

де $\underline{U}_2$ – напруга на вимірювальній котушці; U_{2n} – модуль початкової напруги на вимірювальній котушці при відсутності провідного середовища.

З урахуванням (8), а також того, що відстань між сенсором та струмовідним середовищем x дорівнює h_2 прив'язавши нульову початкову фазу до початкової фази струму у струмовій обмотці наближено можемо записати:

$$\underline{U}_2 = jU_{2n} \left(e^{-\frac{3c}{2R_2}} + e^{-\frac{6x-c}{2R_2}} j \frac{3\mu - \sqrt{9 + 14R_2^2 \omega \sigma \mu \mu_0}}{3\mu + \sqrt{9 + 14R_2^2 \omega \sigma \mu \mu_0}} \right). \quad (9)$$

Отриманий вираз однозначно пов'язує вхідну (відстань між сенсором та струмовідним середовищем) на вихідну (комплексну напругу на вимірювальній котушці) величину. Як видно з аналізу (9), від відстані між сенсором та струмовідним середовищем залежать два параметри – діюче (амплітудне) значення вихідної напруги та її зміщення за фазою.

Висновок. Отримано математичну модель накладного трансформаторного ВВП. Показано, що у функціональній залежності від відстані між сенсором та струмопровідним середовищем при постійному значенні струму струмової обмотки перебуває як діюче значення напруги вимірювальної обмотки, так і зміщення її початкової фази.

Список літератури

1. Троицкий В. А. Вихретоковый контроль : учебн. пособие. Киев: Феникс. 2011. 148 с.
2. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю. Г., Граняк В. Ф. Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи : монографія. Вінниця: ВНТУ. 2019. 152 с.
3. Учанин В. Н. Вихретоковые накладные преобразователи: расширенная классификация, сравнительный анализ и характерные примеры реализации. *Техническая диагностика и неразрушительный контроль*. 2010. Вип. 4. С. 22–28.
4. Соболев В. С., Шкарлет Ю. М. Накладные и экранные датчики: монография. Новосибирск: Наука, 1967. 144 с.

УДК 629.7.083

Котов О. Б., д.т.н., директор

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна

ДІАГНОСТИКА АВІАЦІЙНИХ ГТД ЗА ДОПОМОГОЮ НАБОРУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Створення моделі діагностики є важливим етапом розробки методу інформаційної оцінки діагностичних параметрів для будь-якої складної технічної системи, зокрема, для авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД).

До числа основних етапів створення моделі слід віднести: вибір вхідних параметрів (незалежних змінних), підбір залежностей і подальший аналіз

поведінки моделі в рамках тестового набору даних. Стосовно до ГТД дані етапи мають свої особливості, які безпосередньо впливають з теоретичних положень, більш докладно розглядаються на кожному з етапів моделювання.

На етапі вибору параметрів моделі необхідно враховувати, що існують внутрішні показники (характеристики) ГТД, а саме вектор комплектуючих x -вектор з розмірністю p . На наступному етапі в якості набору розглянутих змінних вибирається μ -вимірний вектор вхідних впливів z . Цей вектор являє собою сукупність керуючих дійна ГТД, кожна з яких характеризується своїми параметрами [1].

Таким чином, будується багатовимірна матриця, що враховує одночасно комплектуючі та управляючі впливи на ГТД. При цьому на даному етапі моделювання матриця є двовимірною з розмірністю pz .

Далі необхідно вибрати χ -вимірний вектор збурюючих впливів f , який визначається умовами експлуатації, а саме, зовнішніми впливами, які можуть вводитися в модель бінарним або імовірнісним способом. Відзначимо, що при цьому матриця стає тривимірною з розмірністю pzf . Дана матриця відображає незалежні змінні моделі, що є вхідними даними.

Результуючим набором змінних є m -вимірний вектор вихідних параметрів y , в який повністю входить множина S кінцевих станів об'єкта діагностики (ОД), в даному випадку – авіаційного ГТД, підрозділяється на два непересічних підмножини: працездатних (S_1) і непрацездатних (S_2) станів.

Для побудови регресійної моделі необхідно звести багатовимірну матрицю до двовимірної. Для цього трансформуємо її наступним чином: по вертикалі відкладаються спостереження; по горизонталі – досліджувані параметри.

Спостереження, що повторюються в даній матриці, мають більшу вагу, ніж одноразові. Однак подібного роду повторення можливе тільки в разі, якщо дані двох спостережень є повністю ідентичними. Розмірність подібної матриці складе $Np_j z_k f_h$, де j, k, h – розмірність використовуваних векторів, а N – кількість спостережень. Зауважимо, що на практиці потрібно набір подібних матриць, що відповідають кожному параметру з сукупності y .

