

На правах рукопису

Христофоров Олександр Васильович

АВТОКОЛИВАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ
ТА ПОШУКУ ДЕФЕКТІВ В НЕЛІНІЙНИХ БЕЗПЕРЕРВНИХ ДИНАМІЧНИХ
СИСТЕМАХ ПЕРШОГО КЛАСУ

05.13.03 - Системи та процеси керування

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



71557.701

Робота виконана в Харківському авіаційному інституті

Науковий керівник - кандидат технічних наук,
професор, Успенко В.І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор Кривуля Г.Ф.

кандидат технічних наук,
доцент Краснопопсовський О.С.

Провідне підприємство - авіаційний науково-технічний
комплекс (АНТК) ім. О.К.Антонова.

ЛНБ України ім. В. Стефаника

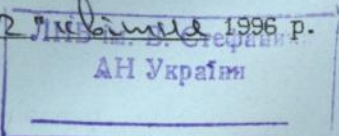


00754383 (U)

Захист дисертації відбудеться "16" травня 1996 р.
в 14 час 00 хвилин на засіданні спеціалізованої ради
К 02.25.06 Харківського державного технічного університета
радіоелектроніки за адресою: 310726, м. Харків, пр. Леніна,
14, fax: (0572) 40-91-13.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківсь-
кого державного технічного університета радіоелектроніки.

Автораферат розісланий "12" травня 1996 р.



Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Дедіков Е.О.

AB - 34.481 - 1 -

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ. В останні роки технічна діагностика нелінійних динамічних систем (НС) оформляється в новий, самостійний напрямок теоретичних і прикладних досліджень. У зв'язку із складністю проблеми, цьому напрямку присвячено занадто мала кількість робіт. Проведений аналіз дозволив виділити декілька підходів до вирішення цієї непростої задачі.

Дані підходи можна розподілити на дві групи методів: методи функціональної діагностики і методи тестової діагностики. Недоліками методів функціональної діагностики є: по-перше, те, що вони, як правило, використовуються тільки для визначення роботоздатності об'єкта діагностування (ОД), що ж торкається пошуку дефектів, то ці методи володіють задовільно низькою відрізненістю; по-друге, дані методи критичні до виду нелінійностей ОД.

Недоліками тестових методів діагностики НС, як в частотній, так і в часовій областях, є необхідність роздільної оцінки лінійних і нелінійних якостей ОД, а також залежність виду тестового впливу від виду нелінійності.

Аналіз існуючих методів контролю і діагностики НС показав, що в теперішній час в технічній діагностиці відсутній універсальний підхід, дозволяючий з єдиних позицій здійснювати визначення роботоздатності та пошук дефектів в достатньо представницькому класі НС. Це зв'язано, по-перше, з тим, що при розробці методів діагностики НС недостатньо використовуються їх специфічні особливості, добре вивчені в теорії автоматичного керування (ТАК) і, по-друге, практично не представлений новий, перспективний напрямок діагностування - використання геометричних словників дефектів.

В дисертаційній роботі, на основі використання ТАК НС, зокрема, методу гармонічної лінеаризації та теорії інваріантів, пропонується новий підхід до пошуку дефектів в НС, названий автоколивальним. Використовування теорії інваріантів, а саме, теорії параметричних інваріантів, розробленої професором Л.О.Мироновським і його учнями, дозволило усунути велику роз'єднаність в тестових методах діагностування, а також необхідність в роздільній оцінці лінійних і нелінійних якостей ОД. Для усунення обов'язковості конструювання вхідного сигналу для кожного нового ОД, в дисертації, в якості інформативних діагностичних ознак (ДО) пропонується використовувати параметри автоколивального режиму (амплітуду A , частоту Ω і деякі інші).

Таким чином, теоретична і практична потреба в рішенні задач пошуку дефектів в нелінійних ОД, по можливості окремого класу, і обумовлює актуальність дисертації.

МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ. Основною метою дисертаційної роботи є розробка методу і алгоритмів діагностування НС першого класу (який буде докладно описаний нижче), на основі використання параметрів автоколивального процесу в якості діагностичних ознак.

Для досягнення даної мети в дисертації вирішувались такі задачі:

1. Розробка методів побудови нових діагностичних характеристик НС різних типів.
2. Розробка методів аналізу спостережуваності та відрізненості параметричних дефектів.
3. Розробка методів підвищення якості діагностування НС.
4. Розробка алгоритмів визначення роботоздатності та пошуку дефектів в НС, а також методів забезпечення їх робаст-

НОСТІ.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. При рішенні поставлених задач в роботі використовувались методи ТАК, гармонічної лінеаризації, теорії інваріантів, чисельних методів, технічної діагностики, математичної логіки.

НОВІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ, ЯКІ ВИНОСЯТЬСЯ НА ЗАХИСТ:

- для забезпечення одноманітності та універсальності алгоритмів діагностування запропоновані нові діагностичні характеристики (годографи дефектів) НС, названі амплітудно-частотними годографами дефектів (АЧГД), і розроблені методи їх побудови для НС різних типів. Раніше ГД були одержані тільки для лінійних ОД;

- запропоновані аналітичні критерії неспостережуваності та невідрізненості параметричних дефектів, а також аналітичні способи визначення параметрів, які створюють клас суто еквівалентних дефектів;

- для підвищення діагностуємості НС обґрунтовано і запропоновано використання зсувів фаз в автоколивальному режимі, а також параметрів, які створюють порівняння балансу амплітуд та фаз, в якості нових, інформативних ДО;

- на основі введених ДО запропоновані нові діагностичні характеристики, названі амплітудно-фазо-частотними годографами дефектів (АФЧГД), і розроблені методи їх побудови;

- для випадку використання більше трьох вимірюваних ДО (декількох амплітуд автоколивань, частот автоколивань, декількох зсувів фаз в автоколивальному режимі) розроблен метод побудови і аналізу багатовимірних годографів дефектів (БГД);

- з метою забезпечення робастності алгоритмів діагностування НС запропонован спосіб побудови площинних ГД з інте-

рвально заданими значеннями контролюємих параметрів (допусками);

- розроблені алгоритми визначення роботоздатності та пошуку дефектів за сукупністю площинних ГД з допусками.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ. Запропонований автоколивальний метод діагностування НС може бути використаний при створенні автоматизованих систем контролю і діагностики об'єктів, в яких можливо створення коливальних процесів, а також при синтезі автоколивальних систем з заданими показниками амплітуди і частоти.

РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Розроблений в дисертації підхід використаний в КБ ім. О.К. Антонова при проектуванні алгоритмів визначення роботоздатності та пошуку дефектів в вентильном електродвигуні (ВЕД) постійного струму в умовах стенду.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Основні положення і результати роботи повідомлялись, обговорювались і одержали схвалення на: VIII міжвузівській нараді-семінарі з методів і засобів технічної діагностики (м. Харків, 1989); VII Всесоюзній нараді з технічної діагностики і відмовостійкості (м. Саратов, 1990); I Всесоюзній школі-семінарі з технічної діагностики динамічних систем (м. Харьков, 1990); X міжвузівській нараді-семінарі з методів і способів технічної діагностики (м. Харьков, 1991); науково-технічній конференції "Технічне діагностування - 93" (м. С.-Петербург, 1993).

ПУБЛІКАЦІЇ. Основний зміст дисертації відображений в 9 опублікованих (надрукованих) роботах і в звіті по НДР.

СТРУКТУРА І ОБСЯГ ДИСЕРТАЦІЇ. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох глав, заключення, списку використаних джерел і трьох додатків; викладена на 168 сторінках

машинописного тексту; містить 55 малюнків, 2 таблиці; список використаних джерел включає 64 найменування.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У введени розкрито актуальність теми, сформульовані мета і задачі дослідження, охарактеризована новизна отриманих результатів, відмічена їх практична значимість, приведені відомості про апробацію та розкритий основний зміст роботи.

В першій главі міститься огляд методів діагностування НС в просторі параметрів. Огляд показав, що існуючі тестові методи діагностування НС в частотній області, засновані на використанні коливальних процесів, мають ряд недоліків. Для їх усунення пропонується підхід, який дозволяє з єдиних позицій вирішувати задачі діагностування НС, які містять довільні статичні нелінійності (у тому числі розривні), а також їх комбінації.

Із теорії автоматичного керування (ТАК) відомо, що в нелінійних системах, при відсутності зовнішнього періодичного впливу, при визначених умовах, може виникнути стійкий періодичний процес – автоколивання системи. Видатною властивістю автоколивань є те, що це власні періодичні коливання системи, амплітуда і частота яких не залежать від початкових умов, а визначаються тільки внутрішніми властивостями системи. Під внутрішніми властивостями системи мається на увазі те, що на її поведінку в режимі автоколивань будуть робити вплив тільки параметри системи (коефіцієнти передачі K_1 , сталі часу T_j і параметри нелінійного елемента N_K). Саме ці параметри в задачах технічної діагностики створюють множину контролюємих параметрів.

В загальному випадку, амплітуда A і частота Ω автоколивань є функціями вхідних (задаючого $g(t)$ і збурюючого $f(t)$) сигналів, величини зміщення постійної складової X^0 (в випадку утворення несиметричних автоколивань), структури і параметрів системи. Найбільш цікавою представляється ситуація, коли A і Ω залежать тільки від контролюємих параметрів та структури досліджуваної системи. Така ситуація легко досягається при виконанні двох умов: відсутності вхідних (задаючого і, по можливості, збурюючого) сигналів $g(t) = 0$, $f(t) \approx 0$ і розглядання режиму симетричних автоколивань, що досягається виконанням попередньої умови і симетричністю нелінійних характеристик: $X^0 = 0$.

Отже, при виконанні даних умов, в загальному випадку, амплітуда A і частота Ω будуть залежати (явно чи неявно) тільки от контролюємих параметрів і структури об'єкту. Тоді можна записати:

$$A = F_1(K_1, T_j, N_k) = \text{const}, \quad (1)$$

$$\Omega = F_2(K_1, T_j, N_k) = \text{const}, \quad (2)$$

$$i = \overline{1, l}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, n}.$$

Таким чином, приведені міркування дозволяють зробити важливий висновок для технічної діагностики: для нелінійних динамічних систем, які знаходяться в режимі симетричних автоколивань, при відсутності вхідних сигналів, амплітуда A і частота Ω автоколивань є параметричними інваріантами відносно початкових умов.

