

УДК 681.518.54:629.33

В.Г. Максимов, канд. техн. наук, доц.,
О.Д. Ніцевич, канд. техн. наук, доц.,
І.А. Дрома, магістр,
Одес. нац. політехн. ун-т

ОСНОВИ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ

В.Г. Максимов, О.Д. Ніцевич, І.А. Дрома. **Основи методів діагностування електронних систем керування автомобілем.** Методи діагностування автомобілів, їх агрегатів і вузлів характеризуються способом зміни і фізичною сутністю діагностичних параметрів, прийнятних для використання в залежності від завдань діагностики та глибини діагностування. Це методи, що базуються на імітації швидкісних і навантажувальних режимів роботи автомобіля та визначенні при заданих умовах вихідних параметрів; методи, які діагностують герметичність робочих об'ємів; методи, засновані на об'єктивній оцінці геометричних параметрів в умовах статичного навантаження.

Ключові слова: методи діагностування, діагностика на базі нечітких нейронних мереж.

В.Г. Максимов, А.Д. Ніцевич, І.А. Дрома. **Основы методов диагностирования электронных систем управления автомобилем.** Методы диагностирования автомобилей, их агрегатов и узлов характеризуются способом изменения и физической сущностью диагностических параметров, приемлемых для использования в зависимости от задач диагностики и глубины диагностирования. Это методы, основанные на имитации скоростных и нагрузочных режимов работы автомобиля и определении при заданных условиях выходных параметров; методы, диагностирующие герметичность рабочих объемов; методы, основанные на объективной оценке геометрических параметров в условиях статической нагрузки.

Ключевые слова: методы диагностирования, диагностика на основе нечетких нейронных сетей.

V.G. Maksimov, A.D. Nitsevych, I.A. Droma. **Fundamentals of diagnosing vehicle electronic control systems.** Methods for diagnosing vehicles, their components and assemblies are characterized by the way of change, and physical essence of the diagnostic parameters that are suitable for use depending on the tasks of diagnosis and depth of diagnosis: These are the methods based on the simulation of speed and load modes of the vehicle and on determining the output parameters under specified conditions; methods of diagnosing leak tightness of working volumes; methods based on an objective assessment of the geometric parameters in the static loading conditions.

Keywords: methods of diagnosis, diagnosis based on fuzzy neural networks.

Останнім часом відіграє все більш значну роль непряма діагностика конструкції, яка базується на аналізі супутніх фізичних явищ, зумовлених і синхронно супроводжуючих процеси деградації (сторонні звуки, акустична емісія матеріалу, вібрації, пульсації тиску і та. ін.). Мікроскопічне поверхневе або об'ємне пошкодження механічно напруженої конструкції виявляється, зокрема, у вигляді генерації ультразвукових деформаційних хвиль (акустична емісія). Детектована частина ультразвукової хвильової енергії, яка виділяється при цьому, нікчемно мала порівняно з енергією шуму працюючого механізму. Проте, дефекти, що надсилаються сигналами, можуть бути зареєстровані спеціальною апаратурою, оскільки звичайні технологічні шуми концентруються далеко, у відносно низькочастотній області енергетичного спектра.

Схожа за фізичною сутністю спектральна картина спостерігається при короткочасних ударних діях. Такі ситуації в механічних конструкціях виникають при збільшенні зазорів або при поганому змащенні деталей взаємодіючих кінематичних пар, наприклад, внаслідок зношення підшипників кривошипно-шатунного механізму.

Діагностика на основі нечітких нейронних мереж. Світові виробники автомобілів вже давно звернули увагу на системи штучного інтелекту, зокрема, на нечітку логіку, яка вже керує

двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) майже всіх сучасних японських і американських автомобілів. Проте ці виробники ретельно приховують свої розробки, засновані на багаторічних дорогих дослідженнях і експериментальному досвіді. Дослідження розв'язання завдань керування двигунами внутрішнього згорання, заснованих на системах штучного інтелекту, є достатньо актуальними, оскільки вітчизняні виробники автоелектроніки як і раніше використовують класичні алгоритми і методи, що мають низку недоліків.