Для визначення форми залежності необхідно протестувати взаємозалежності тестованих параметрів, а також проаналізувати їх вплив на незалежні змінні. Потім скоротити набір змінних і визначити характер (ступінь) його впливу на результуючий показник.

Для виконання даного набору дій необхідно розрахувати кореляцію для кожного набору векторів (p, z, f) відповідно. Потім розглянути вплив кожного набору (окремо) на кожну змінну, що входить в множину y , за допомогою t -критерію відсіяти найменш значимі. Подібний спосіб дозволяє підтвердити достовірність взаємозв'язків незалежних змінних, а саме той факт, що вони мають схожу природу і одночасно враховує їх надмірність, узв'язку з тим, що при значенні t -критерію менше 2 по модулю, вплив даного чинника можна вважати несуттєвим або нестабільним. В результаті, скорочується кількість впливових змінних для кожної змінної з сукупності y .

Потім необхідно визначити форму розподілу кожної залишкової незалежної і залежної змінних. Для цього необхідно побудувати графік

розподілу, де на осі X будуть розташовані спостереження, а на осі Y – значення змінної для кожного спостереження. Таким чином, ми зможемо визначити форму розподілу для кожної змінної і включити в підсумкову модель регресії з урахуванням даної форми, перетворивши до лінійних залежностей всі змінні, включаючи залежні.

Працездатність і передбачувану силу моделі необхідно протестувати за допомогою процедури крос-валідації на згенерованих даних. Оскільки для різних моделей двигунів, які експлуатуються в різних умовах, набори даних будуть відрізнятися, необхідно і достатньо довести працездатність і ефективність моделі на будь-якому наборі даних, з урахуванням фізичних обмежень їх варіативності. Для цього необхідно буде побудувати регресію, з урахуванням лінеаризації всіх факторів. Перевірити її значимість і передбачувану силу за допомогою F -статистики і R -квадрата, потім вставити в кінцеву формулу методи лінеаризації для кожної змінної [2].

Зауважимо, що в реальній практиці модель буде вважатися для конкретного набору даних, у зв'язку з чим кожен етап цього алгоритму необхідно буде повторювати спочатку. Зокрема, для різних наборів даних надмірними можуть виявитися різні змінні, а, крім того, методи лінеаризації для кожного вектору можуть бути різними. Однак загальний алгоритм виявиться незмінним.

Крім того, при машинному навчанні і розрахунках необхідний саме алгоритм формування моделі, на основі якого і будуть реалізовуватися конкретні рішення з використанням основних функцій математичного моделювання в заданій послідовності [2].

Виходячи з вищесказаного, карти діагностики на основі інформаційного методу для авіаційного ГТД повинні будуватися в чотиривимірному просторі, для осей p , z , f і y відповідно. Однак побудова подібного роду простору дуже важко, в зв'язку з чим його необхідно представити в якості 3-х пов'язаних двовимірних графіків – карт діагностики з осями p - y , z - y , f - y . Відзначимо, що, не дивлячись на варіацію тільки однієї ознаки, на кожному графіку повинні бути представлені області працездатних і непрацездатних станів. Також необхідно вказати, що вектори p , z , f і y на практиці є наборами векторів. Схематичне відображення такої складної схеми не є розумним, в зв'язку з чим необхідно використовувати функцію з логістичної моделі.

Розглядається логістична регресія, що виражає статистичний зв'язок у вигляді залежності $P\{Y=1|X\}=f(X)$, тобто прогнозована ймовірність події $\{Y=1\}$, обумовлена значеннями незалежних змінних $X_1, \dots, X_p$. Геометрично суть задачі полягає в тому, щоб знайти одну з можливих гіперплощин, яка б в певному сенсі найкращим чином розділяла б дві групи спостережень (відповідні 0 і 1) в просторі регресорів. Логістична регресія виражає модель зв'язку між відгуком і змінними у вигляді формули [3]:

$$P\{Y=1|X_1, \dots, X_p\} = \frac{e^y}{1+e^y}; \quad (1)$$

дезмінна $Y = \theta_0 + \theta_1 X_1 + \dots + \theta_p X_p$ називається логітом. Така модель з бінарною залежною змінною, по суті, є функцією логістичного закону розподілу:

$$F(x) = \frac{e^{\frac{x-a}{k}}}{1 + e^{\frac{x-a}{k}}}; \quad (2)$$

в якій в якості аргументу використовується лінійна комбінація незалежних змінних. Зауважимо, що при збільшенні кількості незалежних векторів структура моделі залишається незмінною.

