТС), коли значно зростає кількість відмов підсистем СТС, пропонується у якості моделей зміни технічного стану (ТС) СТС застосовувати відповідні хаотичні моделі, які більш точно відображують характер процесів у цих системах.

Аналіз літератури. Звичайно, при аналізі ТС СТС і змін ТС цих систем у майбутньому враховуються оперативність і точність отриманих результатів на основі використання різних математичних моделей змін характеристик СТС [1]. Найбільш поширеними для використання на етапі усталеної експлуатації є ступеневі моделі характеристик СТС і багаточленні моделі, наприклад, моделі Чебишева, Фур'є, Лежандра, Лагранжа, полів характеристик СТС та ін. [2]. Загалом ця проблема успішно вирішується на основі використання формальних багаточленних моделей, що мають вигляд:

$$x(t) = \sum_{j=1}^l \varphi_j(t) \cdot a_j; \quad t \in [t_0, t_k]; \quad (1)$$

де φ_j – координатні функції (відомі функції часу), a_j – коефіцієнти.

Змінюючи a_j , ми отримуємо різні функції, за допомогою яких є можливість описати зміни будь-яких характеристик (правда, з різною точністю). Якість таких моделей зміни ТС СТС залежить від діапазону $[t_0, t_k]$, числа членів моделі, структури координатних функцій і параметрів a_j , які, навіть, можуть бути випадковими [3].

Постановка проблеми. Після тривалого терміну експлуатації, коли починає зростати кількість відмов у підсистемах СТС, вище перелічені моделі для забезпечення потрібної точності відповідних моделей характеру поведінки СТС у майбутньому потребують більшої кількості членів обраної моделі, інтервал прогнозу скорочується, оперативність прийнят-

тя рішення щодо можливих змін ТС СТС значно погіршується.

Мета статті: Розробка більш прийнятних на заключному етапі експлуатації СТС локально-сплайнових моделей (ЛСМ) і хаотичних моделей зміни стану підсистем СТС при прогнозуванні поведінки визначаючих параметрів підконтрольних систем, для забезпечення вимоги по точності прогнозних моделей зміни ТС СТС.

1. Коли етап усталеної експлуатації СТС закінчується і поступово збільшується кількість відмов елементів і підсистем СТС, доцільно використовувати ЛСМ заданого ступеня гладкості [4]. При розгляді зміни ТС СТС ефективно використання функції $S_{n,v}(t)$, що є сплайнами ступеня n і дефекту v , якщо на кожному частковому проміжку $[t_j, t_{j+1}]$ вона має вигляд

$$S_{n,v}(t) = \sum_{i=0}^n a_{ij}(t - t_j)^i, \quad (2)$$

а у вузлах t_j функція має $(n - v)$ безперервних похідних

$$S^{(d)}_{n,v}(t_j + \delta) = S^{(d)}_{n,v}(t_j - \delta); \quad \delta \rightarrow 0, \quad d=0, 1, \dots, n - v. \quad (3)$$

При побудові експлуатаційних моделей СТС у період зростання відмов, але знаходження їх кількості у визначених межах, виконання вимог щодо точності та оперативності прийняття рішень на застосування СТС можуть задовольняти ЛСМ з характеристиками $n = 3$ і $v = 1$ або 2 [1, 5].

2. На сучасному етапі експлуатації СТС в Україні, коли більшість їх вже давно відпрацювали розрахований для безвідмовної роботи період, ЛСМ не завжди задовольняють вимогам до них по оперативності через значні складності при обчисленнях значень моделі підвищеного ступеня гладкості і нестационарність вузлів. Це пов'язано з тим, що при експлуатації СТС, як свідчить досвід [6], процес зміни параметрів ТС під впливом внутрішніх і зовнішніх чинників (а за своєю природою цей процес випадковий), може розглядатись як процес з адитивною структурою вигляду

$$x(t_i) = x_1(t_i) + x_2(t_i) + x_3(t_i) + x_4(t_i), \quad (4)$$

де $x_1(t_i)$ – незворотний нестационарний випадковий процес старіння або зношення апаратури; $x_2(t_i)$ – зміни параметрів під впливом зовнішніх умов; $x_3(t_i)$ – зворотний нестационарний випадковий процес зміни параметрів під впливом зовнішніх умов; $x_4(t_i)$ – похибка визначення параметра і завада [8].

На заключному етапі експлуатації на характер змін ТС СТС зростає

вплив як зовнішніх, так і внутрішніх чинників, які, на перший погляд, носять випадковий характер. Але складова $x_3(t_i)$ з (4) включає в себе і хаотичну складову, причому доля останньої значно більша. Через це є сенс розглянути застосування хаотичних моделей при аналізі змін ТС СТС [3, 7].

2. Під час досліджень поведінки параметрів окремих підсистем СТС було встановлено, що на заключному етапі їх експлуатації застосування хаотичної моделі, (у більшості конкретних випадків – логістичного відображення вигляду

$$x_{i+1} = Ax_i(1 - x_i), \quad (5)$$

де A – флюктууючий коефіцієнт, що змінювався з плином часу,) – дало змогу отримати більш точні (на 40%) і оперативніші (на 30%) розрахунки для прийняття відповідного рішення щодо експлуатації підсистем СТС на визначеному інтервалі часу [7].