Складність систем керування ДВЗ останніми роками значно зросла — як у зв'язку з посиленням екологічних норм і вимог до зниження витрати палива, так і внаслідок форсування двигунів: вони стали “ніжнішими”, вимагаючими такого ж ніжного до них ставлення (з боку системи керування, зрозуміло).

Повна математична модель ДВЗ дуже складна і досі не створена. Через це більшість систем керування ДВЗ використовують табличну модель, отриману експериментальним шляхом на випробуваннях і з урахуванням досвіду експертів. Серйозний недолік такої моделі — складність створення багатовимірних таблиць і великий обсяг пам'яті, потрібний для їх запису, тим більше, якщо вихідний параметр формується залежно від трьох і більше вхідних. Складність завдання полягає в тому, що не можна створити точну математичну модель з регульованими в процесі експлуатації внутрішніми параметрами.

Алгоритм, що розробляється, повинен задовольняти таким вимогам:

- він має бути достатньо швидким у роботі, отже, максимально простим;
- має бути гнучким та універсальним;
- повинен містити мінімальну кількість регульованих параметрів;
- в ході налаштування повинен апроксимувати вхідні параметри з достатньою точністю;
- розмірність алгоритму не повинна залежати від кількості вибірок даних, що використовують процеси налаштування.

Для того, щоб реалізувати дані вимоги, потрібне використання методів штучного інтелекту. Зараз їх розроблена достатньо велика кількість, тому головним завданням буде вибір найбільш відповідного алгоритму для висунутих вимог.

Передавальні функції. Найбільш простий і природний для спеціаліста спосіб описання однопередаваної лінійної стаціонарної ланки полягає у застосуванні передавальних функцій. Одна з них має вигляд

$$W(p) = \frac{k_n(aT_1p + 1)}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)} \exp(-\tau p),$$

де k_n — загальний коефіцієнт передачі оператора;

a — середня кількість відмов;

T_1 — минулий період часу;

T_2 — майбутній період часу;

τ — час чистого часового запізнювання;

p — оператор.

Як деяке “обґрунтування” цієї передавальної функції наводиться модель, що включає три ланки (рис. 1), де $e = \delta$ — помилка, що є вимірюваною координатою; σ — вхід моделі.

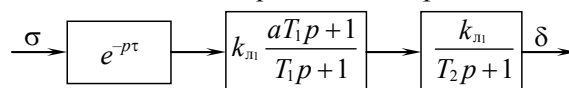


Рис. 1. Лінійна динамічна модель оператора

Перша (ланка чистого запізнювання) відображає затримку в рецепторах, а також при упізнанні і оцінці вхідної інформації. Друга ланка враховує можливість фільтрації і прогнозування (попередження), властивих центральній нервовій системі. Третя — покликана відображати ди-

наміку нервово-мускульних рухових процесів дії на органи управління. Загальний коефіцієнт передачі оператора

$$k_n = k_{n1}k_{n2}.$$

Незважаючи на свою правдоподібність, така модель малоприматна. Це пояснюється, перш за все, великим розкидом параметрів моделі і залежністю їх (як показують експерименти) від властивостей вхідного сигналу. Так, залежно від частоти гармонійного сигналу ω_0 ці параметри набувають різних значень (див. таблицю).

Параметри моделі в залежності від частоти гармонійного сигналу

Частота сигналу ω_0	Параметри моделі				
	T_1^{-1}	T_2^{-1}	τ	a	k_n
1	0,04	1,50	0,15	0,080	100
2	0,11	4,55	0,20	0,055	40
3	0,25	11,00	0,25	0,067	15

Властивості управляючої людини-оператора залежать і від властивостей об'єкта. Так, однією з перших моделей, запропонованих для описання оператора, була модель

$$W(p) = k_n \frac{1 + T_n p}{p} \exp(-\tau p).$$

Така модель адекватно описує дії оператора, який реагує на постійно діючі збурення, за законом управління, що не забезпечує астатизм. Чисельні значення параметрів передавальних функцій визначаються відомими методами ідентифікації, які використовують кореляційну функцію в часовій області або перетворення Фур'є — в частотній.

