

ЧЕПІЖЕНКО В.І., докторант, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

ФОРМАЛІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РІВНЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУПРОВОДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Обґрунтовується енергетично-інформаційний підхід до формування структури функціонального рівня інформаційної системи супроводження експлуатації складних технічних систем

Суттєве вироблення календарних термінів служби складних технічних систем (далі – СТС), до яких можна віднести і військову авіаційну техніку, в умовах обмеженого фінансування приводить до необхідності проведення заходів, направлених на розширення інтервалу експлуатаційного етапу їх життєвого циклу. В цих умовах важливе значення набуває питання розробки таких механізмів управління технічним і функціональним станами СТС, які б дозволили максимально використовувати ресурсний потенціал і потенціал довговічності, що закладено в конструкцію СТС на етапах її проектування і виготовлення, при умовах раціональної витрати фінансових ресурсів на підтримку її справності. Це завдання дуже складне, багатофакторне і пов'язане з необхідністю обробки великих потоків інформації за допомогою обчислювальної техніки. Очевидно, що вирішення цих задач повинно здійснюватись в межах інформаційної системи (далі – ІС) супроводження експлуатації СТС, яка повинна мати певні властивості, а саме:

мати дійові контури підтримки управління надійністю і параметрами технічного стану СТС ;

забезпечувати проведення прогнозу зміни технічного стану СТС;

для формування керуючих дій враховувати довготривалі повільні процеси деградації технічного стану СТС, які пов'язані з її природним старінням і безпосереднім використанням за призначенням;

мати властивості гнучкої адаптації до обсягів фінансування системи управління справністю СТС;

функціонувати безперервно протягом всього експлуатаційного етапу життєвого циклу виробів СТС;

забезпечувати управління за гарантованими раціональними результатами.

Забезпечення ефективної роботи ІС у першу чергу залежить від коректності і достатності структури її функціонального рівня [1], який повинен включати:

інтегровані інформаційні і динамічні моделі СТС, що відбивають її експлуатаційні характеристики і функціонування за цільовим призначенням;

інформаційні моделі еволюції технічного і функціонального станів СТС на всьому інтервалі експлуатаційного етапу їхнього життєвого циклу;

моделі експлуатаційного і ремонтного середовищ.

На теперішній час багато з цих моделей є формалізованими, але їх суттєвим недоліком є розрізненість і різнорідність, пасивність і фрагментарність, не здатність відбивати найбільш загальні, фундаментальні закономірності зміни технічного і функціонального станів СТС в ув'язуванні з режимами зберігання, експлуатації і функціонального застосування СТС.

Тому задача формалізації структури функціонального рівня інформаційної системи супроводження експлуатації СТС, виходячи з єдиних системних засад і єдиного модельного представлення динамічних еволюційних процесів, що протікають на всьому інтервалі експлуатаційного етапу життєвого циклу СТС, є актуальною науковою задачею.

З метою формування єдиного підходу до синтезу структури функціонального рівня ІС, розглянемо формалізацію динамічних процесів, що протікають у класичній технічній системі.

Рівняння динаміки технічної системи, що містить N матеріальних точок, мають вигляд [2]:

$$a_j w_j = F_j^{(e)} + F_j^{(i)} + R_j, \quad (j = 1, 2, \dots, N), \quad (1)$$

де $F_j^{(e)}$ – зовнішні сили, що характеризують взаємодію технічної системи з навколишнім середовищем; $F_j^{(i)}$ – внутрішні сили; R_j – реакції зв'язків, тобто сили, дія яких на систему еквівалентна дії зв'язків, що розглядаються; w_j – вектори прискорення; a_j – маси.

З метою одержання замкнутої системи рівнянь, до (1) додають рівняння зв'язків:

$$f_k(r_1, r_2, \dots, r_N, t) = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (2)$$

де r – радіус-вектори мас щодо обраної інерціальної системи координат $Oxuz$.

Основною узагальненою характеристикою стану системи (1, 2) є енергія. Рівняння для кінетичної (T), потенційної (U) і дисипативної (F) енергій, відповідно, мають вигляд:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{jk} \dot{q}_j \dot{q}_k, \quad U = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n c_{jk} q_j q_k, \quad F = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n b_{jk} \dot{q}_j \dot{q}_k, \quad (3)$$

де q – узагальнені координати системи, a_{jk} – інерційні коефіцієнти, c_{jk} – квазіпружні коефіцієнти, b_{jk} – дисипативні коефіцієнти.

Динамічні зміни у часі характеристик технічної системи з урахуванням енергетичної компоненти дає канонічна Гамильтонова система диференціальних рівнянь виду [3]:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p}; \quad \frac{dp}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q} + Q, \quad (4)$$

де p – узагальнені імпульси системи, Q – узагальнені сили, що діють на систему, $H = T + U$ – функція Гамільтона, що визначає повну енергію системи.