На основі сказаного, в якості діагностичних ознак нелінійних безперервних систем, працюючих в режимі симетричних автоколивань ($X^0 = 0$), при відсутності вхідних сигналів ($g(t) = 0$, $f(t) \approx 0$), запропоновується використовувати

амплітуду і частоту автоколивань.

Будемо розглядати НС першого класу (по класифікації, запропоновані в працях Є. П. Попова), приводжувані до виду зі структурно виділеною нелінійністю, і описувані без обліку збурюючого сигналу нелінійним диференціальним порівнянням:

$$Q(P)x(t) + R(P)F(x(t)) = Q(P)g(t), \quad P \equiv d / dt,$$

котрі вміщують стійку лінійну частину (ЛЧ), володіючи якістю низькочастотного фільтру: $|W(jn\omega)| \ll |W(j\omega)|$, $n = 3, 5, \dots$, з передаточною функцією: $W_L(P) = R(P) / Q(P)$ (ступінь многочлена $R(P)$ в числітелі менше, ніж ступінь многочлена $Q(P)$ в знаменателі), і також вміщуючі нелінійний елемент (НЕ) $F(X)$, описуваний порівнянням: $Y = F(X)$, і що являє собою статичну однозначну або двозначну непарно-симетричну нелінійність. Результуючий нелінійний елемент $F(X)$ може являти собою об'єднання декількох суміжних, послідовно або паралельно поєднаних статичних нелінійностей, розподілених ідеальними безінерційними ланками.

Будемо розглядати НС, які працюють в режимі симетричних автоколивань $X^0 = 0$, при відсутності входних сигналів ($g(t) = 0$, $f(t) \approx 0$), або запроваджені в цей режим штучно з метою діагностування.

Розроблений метод контролю і діагностики повинен вирішувати такі задачі: виявлення параметричних дефектів (визначення роботоздатності ОД), визначення місця виникнення параметричного дефекту і визначення його величини. Під параметричним дефектом d_1 будемо розуміти таке фізичне явище, яке викликає відхилення контролюемого параметру P_1 від номінального значення P_1^H на величину m_1 , яка перевищує максимально припущене відхилення $[m_1]$: $d_1 = \Delta P_1 = P_1^H + m_1$, $m_1 > [m_1]$.

Друга глава присвячується розробці методів побудови нових годографів дефектів (ГД) для нелінійних ОД вказанного класу, а також аналітичних критеріїв неспостережуваності та невідрізненості параметричних дефектів. Використовування апарату теорії параметричних інваріантів, а саме ГД, обумовлено потребою усунення роздільної оцінки нелінійних і лінійних якостей ОД, а також необхідністю додання універсальності розроблюваному методу діагностування.

Загальна методологія побудови ГД і аналізу спостережуваності та відрізненості дефектів була детально розроблена професором Л.О.Мироновським для задач діагностування лінійних стаціонарних систем. В дисертаційній роботі зроблена одна з перших спроб розповсюдження даного напрямку аналізу і діагностування систем на нелінійний випадок.

Годографами дефектів (ГД) називаються траєкторії зміни значень діагностичних ознак (параметричних інваріантів), згідно із зміною величин параметричних дефектів ОД, побудовані в просторі діагностичних ознак (інваріантів). Таким чином, ГД можна розглядати як геометричні словники дефектів.

Теоретично, якщо через N позначити кількість компонентів в повній системі інваріантів ОД $I = (I_1, I_2, \dots, I_N)$, що однозначно характеризує поведінку системи, можливо одержання багатовимірного ГД, в N - мірному просторі інваріантів. Тоді справний стан ОД буде характеризуватись деякою точкою в цьому просторі. Поява фізичного дефекту Δf_1 , котрий є причиною виникнення параметричного дефекту d_1 , що складається, наприклад, в плавній зміні деякого P_1 , приведе до зміщення зображючої (номінальної) точки уздовж деякої траєкторії (годографа дефектів), характеризуємої залежністю $I(\Delta f_1) = (I_1(\Delta f_1), \dots, I_N(\Delta f_1))$. Геометрично, остання рівність являє собою

параметричне порівняння кривої в N - мірному просторі. Аналогічно, при виникненні фізичного дефекту Δf_j , йому буде відповідати деякий годограф $I(\Delta f_j)$, який проходить через ту ж номінальну точку тощо.

Отже, по черзі варіюючи параметрами системи (імітуючи виникнення різних параметричних дефектів), можна одержати пук годографів (кривих) в просторі інваріантів (ДО), які проходять через загальну точку з номінальним вектором $I_0 = [I_1, \dots, I_N]^T$.

Розглянемо методи побудови ГД, використовуючі в якості ДО A і Ω . Відомо, що в деяких простіших випадках, можна одержати залежність A і Ω від контролюємих параметрів НС, в загальному випадку, в вигляді (1) і (або) (2). Будемо називати системи, для яких в явній формі можна одержати залежність вигляду (1) і (або) (2), системами, що допускають аналітичне визначення A і Ω .

