

УДК 629.735.083.03.004.58:004.801.3(045)

О.С. Якушенко, к.т.н., с.н.с.

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ЗА МЕТОДОМ НАЙБЛИЖЧОГО "СУСІДА"

Розглянуто проблему діагностування технічного стану газотурбінних двигунів з використанням методу, який ґрунтується на знаходженні найближчого "сусіда" для діагностованого газотурбінного двигуна у класифікованому багатовимірному просторі ознак його технічного стану. Наведено вхідні дані та результати діагностування з використанням різних мір відстані між об'єктами.

In the paper the problem of nearest "neighbor" method using for identification of aircraft gas turbine engines technical condition is considered. The results of the method using are given.

Постановка проблеми

Одним із пріоритетних напрямів розвитку авіаційної техніки і, насамперед, авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) протягом останніх десятиліть є підвищення рівня контролепридатності. Цей процес характеризується, крім іншого, різким збільшенням обсягів реєстрованої інформації. Це, з одного боку, дає змогу виконувати діагностування з глибиною розпізнавання дефекту до вузла, а іноді і глибше. З другого боку, наявність великих обсягів діагностичної інформації значно ускладнює алгоритми обробки інформації, вимагає високої кваліфікації експерта, збільшує час, потрібний на її аналіз, та підвищує ймовірність помилки. Це пов'язано із загальноприйнятим під час діагностування ГТД підходом, суть якого полягає в ручному або напівавтоматизованому аналізі зміни значень діагностичних параметрів або їх відхилень у часі. Такий підхід виправдовує себе за наявності невеликої кількості діагностичних параметрів, але є малоефективним в умовах збільшення обсягів діагностичної інформації.

Для зменшення навантаження експерта і підвищення якості та оперативності визначення технічного стану (ТС) ГТД потрібно виконувати попередній автоматизований аналіз інформації. Результатом такого аналізу є класифікація ТС ГТД – віднесення двигуна до одного з класів (найпростіший випадок – до дефектних або бездефектних двигунів). Після такої класифікації експерт повинен проаналізувати тільки дані про дефектні двигуни.

Аналіз досліджень і публікацій

Натепер найбільш перспективними напрямами створення комп'ютерних систем автоматизованого розпізнавання ТС ГТД є напрями, які ґрунтуються на використанні методів математичної статистики, штучного інтелекту та методів розпізнавання образів.

У роботах [1; 2] наведено результати використання методів штучного інтелекту при діагностуванні ТС ГТД. У роботі [3] зроблено невдалу спробу розробити систему класифікації ТС ГТД за методом побудови бінарного дерева.

Мета роботи – розроблення, апробація та оптимізація методу класифікації ТС ГТД за найближчим "сусідом" у багатовимірному просторі ознак ТС ГТД [4].

Однією з основних проблем використання методу найближчого "сусіда" є вибір міри відстані між об'єктами, від правильності вибору якого залежить якість розпізнавання ТС. Потрібно виконати вибір міри відстані між об'єктами, яка забезпечить найкращу якість класифікації ТС ГТД.

Математичне формулювання проблеми

Автоматичне розпізнавання ТС ГТД досягається використанням означеного методу розпізнавання образів.

У результаті розпізнавання досліджуваній об'єкт має бути віднесений до визначеного класу. Під класом слід розуміти групу об'єктів, що характеризуються набором загальних властивостей. Прикладами технічних класів можуть бути, наприклад, класи "справний ГТД", "несправний ГТД" або "ГТД з деградованою проточною частиною", "ГТД з руйнуванням підшипника" та ін. Класифікація включає всі процеси, що закінчуються вказівкою на приналежність об'єкта до конкретного класу, та прості алгоритми, в основу яких покладено, наприклад, використання результатів деякого вимірюваного і деякого граничного значення. При цьому слід урахувувати вимоги сучасної концепції об'єднання даних, за якою передбачено одночасне використання під час діагностування різнорідних джерел інформації. За такого підходу діагностування ведеться за розширеною номенклатурою діагностичних параметрів, що, в свою чергу, забезпечує підвищення якості проведення діагностування.