Система рівнянь (4) шляхом виключення p легко приводиться до канонічної форми Коші

$$\ddot{q} = -\frac{1}{A}(B\dot{q} + Cq - \sum f). \quad (5)$$

Аналогічні вирази можна легко одержати і для систем, заснованих на інших фізичних принципах: електричних, електромагнітних, електромеханічних і т.д. У загальному випадку, вирази коефіцієнтів A , B і C є залежностями від коефіцієнтів кінетичної, дисипативної і потенційної енергій відповідно. Одночасно, ці коефіцієнти є функціями від параметрів елементів технічної системи, тобто рівняння Гамільтона (4) дозволяють зв'язати воедино енергетичні і параметричні (інформаційні) характеристики еволюційних процесів, що протікають у технічній системі.

Таким чином, аналіз рівняння (5) дозволяє зробити принциповий висновок про те, що практично будь-який процес, який протікає в елементах СТС, можливо представити у вигляді диференційного рівняння другого порядку, яке зв'язує воедино структурні і енергетичні динамічні процеси.

Цей висновок дозволяє нам розглядати рівняння (5) як структурний фрактал. Як відомо [4, 5], основною властивістю фракталів є їхня структурна інваріантність (самоподоба) на кожному структурному рівні. Структурний фрактал виду (5), наприклад, для системи із трьома ступенями свободи, можна представити у вигляді структурної схеми, наведеної на рис. 1. Ця схема детально досліджувалась багатьма вченими в рамках теорії автоматичного управління та теорії інваріантності [6, 7].

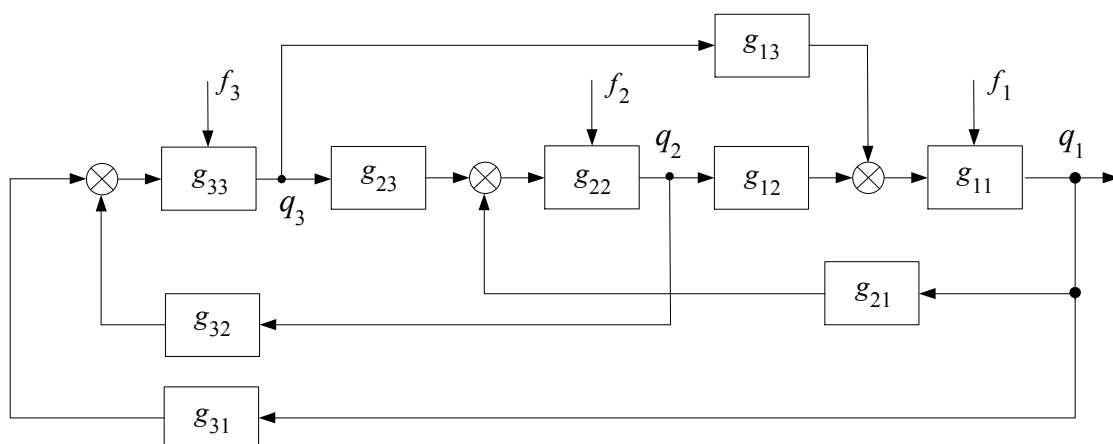


Рис. 1. Структурна схема фрактала для системи із трьома ступенями свободи: g_{ij} – оператори перетворення сигналів, q_i – узагальнені координати (ступені свободи), f_i – збурення

Однак таке узагальнене подання динамічних процесів має суттєвий недолік, який полягає в тому, що розглядається лише інформаційна компонента цих процесів. Дані моделі враховують лише інформаційні взаємодії між елементами та частинами СТС і не розглядають витрати енергії та речовини. При цьому фактично ігнорується матеріально-енергетична сутність цих процесів, що протікають в СТС. Таке абстрагування від фізичної сутності не дозволяє виявити дійсні механізми інтеграції керованої взаємодії, енергії, речовини й інформації в СТС. А.А. Колісників у своїй роботі [8] дає характеристику шляхів дослідження СТС: "Істотно важливо розглядати їхнє поводження як з погляду динаміки, коли домінуючу роль відіграє енергія, так і з погляду інформаційних процесів, що протікають у них, коли головне – в "значенневому" змісті сигналів керування".

Для усунення цього недоліку пропонується розширити простір станів СТС шляхом введення в модель системи додаткового рівня, що відбиває енергетичні процеси, які протікають у СТС (рис. 2).

Передача інформації до енергетичного рівня про енергетичні процеси, що характеризують функціонування інформаційно-сигнального рівня, здійснюється на рівні спостереження через відповідні інтегратори.