Загальну схему побудови нової діагностичної характеристики можна запропонувати в наступному вигляді. Амплітуда A і частота Ω в функціях контролюємих параметрів (параметрично заданими функціями):

$$A = A(P_1), \quad \Omega = \Omega(P_1), \quad i = \overline{1, r}, \quad r \leq q = l + m + n, \quad (3)$$

де P_1 - i - й контролюємий параметр, r - кількість спостережуваних годографів. В випадку оборотності функції $\Omega(P_1)$, можна одержати явну залежність зміни амплітуди A від зміни частоти Ω , в відповідності із зміною i - го контролюємого параметра:

$$A = A(\Omega^{-1}(P_1)). \quad (4)$$

Якщо маються контролюємі параметри P_1 , для яких обернена функція $\Omega^{-1}(P_1)$ не існує, залежність (4) можна одержати табли-

чним способом із виразів (3).

При використанні в якості ДО A і Ω , стан роздивляемого ОД характеризується положенням точки (Ω_H, A_H) на площині ΩA . Точка перетину кривих з координатами (Ω_H, A_H) відповідає параметрам автоколивань при номінальних показниках усіх контролюємих параметрів ОД. При несправностях (дефектах) ОД, пов'язаних з відхиленням одного з параметрів від номінала, точка (Ω_H, A_H) буде зміщуватися по одному із годографів (кривих). Ці ГД були названі амплітудно-частотними годографами дефектів (АЧГД).

ВИЗНАЧЕННЯ 1. Амплітудно-частотними годографами дефектів (АЧГД) називаються годографи параметричних дефектів, побудовані в координатах (Ω, A) .

Розглянемо методи одержання АЧГД для НС високого порядку, не допускаючих визначення A і Ω в явному вигляді. В цьому випадку, годографи дефектів можна описати порівнянням:

$$\Phi(A(P_1), \Omega(P_1)) = 0. \quad (5)$$

Основними способами визначення параметрів автоколивань і їх стійкості є алгебраїчний метод Є.П. Попова і частотні методи Л.С. Гольдфарба, Ю.І. Топчєєва. Розглянемо методи одержання АЧГД виду (5), наприклад, на основі використання методу Гольдфарба.

При використанні методу Л.С. Гольдфарба:

$$\Phi(A(P_1), \Omega(P_1)) = \begin{cases} H(\Omega, P_1) = 1 / K_H(A, P_1) \\ \varphi_L(\Omega, P_1) = -\Pi - \varphi_H(A, P_1), \end{cases}$$

при $\omega = \Omega$, $a = A$, $P_1 = \text{var}$,

$$H(\omega) = |W_L(j\omega)|, \quad K_H(a) = |W_H(a)|,$$

де

$$\varphi_L(\omega) = \arg W_L(j\omega), \quad \varphi_H(a) = \arg W_H(a).$$

Варіювання параметрами ($P_1 = \text{var}$) належить проводити до тих пір, поки зміна 1-го параметру не приведе до зриву автоколивального режиму.

При аналізі діагностичних моделей в задачах технічної діагностики часто доводиться зштовхуватися з проявами неспостережуваності та невідрізненості дефектів.

Параметричний дефект d називається спостережуваним по АЧГД, якщо мають місце нерівності: $A(d) \neq A_H$, $\Omega(d) \neq \Omega_H$, де $A(d)$ і $\Omega(d)$ - величини амплітуди і частоти автоколивань при виникненні параметричного дефекту. В протилежному випадку: $A(d) = A_H$, $\Omega(d) = \Omega_H$, дефект d називається неспостережуваним. По АЧГД неспостережуваний дефект характеризується номінальною точкою (Ω_H, A_H) або її околom. Параметричні дефекти d_1 і d_2 називаються невідрізненими по АЧГД, якщо для кожного значення d_1 знайдеться значення d_2 , що забезпечує виконання порівнянь: $A(d_1) = A(d_2)$, $\Omega(d_1) = \Omega(d_2)$, і навпаки. Це значить, що при збігу двох кривих, описуваних у загальному випадку порівняннями $\Phi(A(d_1), \Omega(d_1)) = 0$ і $\Phi(A(d_2), \Omega(d_2)) = 0$ можна зробити висновок про невідрізненість цих дефектів. Очевидно, що всі невідрізнені між собою дефекти утворюють один клас еквівалентності. Доцільно запропонувати умовні (тільки для A і Ω) аналітичні критерії неспостережуваності та невідрізненості дефектів, засновані на методах визначення параметрів автоколивань. Наприклад, використовуючи метод Топчєєва, можна запропонувати аналітичні критерії неспостережуваності та невідрізненості дефектів в наступному вигляді.

КРИТЕРІЙ НЕСПОСТЕРЕЖУВАНОСТІ. Необхідною і достатньою умовою неспостережуваності дефекту d_1 , при використанні методу Топчєєва, є відсутність траєкторій (нульові траєкторії)

вирішення системи (6):

$$\left. \begin{aligned} 20 \lg H(\Omega, d_1) &= 20 \lg(1 / K_H(A, d_1)) \\ \varphi_L(\Omega, d_1) &= -\Pi - \varphi_H(A, d_1) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

в порівнянні в номінальним режимом, в суміщених амплітудних і фазових площинах (7):

$$(\lg \omega, L(\omega)), (\lg \alpha, L(\alpha)), \quad (7)$$

$$(\lg \omega, \varphi_L(\omega)), (\lg \alpha, \varphi_H(\alpha)),$$

де $L(\omega) = 20 \lg H(\omega)$, $L(\alpha) = 20 \lg(1 / K_H(\alpha))$.