Слід згадати і про модель Макруера

$$W(p) = \frac{\omega_g}{p} \exp(-\tau p) \frac{1}{W_0(p)},$$

де $W_0(p)$ — передавальна функція частини системи (виключаючи оператора);

ω_g — частота зрізу розімкненої системи.

Відповідно до цього передавальна функція розімкненої системи (послідовно з'єднаних людини і об'єкта управління) представляється добутком інтегруючого кола і кола чистого запізнювання

$$W(p)W_0(p) = \frac{\omega_g}{p} \exp(-\tau p).$$

Для відносно простих об'єктів така модель дає прийнятні результати. Проте слід зазначити, що параметр ω_g (частота зрізу розімкненої системи) залежить від частоти вхідного сигналу ω_0 . Ця залежність апроксимується виразом

$$\omega_g = \omega_{g0} + 0,18\omega_0,$$

де ω_{g0} — значення при низькій частоті вхідної дії (або при відпрацюваннях збурень типу ненульових початкових умов). Запізнювання τ також залежить від ω_0

$$\tau = \tau_0 - 0,8\omega_0.$$

Показова залежність ω_g від виду передавальної функції об'єкта $W_0(p)$ отримана експериментально (рис. 2). Як найкращий збіг — для об'єкта $W_0(p) = k/p$, (k — коефіцієнт передачі оператора), що представляє ідеальну інтегруючу ланку. Зазначимо, що у цьому випадку відповідно до моделі оператор повинен поводитися як безінерційна ланка (якщо нехтувати запізнюван-

ням). Перехідний процес близький до експоненціального. Щодо величини чистого запізнювання τ , то воно також залежить від типу об'єкта.

Врахування чистого часового запізнення. Чисте часове запізнення на час τ відбивається передавальною функцією $W_1(p) = e^{-\tau p}$, якій після апроксимації у дробовий ряд Пада відповідає передавальна функція

$$W_1(p) = \frac{\frac{\tau^2}{12} p^2 - \frac{\tau}{2} p + 1}{\frac{\tau^2}{12} p^2 + \frac{\tau}{2} p + 1}$$

Така апроксимація правомірна, оскільки насправді чисте часове запізнення є ідеалізацією.

Зробимо ряд припущень. Припустимо, що оператор відпрацьовує збурення типу ненульових початкових умов за відсутності збурень, що створюються турбулентністю атмосфери та інформаційними перешкодами. Припустимо, що єдиним джерелом інформації є командний прилад, а управління здійснюється тільки одним каналом.

У цьому випадку передавальна функція оператора з урахуванням проведеної апроксимації може бути подана у вигляді

$$W(p) = \frac{k_n \left(\frac{\tau^2}{12} p^2 - \frac{\tau}{2} p + 1 \right)}{(T_2 p + 1) \left(\frac{\tau^2}{12} p^2 + \frac{\tau}{2} p + 1 \right)}$$

Найбільшу невизначеність має передавальна функція, що відноситься до блока "опрацювання інформації" (див. рисунок 1, друга ланка). Спроби отримати кращий збіг з експериментальними даними призводять до ускладнення передавальної функції. Наприклад

$$W(p) = k_n \frac{(aT_1 p + 1)(aT_3 p + 1)}{(aT_1 p + 1)(aT_4 p + 1)}$$

де T_n, T_1, T_3, T_4 — відповідні періоди часу.

Проте цей шлях не приводить до бажаних результатів. Описання стає більш громіздким, отже, важко його аналізувати, а достовірність залишається невисокою, оскільки точність визначення окремих параметрів невисока. Незважаючи на принадність моделей у формі передавальних функцій, вони мало придатні, оскільки не можуть повністю описати тонких особливостей процесів управління. Лінійні моделі не враховують дискретності і нелінійності характеристик оператора, наявності пробних рухів і, звичайно, навчальності та мінливості його поведінки залежно від часу і обставин.

Дискретні моделі. Розбіжність між експериментальними даними і результатами, які отримуються із застосуванням моделі оператора у вигляді передавальної функції з постійними коефіцієнтами, пояснюється до деякої міри нелінійним характером управляючих дій. Відомо, що оператор при управлінні важким літаком здійснює штурвалом досить енергійні дискретні рухи. Перший крок, мета якого врахувати ці особливості, полягає у спробах застосувати релейні моделі або моделі з перемиканням. Аналіз процесів управління проводиться на фазовій площині або за допомогою гармонійної лінеаризації. Подальшим розвитком цього напрямку є використання імпульсних моделей.