Розроблений метод є різновидом методу розпізнавання з "учителем" [4; 5]. Для розпізнавання з "учителем" потрібно мати класифіковані вибірки. Кожна така вибірка складається з параметрів функціонування різних ГТД, які належать до наперед відомого класу ТС. Найпростішим випадком є формування двох вибірок. У першу вибірку входять параметри функціонування тільки справних ГТД, у другу – тільки несправних.

Таким чином для кожного ГТД у виборці має бути визначено "учителем" (дослідником), до якого класу цей ГТД належить.

Цей метод є способом віднести об'єкт до одного з наперед визначених класів, виходячи з класу, до якого належить найближчий сусід у класифікованій вибірці.

У разі, коли є досить велика репрезентативна вибірка даних, що досить повно описує певний клас, для встановлення діагнозу (визначення класу) для нових даних, може вистачити однієї точки з вибірки, яка виявилася найближчою до аналізованої. Відмінністю цього методу від методу, наведеного у роботі [3], є те, що відстань обчислюється тільки до точок, а не до точок і кластерів, а навчальна вибірка є заздалегідь класифікованою. Основна процедура такої класифікації полягає у такому:

– розраховують відстані між діагностованою точкою (набір параметрів, що характеризує ТС діагностованого ГТД) та всіма точками навчального (класифікованого) набору;

– діагноз встановлюється за класом, до якого належить точка навчального набору, найближча до діагностованої точки.

Схему класифікації за розглянутим методом для випадку двох класів для двовимірного випадку (за наявності двох параметрів, що описують ТС об'єкта) подано на рис. 1.

Одним із основних питань використання цього методу є вибір міри відстані між об'єктами. Найчастіше використовують:

– евклідову відстань:

$$\Delta_{rs}^2 = (x_r - x_s)(x_r - x_s)', \quad (1)$$

де

x_r, x_s – вектори координат об'єктів r та s ;

– нормовану евклідову відстань:

$$\Delta_{rs}^2 = (x_r - x_s)D^{-1}(x_r - x_s)', \quad (2)$$

де

D – діагональна матриця, складена з дисперсій відповідних компонентів координат об'єктів, обчислених за всіма об'єктами навчальної вибірки; – відстань Махаланобіса:

$$\Delta_{rs}^2 = (x_r - x_s)V^{-1}(x_r - x_s)', \quad (3)$$

де

V – проста коваріаційна матриця;

– відстань сумарного абсолютного відхилення:

$$\Delta_{rs} = \sum_{j=1}^n |x_{rj} - x_{sj}|; \quad (4)$$

– відстань Мінковські (Minkowski):

$$\Delta_{rs} = \left\{ \sum_{j=1}^n |x_{rj} - x_{sj}|^p \right\}^{1/p}, \quad (5)$$

де

P – параметр в діапазоні від 1 до 2.

Виходячи з аналізу залежностей (1) – (5), можна зазначити, що для обчислення відстаней за будь-якою з цих залежностей, діагностичні параметри потрібно відцентрувати (розрахувати діагностичне відхилення поточного значення параметра від еталонного значення) та пронормувати, отримавши безрозмірні ознаки ТС.

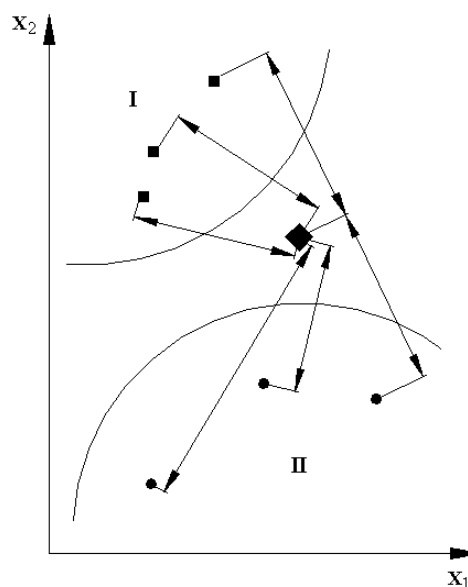


Рис. 1. Класифікація ТС ГТД за методом найближчого "сусіда":