КРИТЕРІЙ НЕВІДПРИЗНЕНОСТІ. Необхідною і достатньою умовою невідпризненості двох дефектів d_1 і d_2 , при використанні метода Топчєєва, є збіг (еквівалентність) траєкторій вирішення (8) і (9):

$$\Phi(L(\Omega(d_1)), L(A(d_1))) \sim \Phi(L(\Omega(d_2)), L(A(d_2))), \quad (8)$$

$$\Phi(\varphi_L(\Omega(d_1)), \varphi_H(A(d_1))) \sim \Phi(\varphi_L(\Omega(d_2)), \varphi_H(A(d_2))), \quad (9)$$

систем порівнянь (10) і (11):

$$\left. \begin{aligned} 20 \lg H(\Omega, d_1) &= 20 \lg(1 / K_H(A, d_1)) \\ \varphi_L(\Omega, d_1) &= -\Pi - \varphi_H(A, d_1) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

і

$$\left. \begin{aligned} 20 \lg H(\Omega, d_2) &= 20 \lg(1 / K_H(A, d_2)) \\ \varphi_L(\Omega, d_2) &= -\Pi - \varphi_H(A, d_2) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

в суміщених амплітудних і фазових площинах (7).

Третя глава присвячується способам підвищення якості діагностування НС даного класу. Як показали проведені дослідження, для необхідної глибини діагностування нелінійних ОД, використовування тільки двох ДО - А і Ω , виявляється недостатнім. Підвищення якості діагностування може бути досягнуто

за рахунок впровадження нових, раніш не використовуваних ДО.

В першу чергу, в якості нових ДО пропонується використовувати зсуви фаз $\varphi(\Omega)$ і $\varphi_H(A)$, які вносяться інерційними блоками ЛЧ і нелінійностями на частоті автоколивань Ω і при амплітуді автоколивань A . Введення даних ДО дає можливість одночасно використовувати вже три ДО - A , Ω і $\varphi(\Omega)$ (або A , Ω і $\varphi_H(A)$). Використовування трьох ДО дозволило запропонувати нові ГД, названі амплітудно-фазо-частотними годографами дефектів (АФЧГД).

ВИЗНАЧЕННЯ 2. Просторовими амплітудно-фазо-частотними годографами дефектів називаються годографи дефектів, побудовані в координатах (Ω, A, φ) або (Ω, A, φ_H) .

Після даного визначення, АЧГД можна подати як проєкцію просторових АФЧГД на площину ΩA . Проєкції просторових АФЧГД на площині $A O \Omega$ (або $A O \varphi_H$) і $\Omega O A$ (або $\Omega O \varphi_H$) були названі амплітудно-фазовими (АФГД) і фазо-частотними (ФЧГД) годографами дефектів, відповідно.

Веручи до уваги вищесказане, стає очевидним, що число вимірюваних ДО, в залежності від глибини діагностування, може бути значним. Це приводить до думки про використання багатовимірних годографів дефектів (БГД), в яких по осях відкладаються усі вимірювані ДО в автоколивальному режимі - амплітуди автоколивань A_1 , вимірювані у відповідних контрольних точках (КТ), частота автоколивань Ω , вимірювана в будь-якій КТ, зсуви фаз φ_1 і φ_H^1 , також вимірювані в відповідних КТ.

ВИЗНАЧЕННЯ 3. Багатовимірними годографами дефектів (БГД) називаються годографи дефектів, побудовані в N - мірному просторі діагностичних ознак (параметричних інваріантів), де N - кількість використовуваних (вимірюваних) діагностичних

ознак (параметричних інваріантів).

Заклучна четверта глава присвячується розробці методу аналізу БГД, алгоритмів визначення працездатності та пошуку дефектів по БГД, а також способів забезпечення робастності алгоритмів діагностування. Розроблений автоколивальний метод діагностування НС використаний для пошуку дефектів в вентиляном електродвигуні (ВЕД) постійного струму в умовах стенду.

По технічному завданню, в ВЕД існують дві контрольні точки, в яких вимірюються чотири діагностичних ознаки: $V_1 = \{A_1, A_2, \Omega, \varphi\}$, $i = 1, 4$, де A_1 - амплітуда автоколивань сигналу зворотнього зв'язку з виходу тахогенератору; A_2 - амплітуда автоколивань сигналу з давача струму; Ω - частота автоколивань сигналу тахогенератору; φ - зсув фази на частоті Ω між амплітудами A_1 і A_2 . Таким чином, вимірювані в контрольних точках ДО V_1 , створюють чотирьохмірний простір вимірювань. Отже, йому повинні відповідати теоретично розраховані 4 -х-мірні ГД. Ці ГД проєцируються на площинні ГД V_1OV_j , де V_1 і V_j - використовувані (вимірювані) ДО. Як приклад, на мал. 1 подані площинні ГД в площині ΩOA_1 .