Методи ідентифікації за допомогою самоналагоджувальних моделей. Великий розкид і значна мінливість управляючих характеристик оператора змусили шукати експериментальні методи і засоби, які дозволяють досліджувати поведінку оператора при напівнатурному моде-

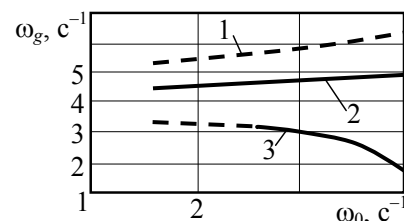


Рис. 2. Залежність параметра ω_g від частоти сигналу ω_0 , при $W_0(p) = k$ (1), k/p (2), k/p^2 (3)

люванні. Стосовно системи директорного управління завдання формулюється так. Задано вид передавальної функції (диференціального або лінійного різницевого рівняння), коефіцієнти в якій необхідно підібрати у процесі дослідження так, щоб вихід δ_M моделі М мало відрізнявся від “виходу” δ оператора П (рис. 3).

На рисунку зображено також об’єкт управління ОУ, обчислювальний пристрій ОП, командний прилад КП, коефіцієнт передачі якого у даному випадку прийнято таким, що дорівнює одиниці, а також генератор шуму ГШ.

Прийmemo як міру відмінності опуклу функцію $F(e)$ помилки e . Тоді для вектора коефіцієнтів c відповідно до алгоритмів адаптації отримаємо

$$\frac{dc}{dt} = \gamma(t) \nabla_c F(e),$$

де $\nabla_c F(e)$ — вектор градієнта функції;

$\gamma(t)$ — вектор коефіцієнтів передачі, залежний від часу.

Як приклад наведемо завдання ідентифікації передавальної функції при $\tau=0$. Її зручно подати у формі

$$W(p) = c_1 + \frac{c_2}{p},$$

де c_1 і c_2 — невідомі коефіцієнти.

Як міру відповідності узгодження моделі прийmemo квадратичну функцію помилки

$$F(e) = 1/2e^2,$$

де $e=\delta$ — помилка, що є вимірюваною координатою;

$\delta_M = c_1\sigma + c_2 \int \sigma dt$ — вихід моделі.

Часткові похідні за коефіцієнтами c_1 і c_2 , відповідно

$$\partial F / \partial c_2 = e \int \sigma dt, \quad \partial F / \partial c_1 = e\sigma.$$

Підстроювання коефіцієнтів c_1 і c_2 у цьому випадку слід проводити відповідно до співвідношень

$$dc_1 / dt = -\gamma_1 e\sigma,$$

$$dc_2 / dt = -\gamma_2 e \int \sigma dt.$$

Легко показати, що похідна часу функції $F(e)$ негативна

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial c_1} \frac{dc_1}{dt} + \frac{\partial F}{\partial c_2} \frac{dc_2}{dt} = -e^2 \left(\gamma_1 \sigma^2 + \gamma_2 \left(\int \sigma dt \right)^2 \right) \leq 0.$$

При виконанні умови

$$\gamma_1 \sigma^2 + \gamma_2 \left(\int \sigma dt \right)^2 \neq 0$$

функція $F(e)$ убиває, отже, зменшується величина помилки e .

Для прискорення процесів самоналагодження вводиться перешкода за допомогою генератора шуму ГШ. Якщо застосовується модель у формі лінійного різницевого рівняння

$$\delta_n[n] = \sum_{m=1}^l a_m \delta[n-m] + \sum_{m=1}^r b_m \sigma[n-m],$$

де a, b — коефіцієнти ГШ;

n, m — параметри ГШ,

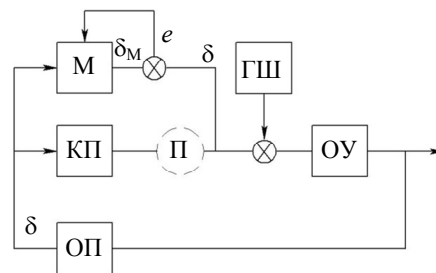


Рис. 3. Структурна схема самоналагоджувальної моделі оператора для дослідження директорного управління