В результаті, під дією різних векторів, що входять в множини u, z, f і y , можливо виявлення належності стану авіаційного двигуна до працездатного, непрацездатного, а також виявити передаварійний стан [3, 4].

Відзначимо, що найбільш важливою характеристикою для розмежування зон працездатності є вигин логістичної кривої приналежності стану двигуна до працездатного. Іншими словами, зміна стану відбувається при істотній зміні тангенса кута нахилу дотичної в точці до графіка логістичної регресії.

Подібна передумова має під собою чіткий математичний критерій, перевірка якого можлива в кожен момент часу, а, крім того, зона різної працездатності однозначно розділені між собою. Слід звернути увагу на зону, що вимагає уточненого дослідження. Це необхідно у зв'язку з тим, що проведення додаткових досліджень двигуна і оперативне усунення недоліків може повернути його в працездатну зону, в той час як відсутність подібних дій – вивести в передаварійний стану.

Таким чином, узагальнюючи все вищесказане, пропонується наступна послідовність (алгоритм) розрахунків для визначення працездатності авіаційного ГТД [4]:

1. Зведення всіх векторів параметрів p, z, f в єдину таблицю, для кожного y з множини вихідних параметрів;
2. Упорядкування і відсікання частини безлічі з метою оптимізації витрат на вимірювання;
3. Розрахунок формули регресії для кожного y ;
4. Зіставлення різних наборів y з зонами працездатності методом логістичної регресії – рівняння (1), (2);
5. Зіставлення різних станів (оцінених експертним шляхом) з початковими даними по вхідним наборам векторів p, z, f ;
6. Машинне навчання системи, що фіксує збіг результатів розрахунків, отриманих в пунктах 4 і 5. У результаті, формується загальний набір початкових параметрів, що завантажується в логістичну регресію і призводить до підсумкового результату, що пропускає проміжні стадії дослідження.

Відзначимо, що подібний підхід застосовується лише в довгостроковій перспективі і вимагає валідації на етапі впровадження з подальшими плановими порівняннями результатів моделювання і розрахунків. Важливо підкреслити, що при зміні спостережуваних параметрів, методів вимірювання чи інших зовнішніх або внутрішніх чинників, реалізація алгоритму повинна повторюватися в повному обсязі.

Список літератури

1. Анатольев С. Непараметрическая регрессия. *Квантиль*. 2009. Т. 7. С. 37–52.
2. Канторович Г. Г. Лекции: Анализ временных рядов. *Экономический журнал ВШЭ*. 2002. Т. 6. №. 1. С. 85–116.
3. Зонтов Г. С. Разработка метода оценки информативности диагностических параметров авиационных ГТД в процессе технической эксплуатации. *XLVIII Научные чтения памяти К. Э. Циалковского : тезисы докладов конференции*. 2013. С. 160–161.
4. Зонтов Г. С. Информационный метод оптимизации параметров при диагностировании ГТД. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2015. № 219. С. 71–76.

UDC 004:629.735.018

Kyselov I. A., cadet

Scientific supervisors: Borisenko O. M., teacher of the first category

Kremenchuk flight college Kharkiv National University of Internal Affairs, Kremenchuk city, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY IN AVIATION

The role of information technology in aviation is really large. The modern world keeps going into different innovations, and aviation industry together with it. In this work I would like to describe importance of this sphere in aviation world.

Firstly I will talk about how information technology influences in education and preparing of aviation specialists: actually, in a lot of different flight academies, colleges, universities, schools etc, information technology is added as separate subject but if look more attentively, we can see that information technology almost everywhere. This one gradually substitutes usually books for education targets. Explanation is so easy, that is just more comfortable for cadets and teachers. Every can observe that now, mostly we have timetable in the internet, necessary news and information which we are able to get via our phone (or laptop, computer). Lately many cadets learn needed aircraft in electronic devices, because now information technologies allow to have all flight manuals, regulations, charts, tutorials and so more in the electronic view. Presently, for any cadet, who finished education and wrote all exams, much easier to get outcomes and seek job for further actions in the internet.

Great example of information technology which is used almost in each civil plane is Electronic Flight Bag. This “tablet” has all data and information required for flight. In that one, pilot can make all needed calculations, check and create variants of flight route and flight plans, enter various information. That is far convenient than work with out of number documentation papers. Weight of these EFB is less, than usual doc. papers (which can have even about 15-20 kilograms), approximately 1-2 kilograms. The first EFB was detected in 1990th years. EFB is divided into several classes: