

УДК 004.021

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗО- ПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНТРОПІЙНИХ ОЦІНОК

М. І. Горбійчук

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: ksm@nung.edu.ua

М. О. Слабінога

Аспірант*

E-mail: slabinoha@i.ua

*Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Івано-Франківський

національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ,

Україна, 76018

Запропоновано застосування методу побудови оптимального процесу ідентифікації технічних станів газоперекачувальних агрегатів на базі діагностичних цінностей ознак. Розглянуто практику застосування такого методу в інших галузях. Сформовано алгоритмічну послідовність побудови оптимального процесу діагностики, реалізовану з допомогою функціонального програмного модуля. Отримано результати роботи модуля з діагностичними даними та зроблено висновок щодо ефективності використання даного алгоритму

Ключові слова: процес діагностики, ентропійні оцінки, технічний стан, діагностична цінність, функціональний модуль

Предложено применение метода построения оптимального процесса идентификации технических состояний газоперекачивающих агрегатов, базирующегося на диагностических ценностях признаков. Рассмотрена практика применения данного метода в других отраслях. Сформирована алгоритмическая последовательность построения оптимального процесса диагностики, реализованная с помощью функционального программного модуля. Получены результаты работы модуля с диагностическими данными и сделан вывод об эффективности использования данного алгоритма

Ключевые слова: процесс диагностики, энтропийные оценки, техническое состояние, диагностическая ценность, функциональный модуль

1. Вступ

При ідентифікації технічного стану промислових об'єктів велике значення має опис їх станів у просторі характерних діагностичних ознак. В першу чергу слід визначити сам цей простір, тобто сформулювати ознаки діагностування, а після цього знайти їх діагностичну цінність в процесі ідентифікації. Це потрібно для виявлення малоінформативних ознак і оцінки їх впливу на результат діагностування, а також для оцінки можливості повного або часткового їх виключення з розгляду при проведенні ймовірнісного аналізу (зокрема методом Naive Bayes [1]).

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Встановлення діагностичної цінності ознак на основі ентропійних оцінок в процесі ідентифікації технічних станів промислових об'єктів та застосування їх в оптимізації даного процесу успішно реалізоване в будівельній [2], металургійній [3] та інших галузях. Застосування ентропійних оцінок до газоперекачу-

вальних агрегатів як інформаційних систем розглянуто в роботі [4].

Однак, недостатньо дослідженим є питання оптимізації процесу діагностики за допомогою ентропійних оцінок при ідентифікації станів газоперекачувальних агрегатів. Метою даної статті є дослідження можливості застосування даних методів при оптимізації процесу ідентифікації технічного стану газоперекачувальних агрегатів та програмна реалізація модуля для проведення даного дослідження.

Залежність технічного стану газоперекачувальних агрегатів (ГПА) від певних діагностичних ознак досить детально проаналізовано у роботі [5]. Автори роботи наводять таблицю відношень проявів неполадок (дефекти компресора, забруднення паливного фільтру тощо) у параметрах технологічного процесу функціонування ГПА (температура за компресором, частота обертання турбіни, витрата мастила тощо) для газотурбінних приводів різного типу, електродвигунів, відцентрових нагнітачів, машин зворотно-поступальної дії. Крім того, подана таблиця зміни основних функціональних параметрів ГПА з при певних типах несправностей та подано основні їх причини.

Метою даного дослідження було встановлення можливості застосування методів, що враховують діагностичну цінність ознак, в діагностиці газоперекачувальних агрегатів. Задачею дослідження було формулювання теоретичних засад алгоритму визначення оптимального діагностичного процесу, його модульна та програмна реалізація, а також аналіз результатів роботи алгоритму з діагностичними даними.

3. Теоретичні засади алгоритму

Розглянемо фрагмент таблиці прояву дефектів газотурбінного двигуна (ГТД) стаціонарного типу в його діагностичних ознаках (табл. 1).

Таблиця 1

Прояв дефектів ГТД стаціонарного типу в діагностичних ознаках

Параметр	Забруднення повітряного вхідного тракту компресора	Забруднення компресора	Дефекти компресора	Забруднення паливного фільтру	Прогар камери згорання	Забруднення горілок	Дефекти силової турбіни	Знос підшипників	Дебаланс	Розцентровки
Температура повітря за компресором		*	*							
Тиск за компресором	*	*	*	*						
Розхід повітря	*	*	*							
Розхід палива		*	*	*	*	*				
Частота обертання	*	*	*	*	*	*	*			
Температура на виході турбіни						*	*			
Вібрація			*				*	*	*	*
Ефективна потужність	*	*	*	*	*	*	*			
ККД компресора		*	*							
ККД турбіни							*			
Продукти зносу в мастилі			*				*	*		
Розхід мастила								*		

* - зміна цього параметру в процесі функціонування вказує на несправність

Подану таблицю можна оформити як матрицю, рядками якої є діагнози системи, а стовпцями – окремі ознаки. Якщо для даного діагнозу характерна присутність конкретної ознаки, відповідне значення матриці встановлюється в 1, в іншому випадку – в 0. Така матриця також може вмещувати ймовірності діагнозів відносно ознак, додаткові дані про складність обстеження тощо.

Апріорні ймовірності виявлення діагнозу можуть задаватися рівнозначними, вибиратися виходячи із

термінів проведення планових технічних обслуговувань окремих вузлів, корегуватися на основі статистичних даних та інформацій про несправності даного вузла тощо. У випадку, якщо апріорні ймовірності станів системи невідомі, можна дати наступну верхню оцінку ентропії системи:

$$H(D) \leq \log_2 n, \quad (1)$$

де n – кількість станів системи.

Для визначення оптимального порядку проведення аналізу технічного стану об'єкта вводиться поняття діагностичної ваги. Нехай існує множина ознак k та множина діагнозів D . Відомо [6], що діагностична вага ознаки k_i для діагнозу D_i буде рівною:

$$Z_{(D_i)}(k_j^*) = Z_{(D_i)}(k_j, s) = \log_2(P(D_i / k_j, s) / (P(D_i))), \quad (2)$$

де $P(D_i / k_j, s)$ – ймовірність діагнозу D_i у випадку, якщо ознака k_i отримала значення $k_{j,s}$; $P(D_i)$ – апіорна ймовірність діагнозу.

З точки зору теорії інформації, величина $Z_{D_i}(k_j^*)$ являє собою інформацію про стан D_i , якою володіє стан ознаки $k_{j,s}$. Діагностична цінність ознаки може бути як додатнім (підтвердження станом ознаки конкретного діагнозу) так і від'ємним (спростування станом ознаки даного діагнозу).

За діагностичну цінність обстеження за ознакою k_i приймають величину інформації, яка вноситься всіма реалізаціями ознаки k_i у встановлення діагнозу D_i . Для m -розрядної ознаки:

$$Z_{D_i}(k_j) = \sum_{s=1}^m P\left(\frac{k_{j,s}}{D_i}\right) Z_{D_i}(k_{j,s}). \quad (3)$$

Діагностична цінність обстеження враховує всі можливі реалізації ознак і є математичним очікуванням величини інформації, що вноситься окремими реалізаціями.

Якщо відношення $\frac{P\left(\frac{k_{j,s}}{D_i}\right)}{P(k_j)} = 1$, то обстеження за даною ознакою не має діагностичної цінності. Найбільшу діагностичну цінність мають обстеження за ознаками, які часто зустрічаються при даному діагнозі, при цьому маючи малу ймовірність виникнення, або навпаки, зустрічаються в даному діагнозі рідко, а взагалі ймовірність їх появи є високою. Діагностична цінність обстеження обчислюється в одиницях інформації (бітах) і не може бути від'ємною, що очевидно, оскільки інформація, отримана при обслідуванні, ні в якому разі не може «погіршити» процес розпізнавання дійсного стану.

Загальна ж діагностична цінність обстеження за ознакою k_i для системи діагнозів D визначається кількістю інформації, яку вносить обстеження в множину діагнозів:

$$Z_D(k_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^m P(D_i) P\left(\frac{k_{j,s}}{D_i}\right) \log_2 \left(P\left(\frac{k_{j,s}}{D_i}\right) / P(k_{j,s}) \right). \quad (4)$$

Величина $Z_D(k_j)$ є середнім значенням інформації, яка може бути внесена обстеженням для встановлення

невідомого раніше діагнозу, що належить даній множині діагнозів.

Внесена інформація, як відомо, рівна різниці ентропій у множині діагнозів:

$$Z_D(k_j) = H(D) - H\left(\frac{D}{k_j}\right), \tag{5}$$

де $H(D)$ - первинна (апріорна ентропія діагнозів);

$H(D/k_j)$ - очікуване значення ентропії діагнозів після проведення обстеження за ознакою k_j .

Виходячи з вищенаведеного, можна стверджувати, що задача побудови оптимального діагностичного процесу зводиться до знаходження порядку обстеження, при якому $Z(D_k)$ буде максимальним.

Крім того, для врахування складності отримання відповідної інформації за ознакою k_j вводиться поняття коефіцієнта оптимальності діагностичного обстеження:

$$\lambda_{ij} = Z_{D_i}(k_j) / c_{ij}, \tag{6}$$

де c_{ij} – коефіцієнт, що характеризує витрати на обстеження, його достовірність, тривалість та інші фактори та не залежить від раніше проведених досліджень.

Таким чином, вибір діагностичного комплексу із загальної множини ознак та план обстеження визначаються з умови максимуму λ , і коригуються відносно реальних значень, що отримуються з кожним кроком проведення діагностики.

4. Програмна реалізація алгоритму

Як мову програмування для програмної реалізації концепції, що базується на вищенаведених теоретичних основах, було вибрано Python версії 2.7. Дана мова програмування відрізняється від інших своєю гнучкістю, простотою роботи зі списками, матрицями та іншими типами масивів [7, 8], кросплатформенністю та великим набором безплатних стандартних бібліотек для проведення наукових обчислень [9], що в більшості випадків дозволяє рівноцінно замінити математичне забезпечення таких комерційних продуктів, як Matlab та Mathcad [10].

Для програмної реалізації такого теоретичного підходу щодо даних, наведених в роботі [5], авторами статті було розроблено програмний модуль для побудови оптимального діагностичного процесу, який включав наступні функції:

- getAH(A) - обчислення апріорної ентропії виходячи із вектора апріорних ймовірностей діагнозу;
- getDH(n) - обчислення верхньої межі ентропії згідно формули (1);
- getPH(M,k) - обчислення очікуваної ентропії після проведення обстеження в системі, вираженій матрицею M за ознакою k;
- getVal(M,k) - обчислення діагностичної цінності за ознакою k;
- getOptVal(M,C) - визначення оптимальної діагно-

стичної ознаки для продовження обстеження з урахуванням вектора складності обстежень за конкретними ознаками C, та виводу її в консоль для подальшої обробки іншими програмами;

- updMatrix(M,k) - оновлення матриці з урахуванням проведеного дослідження з метою продовження побудови оптимального процесу ідентифікації.

Робота модуля здійснюється за схемою, показаною на рис. 1.

Правдоподібність діагнозу, в даному випадку, може визначатися або досягненням ймовірності одного з діагнозів оновленої матриці деякого порогу, близького до 1, або при нульовій ймовірності решти діагнозів.

Слід відзначити наступні переваги даного програмного модулю:

- простота використання завдяки розміщенню коду програми у функціях модуля, які можуть викликатися як окремо, так і в комплексі;
- універсальність: дана програмна модель є проблемно-орієнтованою, а отже може застосовуватися для будь-якого технічного об'єкта, довільного числа ознак та діагнозів і реалізує виключно вищенаведену теоретичну концепцію;
- гнучкість: завдяки концепції універсалізму мови програмування Python, при внесенні незначних модифікацій, програма може працювати з будь-якими типами вхідних даних;
- зручність інтегрування: завдяки функціонально-орієнтованому характеру реалізації програмного модуля, він є зручним для інтегрування в комплексні програмні рішення з подальшою можливістю його використання.

Приклад роботи програмного модуля на даних, взятих з табл. 1 зображено на рис. 2.

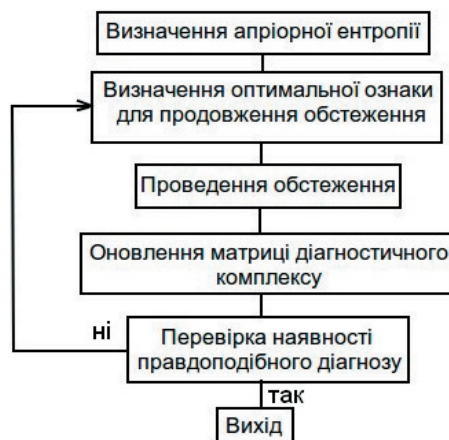


Рис. 1. Схема роботи програмного модуля

```

Python 2.7.4 (default, Sep 26 2013, 03:20:26)
[GCC 4.7.3] on linux2
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> ===== RESTART =====
>>>
Початок розрахунків...
Розрахунок апріорної ентропії...
Розрахунок оптимальної ознаки для діагностики...
Рекомендовано провести діагностику за ознакою M5
>>> |
    
```

Рис. 2. Приклад роботи програмного модуля

Таким чином, даний функціональний модуль дозволяє визначити параметр, який внесе максимальну діагностичну цінність в наступному кроці діагностичного обстеження. В даному випадку, це частота обертання турбіни, тому перевірку змін при діагностиці слід насамперед проводити в ній. Для табл. 1, де кількість ознак та діагнозів є порівняно невеликою, можливе тривіальне почергове застосування умов, при яких проявляється окремий діагноз, до діагностичної картини, логічними змінними в якій будуть виступати окремі ознаки. Однак, якщо кількість ознак та діагнозів буде досить великою, тривалість обчислень ускладниться.

Припустимо, що перевірка ведеться по n ознаках та m діагнозах. Кожен діагноз слід перевірити по всіх ознаках, при першому співпадінні всіх ознак діагнозу з реальною діагностичною картиною, задача вважається завершеною.

Таким чином, обчислювальна складність буде коліватися від $O(n)$ (за умови, що правильний діагноз перевірявся першим) до $O(n*m)$ (якщо правильний діагноз перевірявся останнім. Середній час постановки діагнозу буде рівним $O((n+1)*m/2)$.

Розглянемо запропонований і реалізований вище метод при застосуванні до аналогічної задачі. В найкращому випадку, обчислювальна складність буде рівна $O(1)$ (у випадку, якщо знайдена ознака, що про-

явилась у діагностиці, відповідає єдиному діагнозу). В найгіршому випадку, кожна діагностична ознака буде ділити множину діагнозів на дві рівні підмножини. Якщо врахувати, що після кожного кроку розділення множини діагнозів оптимальна ознака буде визначатися знову, обчислювальна складність даного алгоритму становитиме $O(\log_2 m)$, що є значно меншою величиною.

5. Висновки

Виходячи з вищезазначеного, можна зробити висновки, що врахування діагностичної цінності ознак при плануванні діагностики дозволяє оптимізувати процес вирішення задачі ідентифікації технічних станів промислових об'єктів (зокрема, газоперекачувальних агрегатів). Сформований алгоритм має значно меншу складність, ніж звичайний алгоритм перебору, а розроблений програмний модуль для реалізації даної концепції може бути інтегрований в комп'ютерну систему ідентифікації технічних станів. Подальшим напрямком дослідження є врахування ентропійних оцінок у вейвлет-аналізі та розробка багатьох поточних модифікацій даного алгоритму, що вирішують задачу побудови оптимального діагностичного процесу в мультипроцесорних системах.

Література

1. Cheeseman, P. On The Relationship between Bayesian and Maximum Entropy Inference [Text] / P. Cheeseman, J. Stutz. – AIP Conf. Proc. 735, 2004. – P. 443-460.
2. Соколов, В. А. Построение решения для оценки технического состояния конструктивных систем зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания [Текст] / В. А. Соколов // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – №6(16). – С. 48-57.
3. Chang, T. Vibration Fault Diagnosis of Rotating Machine Based on the Principle of Entropy Increase [Text] / T. Chang // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 530. – P. 109-114.
4. Сухов, А. В. Оптимальное управление техническим состоянием производственных объектов в информационном пространстве с использованием энтропии покрытия [Текст] / А. Сухов, М. Гатилев, М. Зайцев // Компрессорная техника и пневматика. – 2010. – №4. – С. 60-78.
5. Чилин, С. А. Газоперекачивающий агрегат как объект диагностирования: Учебно-методическое пособие [Текст] / С. Чилин, Ю. Божков – М.: Газпром, 2004. – 136 с. – СНО 04.10.02.028.01.
6. Биргер, И.А. Техническая диагностика [Текст] / И. Биргер – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
7. Hughes, J.M. Real World Instrumentation with Python [Текст] / John M. Hughes. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2010. – 622 с.
8. McKinney, W. Python for Data Analysis [Текст] / Wes McKinney. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2012. – 470 с.
9. Downey, A. Think Python [Текст] / Allen Downey. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2012. – 300 с.
10. Дьяконов, В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений: Специальный справочник [Текст] / В. Дьяконов – Пб.: Питер, 2002. – 608 с.