Як відомо, вплив конструктивних і експлуатаційних факторів приводить до інтервального завдання значень контролюємих параметрів. Це значить, що сучасні розроблювані методи і алгоритми діагностики динамічних систем повинні володіти нечутливістю, тобто робастністю до зміни контролюємих параметрів ОД в заданих межах. Отже, в кожній n - й площині (ГД) V_1OV_j , кожний годограф, з урахуванням розкиду параметрів ОД, перетвориться в "смужку". Таким чином, з метою забезпечення робастності алгоритмів діагностування НС, необхідно побудування площинних ГД, з інтервально заданими значеннями контролюємих параметрів (допусками). Для побудови ГД з допусками

запропонован наблизений геометричний підхід, котрий базується на можливості апроксимації допусків контролюємих параметрів векторами, які виходять з номінальної точки перетину ГД. Приклад побудованного на основі запропонованого способу ГД з допусками в вигляді смужок D_K^1 в площині ΩA_1 , приведений на мал. 2. Даний ГД можна розглядати як проекцію БГД з осями $(A_1, A_2, \Omega, \varphi)$ на площину ΩA_1 . Области R_1, N_1 і D_K^1 будуть являтися проекціями відповідних гіперобластей роботоздатності R , неозначеності N та гіперобластей однократних дефектів

$D = \bigcup_{k=1}^p D_k$, вміщуючу в собі гіперобласті R і N . Из мал. 2 бачимо, що $R_1 \subset N_1 \subset D_1$, де $D_1 = \bigcup_{k=1}^1 D_k^1$, $i = \overline{1, n}$, n - кількість площинних ГД $V_1 O V_j$.

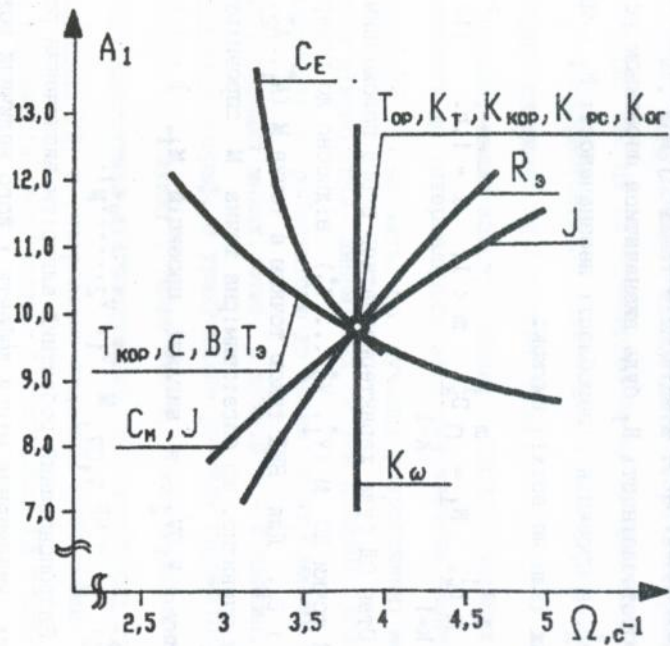
Очевидно, що в кожній площині $V_1 O V_j$ проекція гіперобласті роботоздатності R_1 буде визначатися перетином усіх смужок D_k^1 , а проекція гіперобласті неозначеності N_1 - перетином деяких (але не всіх!) смужок:

$$R_1 = \bigcap_{k=1}^1 D_k^1, \quad N_1 = \bigcap_{k=1}^m D_k^1, \quad m < 1, \quad i = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Стан ОД буде характеризуватись в БГД положенням вимірюваної точки ДО $M (V_1^*, V_2^*, \dots, V_N^*)$ відносно до гіперобластей R, N і D_k . Для ВЕД такою точкою є точка $M (A_1^*, A_2^*, \Omega^*, \varphi^*)$. Також очевидно, що багатовимірна точка M спроеціюється на площину $V_1 O V_j$ в вигляді проєкції M_1 , $i = \overline{1, n}$, тобто $M (V_1^*, V_j^*) = \text{пр}_{V_1 O V_j} M (V_1^*, V_2^*, \dots, V_N^*)$.

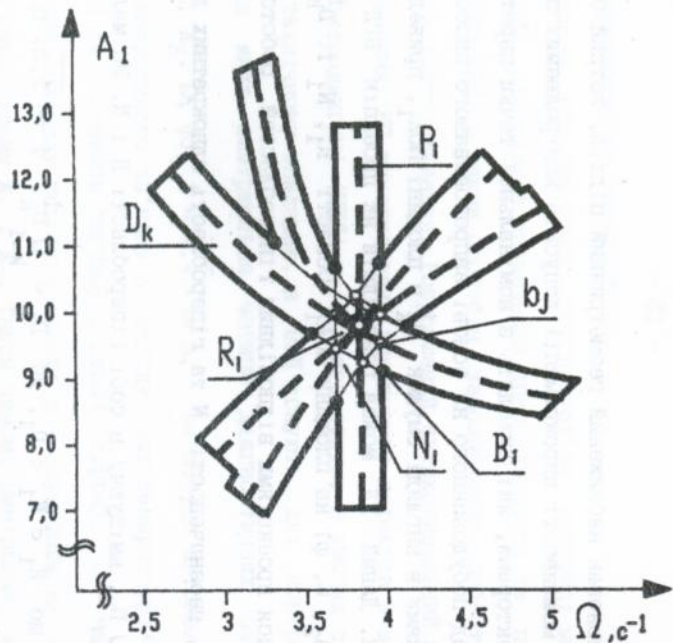
Запропонований робастний алгоритм визначення роботоздатності, визначення місця дефекту і його величини можна спростити,