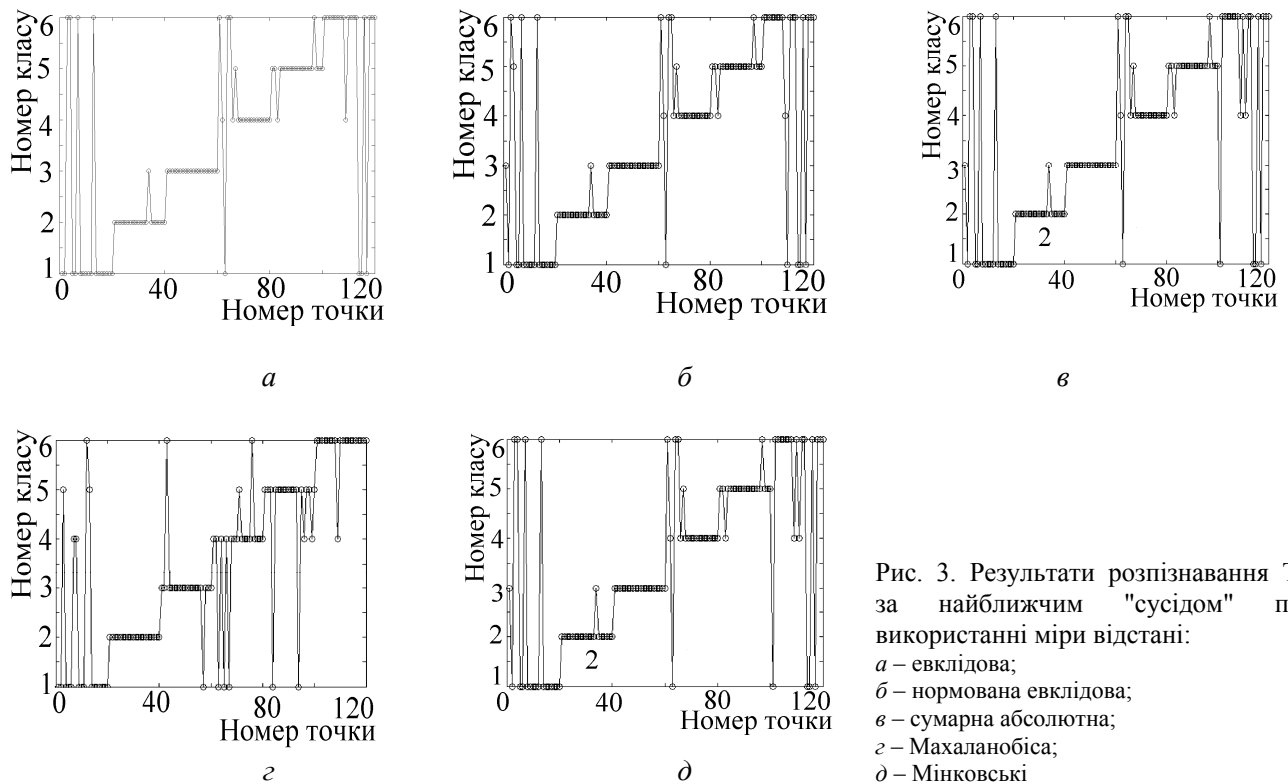
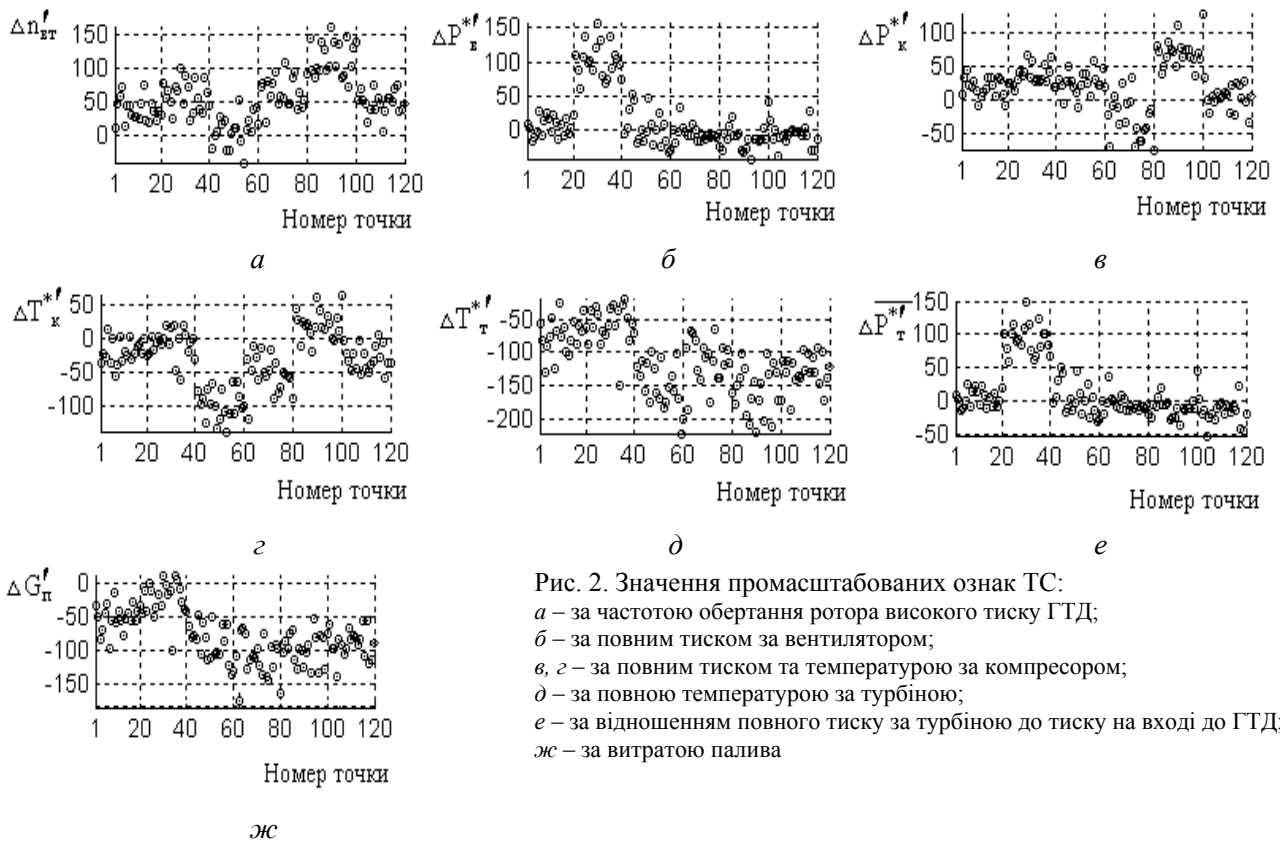
■ – класифіковані точки, віднесені до 1-го класу ТС;