Енергетичні впливи на СТС можна розділити на збурюючі і спрямовані на забезпечення їхнього цільового функціонування. У процесі експлуатації СТС ці процеси приводять до еволюції (деградації) технічного і функціонального станів системи.

Для СТС енергетичний рівень можна представити як окремий, який характеризується багатомірним вектором, що включає:

початкову енергію, закладену в конструкцію СТС;

енергію, що забезпечує цільове функціонування СТС E_u ;

енергію збурень E_f ;

втрати (дисипація) енергії в процесі її функціонування ΔE_i

Виходом енергетичного рівня є сумарна вироблена СТС енергія E_y .

Структурна схема, представлена на рис. 2 легко перетворюється в упорядковану схему, наведену на рис. 3. Особливість упорядкованої схеми полягає в тому, що усі її елементи з'єднані оператором Кронекера $\delta = \{0, 1\}$.

Для багатомірної СТС масив цих операторів утворює упорядковану матрицю, яка характеризує зв'язуваність елементів структурної схеми. Це дозволяє роз'єднувати структурну схему не тільки самого об'єкта, але й енергетичні потоки та збурюючі сили, які супроводжують функціонування елементів СТС.

Аналіз структури упорядкованої матриці дозволяє робити висновки про ступінь зв'язності елементів СТС та ступінь їх енергетичної насиченості.

У реальних системах не всі зв'язки можуть бути розірвані на фізичному рівні. Це може бути викликано конструктивними особливостями елементів конструкції СТС або економічною (технологічною) недоцільністю. Ці особливості також можливо враховувати введенням операторів Кронекера, які враховують технологічні особливості відновлення технічного стану елементів СТС.

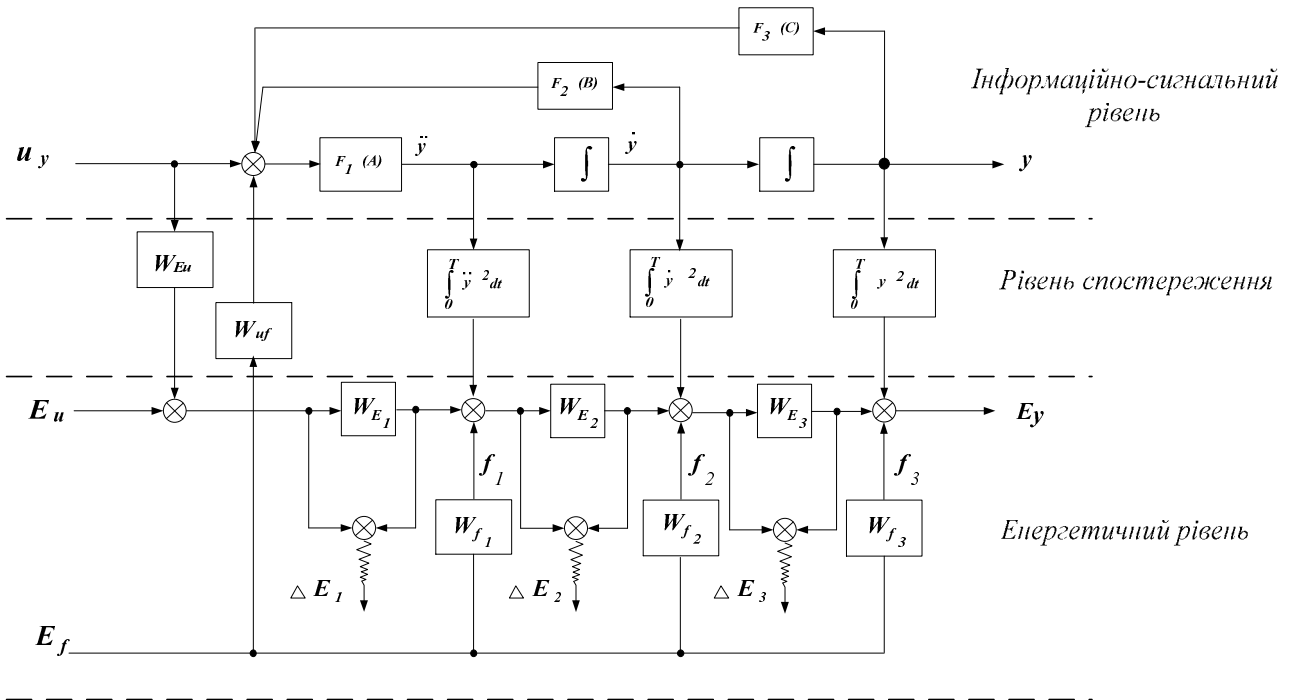


Рис. 2. Структурна схема системи, яка розширена шляхом введення енергетичного рівня

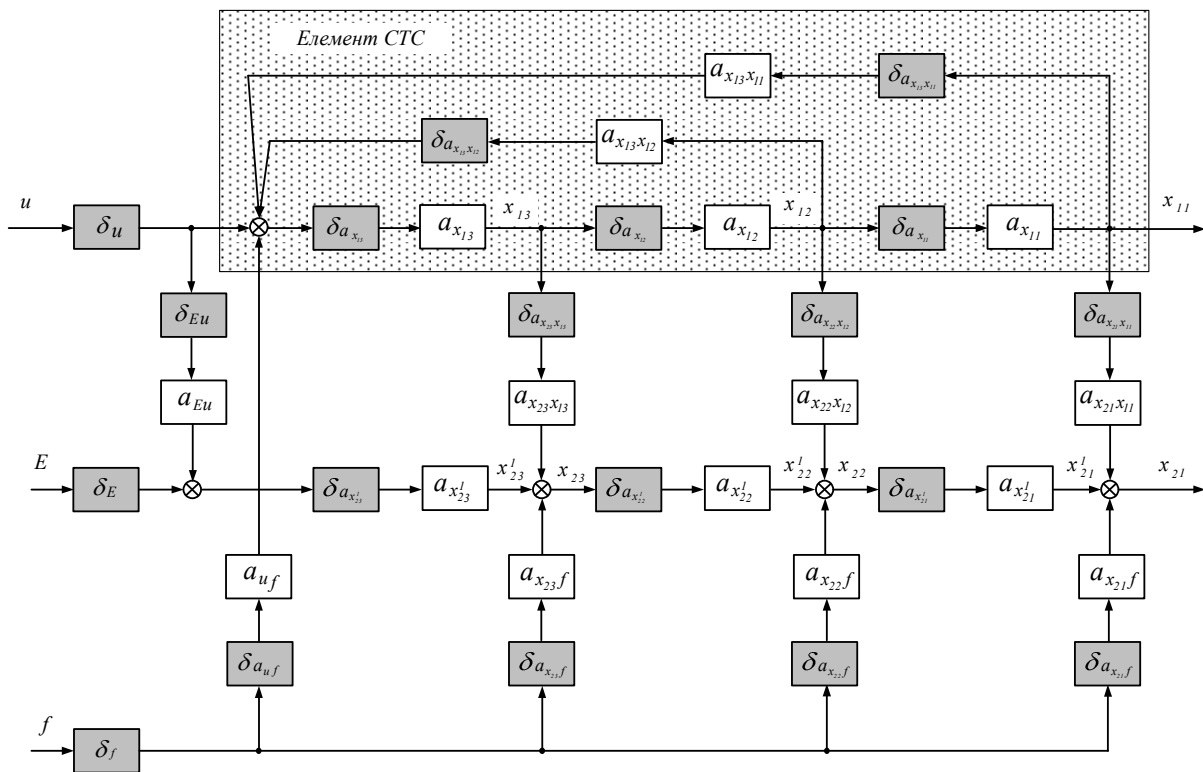


Рис. 3. Упорядкована структурна схема елемента СТС

1. Запропонована упорядкована структурна схема елемента СТС дозволить формувати структуру всієї системи із однорідних елементів – структурних фракталів, що призведе до суттєвого зниження розмірності її математичної моделі. Така структура повністю відбиває потрібну архітектуру функціонального рівня інформаційної системи супроводження експлуатації СТС.

2. Синтезована в такий спосіб структура ІС дозволяє вирішувати основні завдання синтезу інформаційних масивів, синтезу процедур перетворення одних масивів в інші, визначення раціональних варіантів окремих частин і всієї ІС в цілому, формування масивів вхідної та вихідної інформації в СТС і ін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чепіженко В.І. Енергетична концепція ядра для моделювання CALS-процесів у складних технічних системах // Вісник НАУ. — 2009. — № 3. — С. 76 — 82.
2. Неймарк Ю.И. Динамика неавтономных систем. / Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев // М.: Наука, 1967. — 520с.
3. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т. I. Механика / Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. — М.: Наука, 1988. — 216 с.
4. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / Р.М.Кроновер. — М: Постмаркет, 2000. — 352 с.
5. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов / А.Д.Морозов. — Москва — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. — 160 с.
6. Лузин Н.Н. К изучению матричной теории дифференциальных уравнений // Автоматика и телемеханика, №4, 1940. — с. 12-16.
7. Павлов В.В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления. / В.В. Павлов. — К.: Наукова думка, 1971. — 272 с.
8. Колесников А.А. Когнитивные возможности синергетики. / Вестник Российской Академии наук, том 73, N8, 2003. — с.727-734.

Надійшла до редакції 29.10.2009