Площинні годографи дефектів
в площині $\Omega\omega 1$



Мал. 1

Площинні годографи дефектів
с допусками в площині $\Omega\omega 1$



Мал. 2

щено описати в наступному вигляді.

Якщо границі кожної смужки D_k^1 апроксимуються, наприклад, поліномами Лагранжа n -го степеня $V_j = L_1^n(V_1)$, то, з урахуванням крутості кожної смужки, її можна описати в вигляді:

$$D_k^1 = \begin{cases} L_1^n(x) \leq y \leq L_j^n(x), & i \neq j, \text{ при } dy/dx = \text{const} \leq \pm \infty, \\ L_1^n(y) \leq x \leq L_j^n(y), & i \neq j, \text{ при } dy/dx = \pm \infty, \end{cases} \quad (13)$$

де

$$y_j(x) = L_j^n(x) = c_n x^n + c_{n-1} x^{n-1} + \dots + c_1 x + c_0,$$

$$x_1(y) = L_1^n(y) = d_n y^n + d_{n-1} y^{n-1} + \dots + d_1 y + d_0,$$

$$x_1 = V_1, \quad y_j = V_j.$$

Так само (13), кожна смужка апроксимується в кожній площині діагностування $D_k^1 \rightarrow V_1 O V_j$.

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ. Для визначення роботоздатності нелінійного ОД необхідно з'ясувати, чи належить точка M гіперобласті R . Для цього потрібно, щоб кожна проекція M_1 з вимірними значеннями ДО належала кожній проекції R_1 . Для визначення належності M_1 до R_1 , вимірні значення V_1^* і V_j^* необхідно послідовно підставити в (13) і (12). Тоді, в загальному випадку, логічний вираз для визначення належності M до R можна записати $\bigwedge_{i=1}^n (M_1 \in R_1)$.

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ДЕФЕКТУ. Для визначення місця дефекту необхідно з'ясувати, якій саме із гіперобластей D_k в БГД належить точка M . Якщо логічний вираз $\bigwedge_{i=1}^n (M_1 \in N_1)$ істинний, то у визначенні місця дефекту виникла неозначеність. Якщо ж істинним є вираз $\bigwedge_{i=1}^n (M_1 \in D_k^1)$, то $M \in D_k^1$ в ОД виник k -й

ЛНБ ім. В. Стефаніка
 1980 рр.

дефект. В випадку істинності виразу $(M \in R) \wedge (M \in N) \wedge (M \in D_k)$, в ОД можливо появлення кратних дефектів.

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ДЕФЕКТУ. Для визначення величини дефекту використовуються завчасно апроксимовані залежності зміни ДО від контролюваних параметрів, тобто $V_1 = f_1(P_k)$, $V_j = f_j(P_k)$, $i \neq j$. Спочатку за шириною "дефектної" смужки D_k^1 визначаються відрізки ΔV_1 і ΔV_j , а потім за даними залежностями шляхом оберненої інтерполяції і визначаються шукані значення величини дефекту ΔP_k .

В додатку приведені основні поняття і визначення технічної діагностики, які використовуються в роботі, проведен аналіз можливих відношень між елементами множини параметричних дефектів діагностичної моделі та елементами множини діагностичних ознак динамічних режимів. Також приведені основні способи визначення симетричних автоколивальних та їх стійкості, а також докази деяких тверджень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В результаті проведених досліджень одержані наступні основні результати.

1. Обґрунтована параметрична інваріантність параметрів автоколивального режиму (амплітуди, частоти, зсувів фаз і т.д.) відносно початкових умов і запропоновано їх використання в якості інформативних діагностичних ознак.

2. На основі введених діагностичних ознак одержані нові діагностичні характеристики (годографи дефектів) і розроблені методи їх побудовання.

3. На основі використання годографів дефектів зап-

ропоновані аналітичні критерії неспостережуваності та невід-
різненності дефектів.

4. Для забезпечення робастності алгоритмів діагносту-
вання НС, розроблен геометричний спосіб побудови площинних
годографів дефектів з інтервально заданими значеннями кон-
тролюваних параметрів (допусками). Виведені логічні вирази,
зв'язуючи площинні та просторові годографи.

5. На основі одержаних логічних виразів запропоновані
робастні алгоритми виявлення, пошуку і визначення величини
дефекту за сукупністю площинних годографів дефектів з до-
пусками.

6. Запропонований підхід реалізован в процесі цифро-
вого моделювання контролю і діагностики вентиляного електро-
двигуна постійного струму в умовах стенду.