● – класифіковані точки, віднесені до 2-го класу ТС;

◆ – діагностована точка;

I, II – області, точки яких належать до 1-го та 2-го класів ТС;

X_1, X_2 – пронормовані ознаки ТС



Вибір міри відстані залежить від особливостей набору даних. Найдоцільніше обирати міру відстані, яка забезпечує найменший рівень помилок діагностування. Як критерій вибору може бути прийнятий загальний відсоток помилок діагностування або відсоток грубих помилок, коли несправний об'єкт віднесено до категорії справних. У процесі створення методу було проведено його апробацію. Вхідні дані для випробування запропонованого методу класифікації описують різні класи ТС двигуна ПС-90А. Вони були отримані у результаті математичного моделювання його робочого процесу за різного ТС проточної частини. Використані значення промасштабованих ознак ТС показано на рис. 2.

Кожен клас ТС поданий 20 точкам. Перші 20 точок указують на бездефектний ГТД (1-й клас), з 21-го по 120-й класи, що описують ТС з деградацією одного з вузлів зовнішній контур вентилятора (2-й клас), компресор високого тиску (3-й клас), камера згоряння (4-й клас), турбіни високого (5-й клас) і низького тиску (6-й клас). Більш докладно метод отримання навчального набору даних та розрахунок промасштабованих ознак ТС показано у роботі [1].

Результати розпізнавання діагностичної інформації показано на рис. 3 та у таблиці.

При абсолютно правильному розпізнаванні перші 20 точок на рис. 3 повинні лежати на рівні 1 (вони описують 1-й клас), наступні 20 – на рівні 2 і т. д. Відхилення точок від відповідних рівнів вказують на помилки розпізнавання. Якщо при розпізнаванні ТС двигуна з дефектного класу його віднесено до класу справних двигунів, така помилка вважається грубою, а якість класифікації оцінюють за двома критеріями – за загальним відсотком помилок та за відсотком грубих помилок класифікації.

Характеристики точності встановлення діагнозу з використанням різних мір відстані

Міра відстані	Загальний відсоток помилок	Відсоток грубих помилок
Евклідова відстань	13	3,3
Нормована евклідова відстань	15,8	4,1
Відстань Махаланобіса	14,1	5
Відстань сумарного абсолютного відхилення	15,8	4,1
Відстань Мінковські (Minkowski), якщо значення параметра $P = 1,5$	15	4,1

Найкращі результати розпізнавання отримано з використанням евклідової міри відстані. При цьому загальна кількість помилок становить 13 %, кількість грубих помилок – 3,3 %. Такий результат набагато кращий за результати, отримані при використанні методу розпізнавання класу побудовою бінарного дерева [3] та наближається до якості класифікації ТС ГТД з використанням нейронних мереж [1; 2], але є набагато простішим за останній.

Висновки

Наведені дані показують досить високу ефективність методу розпізнавання ТС ГТД з використанням методу найближчого "сусіда". Але слід зауважити, що наведені результати було отримано з використанням даних, які не мають похибок та грубих промахів вимірювання. Тому наступним етапом розвитку цього методу буде випробування його на стійкість в умовах наявності у вхідних даних (навчальному наборі) таких похибок. Для зменшення впливу випадкової складової, обумовленої наявністю похибок, планується модифікувати розроблений метод та проводити класифікацію не за одними, а за декількома найближчими сусідами.

У подальшій роботі для отримання більш якісних та надійних методів класифікації ТС ГТД буде проведено дослідження методів, більш стійких до часткового перекриття класів та впливу стохастичного характеру даних, які становлять навчальну множину. Це, насамперед, методи дискримінантного аналізу, метод мінімізації ризику та продовження робіт, пов'язаних з використанням нейронних мереж.

Література

1. Якушенко О.С. Нейронні мережі для діагностування газотурбінного двигуна // Вісн. НАУ. – 2004. – № 2 (20). – С. 67–71.
2. Кучер О.Г., Якушенко О.С., Сухоруков В.Ю. Розпізнавання технічного стану авіаційних ГТД з використанням нейронних мереж // Вісн. двигунобудування. – 2002. – № 1. – С. 101–106.
3. Якушенко О.С. Діагностування технічного стану газотурбінних двигунів методом побудови бінарного дерева // Вісн. НАУ. – 2007. – № 3–4. – С. 73–79.
4. Патрик Э. Основы теории распознавания образов: пер. с англ. // под ред. Б. Левина. – М.: Сов. радио, 1980. – 408 с.
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MatLab 6 // под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ. – 2002. – 496 с.