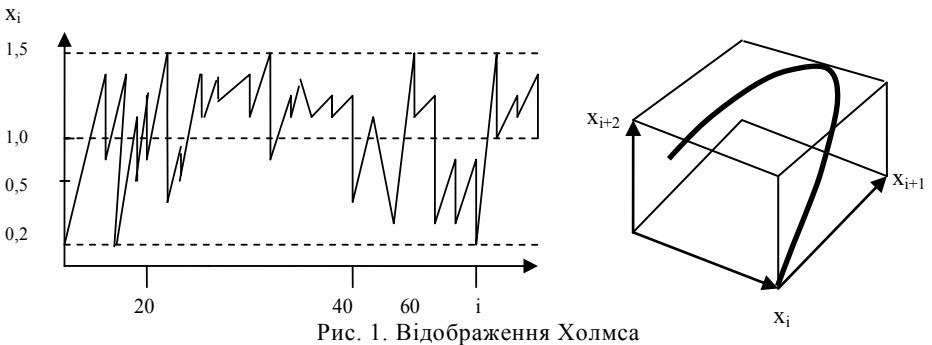


Рис. 1. Відображення Холмса

Взагалі, для визначення характеру змін ТС СТС у цілому, позитивні результати (відповідність вимогам щодо точності та оперативності) давало застосування хаотичної моделі експлуатації СТС – відображення Холмса [6] (рис. 1):

$$\begin{cases} x_{i+1} = y_i; \\ y_{i+1} = -bx_i + dy_i - y_i^3; \\ b = 0,2; \quad d = 2,77. \end{cases}$$

Точне визначення коефіцієнтів цієї моделі дозволило отримувати прийнятні результати. Більш того, побудова траєкторії змін ТС СТС у псевдофазовому просторі виявила її нескладний характер. Це дає змогу здійснювати прогностичні розрахунки стану систем [5, 6].

Висновки. На заключному етапі експлуатації СТС доцільно застосувати хаотичні моделі для контролю стану і змін його у майбутньому

для СТС, зважаючи на домінуючий вплив хаотичної складової серед впливових чинників. Це дозволяє досягти відповідності щодо точності та оперативності очікуваних результатів.

З економічної точки зору, експлуатація СТС із застосуванням детально розроблених моделей зміни ТС, представляє інтерес через те, що 90% складної і дорогої техніки на сьогоднішній час експлуатується поза межами гарантійного строку. Заміна на нові зразки відповідної техніки вимагає витрат у 3 – 5 разів більших, як показали дослідження, ніж застосування запропонованих режимів роботи СТС із врахуванням хаотичності у поведінці визначаючих параметрів таких систем і подальшої їх експлуатації.

Наступні дослідження слід зосередити на розробці методики розрахунків коефіцієнтів хаотичних моделей і на розробці методики встановлення змін цих коефіцієнтів з плином часу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сухорученков Б.И. *Математическое моделирование изменений технического состояния систем ЛА.* – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2002. – 386 с.
2. Василенко М.И. *Использование локально-сплайновых моделей при прогнозировании полей характеристик бортовых систем ЛА.* – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2001. – 290 с.
3. Федер Е. *Фракталы: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Павлов В.М. *Системный анализ сложных систем.* – М.: МО РФ, 1999. – 432 с.
5. Воробьев С.Н., Егоров Е.С., Плотников Ю.И. *Теоретические основы обоснования военно-технических решений.* – М.: РВСН, 1994. – 573 с.
6. Кулагин О.А. *Принятие решений в системах организационного управления. Ч. 1. Основы методологии.* – СПб.: ВКУ им. А.Ф. Можайского, 1999. – 653 с.
7. Хохлачев Е.Н. *Теоретические основы управления. Ч. 2. Анализ и синтез систем управления.* – М.: РВСН, 1996. – 422 с.
8. Хохлачев Е.Н. *Организация и технология выработки решений при управлении системой и войсками связи. Ч. 1. Методологические основы выработки военно-управленческих решений.* – М.: РВСН, 1999. – 652 с.

Надійшла 15.09.2003

АВДЄЄВ Володимир Федорович, старший викладач ХВУ. У 1983 р. закінчив МВТУ ім. Баумана. Область наукових інтересів – програмно-цільове планування розвитку ВВТ; математичне моделювання; теорія оцінювання і вибору рішень; технічний стан складних технічних систем.

КОШЕЛЬ Анатолій Васильович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри ХВУ. У 1979 р. закінчив ХІРЕ. У 1990 р. закінчив ВА РВСН ім. Ф.Е. Дзержинського. Область наукових інтересів – структурний синтез територіально розподілених систем; математичне моделювання; теорія оцінювання і вибору рішень; технічний стан складних технічних систем.

ЯНОВ Василь Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри ХВУ. У 1991 р. закінчив ХВВАУРЕ. Область наукових інтересів – математичне моделювання; автоматизація управління

діяльність підприємства.