Одержані в дисертаційній роботі результати дозволяють
зробити висновок, що розроблен і досліджен новий метод виз-
начення роботоздатності та пошуку дефектів в НС першого класу.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Успаленко В.І., Христофоров О.В., Коба В.І., Гулий
С.В. До питання вибору діагностичних ознак при розробці ме-
тоду діагностування нелінійних безперервних систем автомати-
чного керування // Проблеми інформатики в створенні автома-
тизованих систем: Зб. наук. робіт. - Харків, Харк. авіац.
ін-т, 1990 р. - с. 113-126.

2. Успаленко В.І., Христофоров О.В., Коба В.І., Гулий
С.В. Метод контролю нелінійних динамічних систем // Радіо-
електронні пристрої летальних апаратів: Зб. наук. робіт.
- Харків, Харк. авіац. ін-т, 1990 р. - с. 199-206.

3. Успаленко В.І., Христофоров О.В., Коба В.І., Гулий С.В. Розширення області застосування одного підходу до діагностики нелінійних динамічних систем // Методи і засоби технічної діагностики: Зб. наук. робіт. - Івано-Франківськ, 1991 р. - Ч1. - с. 49-55.

4. Успаленко В.І., Христофоров О.В., Коба В.І., Гулий С.В. Діагностування нелінійних безперервних динамічних систем за параметричними інваріантами // Тез. докл. Всесоюз. наук. - техн. конф. з вібрації та діагностики машин і механізмів, 20-23 березня 1990. - Челябінск, 1990 р. - с. 22.

5. Успаленко В.І., Христофоров О.В., Коба В.І., Гулий С.В. Про один підхід до діагностування нелінійних систем автоматичного керування // Тез. докл. VII Всесоюз. наради з технічної діагностики і відмовостійкості, червень 1990 р. - Саратов, - Ч1. - с. 91-92.

6. Успаленко В.І., Христофоров О.В., Коба В.І., Гулий С.В. До питання структурної діагностуємості нелінійних безперервних динамічних систем автоколивальним методом // Тез. докл. I Всесоюз. школи-семінару з технічної діагностики динамічних систем, 24 - 28 вересня. 1990 р. - Харків, - с. 18.

7. Христофоров О.В., Коба В.І., Успаленко В.І. Діагностування вентиляного електроприводу закрийків автоколивальним методом в умовах стенду // Тез. докл. X Міжвуз. наради-семінару по методах і засобах технічної діагностики, вересень 1991 р. - Харків, - с. 15-16.

8. Христофоров О.В. Використовування зсува фаз в автоколивальному режимі для підвищення якості діагностування нелінійних динамічних систем // Тез. докл. II Всесоюз. школи-семінару з технічної діагностики динамічних систем, вересень 1991 р. - Севастополь, - с. 21-22.

9. Христофоров О.В. Побудова робастних алгоритмів діагностування динамічних систем на основі використання геометричних словників дефектів // Тез. докл. наук.-техн. конф. "Технічне діагностування - 93", 8-10 червня 1993 р. - С. - П., - с. 19-20.

10. Створення алгоритмів і програмового забезпечення для вмонтованої системи контролю і діагностики (ВСКД) системи керування механізацією крила (СКМК) / Коба В.І., Христофоров О.В. та ін. //Звіт по НДР, тема 304-135/88-569, № дер. реєс. 01.8.90003083. - Харків: Харк. авіац. ін-т., 1990 р. - Т2. - 112 с.

Христофоров А.В. Автоколебательный метод определения работоспособности и поиска дефектов в нелинейных непрерывных динамических системах первого класса.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 - системы и процессы управления, Харьковский государственный технический университет радиозлектроники, Харьков, 1996.

Защищается 9 научных работ, в которых предлагается новый подход к поиску дефектов в нелинейных системах, названный автоколебательным. Разработан метод и алгоритмы диагностирования нелинейных непрерывных динамических систем первого класса, на основе использования параметров автоколебательного режима в качестве диагностических признаков. Осуществлено внедрение предложенного метода при проектировании алгоритмов определения работоспособности и поиска дефектов в вентильном электродвигателе в условиях стенда.

Ключові слова: технічна діагностика, нелінійні динамічні системи, пошук дефектів.

445476

Khristophorov A.V. An oscillator test and search of defects in systems of the first class.

A thesis applies for scientific degree of Candidate of Technical Sciences on speciality 05.13.03 - Systems and control processes, Kharkov State Technical University of Radioelectronics, Kharkov, 1996.

9 scientific works are defended in which a new approach to search defects in nonlinear systems, called oscillator, is proposed. The method and diagnosis algorithms of nonlinear continuous systems of the first class are designed on the bases of usage of oscillator parameters as a diagnostic signs. Reduction of the proposed method was executed while designing the algorithms of normal operation test and search of defects in rectifier motor in laboratory conditions.

Відповідальний за випуск Е. О. Дедіков

Підписано до друку 18.03.96. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Різографія. Умовн. друк. арк. 1,39. Умовн. фарб. відб. 1,39. Тираж 100. Замовлення № 375. Замовлене Різографія ТОВ "Кверті". м. Харків, вул. Чернишевського 41 тел. 43-06-96