то, вводячи вектор ситуації $z=(\delta, \sigma)$ і вектор коефіцієнтів $c=(a_1, a_2, \dots, a_l, b_1, \dots, b_r)$, модель запишемо у вигляді скалярного добутку:

$$f(\mathbf{z}, \mathbf{c}) = \mathbf{c}^T \mathbf{z},$$

Для алгоритму адаптації отримуємо:

$$\mathbf{c}[n] = \mathbf{c}[n-1] + \gamma[n] F'(\delta[n] - \mathbf{c}^T[n-1] \mathbf{z}[n]) \mathbf{z}[n],$$

якщо F — квадратична функція і $2\gamma[n] = \frac{1}{\|\mathbf{z}[n]\|^2}$, тоді

$$\mathbf{c}[n] = \mathbf{c}[n-1] + \frac{1}{\|\mathbf{z}[n]\|^2} (\delta[n] - \mathbf{c}^T[n-1] \mathbf{z}[n]) \mathbf{z}[n].$$

Висновки. Безперервна оптимізація процесу керування, яка досягається використанням алгоритмів нечітких нейронних мереж, дозволить підтримувати максимально можливі експлуатаційні характеристики, незалежно від зношення, ремонту або ж форсування двигуна, його підсистем і механізмів. Використання автоматично коректованої бази знань системи дає можливість провести детальний аналіз роботи двигуна, що корисно не тільки для випробувачів і служб автосервісу, але і для отримання експериментальних наукових даних з метою побудови математичної моделі ДВЗ.

Література

1. Вахламов, В.К. Теория и конструкция автомобиля и двигателя / В.К. Вахламов, М.Г. Шатров, А.А. Юрчинский. — М.: За рулём, 2007. — 816 с.
2. Гаврилов, К.Л. Диагностика электрооборудования автомобилей / К.Л. Гаврилов. — М.: Солон-Р, 2001. — 96 с.
3. Гаврилов, К.Л. Диагностика электронных систем управления автомобилями. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту / К.Л. Гаврилов. — М: Астрель, 2003. — 210 с.
4. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. — М.: Машиностроение, 1987. — 284 с.
5. Данов, Б.А. Электронные системы управления иностранных автомобилей / Б.А. Данов. — М.: Горячая линия-телеком, 2007. — 224 с.
6. Системы управления бензиновыми двигателями Bosch / Robert Bosh GmbH. — Пер. с нем. — М.: За рулем, 2005. — 432 с.

References

1. Vakhlamov, V.K. Teoriya i konstruktsiya avtomobilya i dvigatelya [Theory and design of the car and the engine.] / V.K. Vakhlamov, M.G. Shatrov, A.A. Yurchinskiy — Moscow, 2007. — 816 p.
2. Gavrilov, K.L. Diagnostika elektrooborudovaniya avtomobiley [Diagnostics of car electrics] / K.L. Gavrilov — Moscow, 2001. — 96 p.
3. Gavrilov, K.L. Diagnostika elektronnykh sistem upravleniya avtomobilyami. Rukovodstvo po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu [Diagnostics of electronic control systems for automobiles. Guidelines for maintenance and repair] / Gavrilov K.L. — Moscow, 2003. — 210 p.
4. Genkin, M.D. Vibroakusticheskaya diagnostika mashin i mekhanizmov [Vibration diagnostics of machines and mechanisms] / M.D. Genkin, A.G. Sokolova — Moscow, 1987. — 284 p.
5. Danov, B.A. Elektronnye sistemy upravleniya inostrannykh avtomobiley [Electronic control systems of foreign cars] / B.A. Danov — Moscow, 2007. — 224 p.
6. Sistemy upravleniya benzinovymi dvigatelyami Bosch [Control systems for gasoline engines Bosch] / Per. s nem [Trans. from German]. — Moscow, 2005. — 432 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Оробей В.Ф.

Надійшла до редакції 31 жовтня 2013 р.