

ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ

¹В.Я. Грудз, ¹Я.В. Грудз, ²В.В. Рудко

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,
e-mail: public@nung.edu.ua

²УМГ «Київтрансгаз», 01065, м. Київ, просп. Комарова, 44, тел. (044) 2397870
e-mail: rudko@ktg.com.ua

Наводиться метод оцінки технічного стану елементів газоперекачувального агрегату шляхом розпізнавання несправностей на базі логічних систем. У відповідності до запропонованого методу несправні стани агрегату розбиваються на кінцеве число класів. Приналежність стану до певного класу визначається значенням діагностичної ознаки, знайденої на основі діагностичної математичної моделі. При виборі рішення про принадлежність стану до одного з класів перевіряється за певним правилом кожна з можливих гіпотез. При появі несправності повинна збільшитись ймовірність того класу станів, в якому знаходиться агрегат.

Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, технічний стан

Приведен метод оценки технического состояния элементов газоперекачивающего агрегата путем распознавания неисправностей на базе логических систем. Согласно предложенному методу неисправные состояния агрегата разбиваются на конечное число классов. Принадлежность состояния к определенному классу определяется значением диагностического признака, найденного на основе диагностической математической модели. При выборе решения о принадлежности состояния к одному из классов проверяется по определенному правилу каждая из возможных гипотез. При появлении неисправности должна увеличиться вероятность того класса состояний, в котором находится агрегат.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, техническое состояние

The method of estimation the technical state of elements of aggregate is resulted for pumping over of gas by recognition of disrepairs on the base of the logical systems. In accordance with the offered method the defective states of aggregate are broken up on the eventual number of classes. Belonging of the state to the certain class is determined the value of diagnostic sign, found on the basis of diagnostic mathematical model. At the choice of decision about belonging of the state to one of classes checked up by certain rule each of hypotheses. At appearance of disrepair probability of that class of the states, which an aggregate is in, must be increased.

Keywords: gas compressor unit, technical state

Актуальність проблеми полягає в тому, що на даний час обладнання компресорних станцій магістральних газопроводів застаріло фізично і морально, що викликає зростання частоти відмов в період експлуатації. Прогресивним в плані підвищення надійності обладнання є перехід на його обслуговування за реальним станом, для чого слід розвивати і вдосконалювати методи діагностування.

Аналіз літературних джерел [1,4] свідчить, що існує велика кількість методів діагностування технічного стану газоперекачувальних агрегатів (ГПА) в умовах компресорних станцій (КС). Їх можна розділити на методи параметричного діагностування, реалізація яких здійснюється на основі параметрів експлуатаційних режимів, що фіксуються штатними приладами і системами вимірювання, та спеціальні методи діагностування (вібродіагностика, ультразвукова діагностика та ін.), застосування яких вимагає встановлення на агрегат додаткового вимірювального обладнання. В обидвох випадках за результатами діагностування необхідно встановити клас несправності і віднести стан агрегату до справного або несправного. В цьо-

му аспекті виникає низка питань, які в літературних джерелах не знайшли відображення.

Одна з основних задач технічної діагностики – ідентифікація несправностей на ранній стадії базується на теорії розпізнавання образів. Несправні стани ГПА розбиваються на кінцеве число класів, в які об'єднуються несправні стани, що найчастіше зустрічаються при експлуатації агрегатів, і моделюються за допомогою вибраної діагностичної моделі.

Для прийнятих класів несправних станів визначаються діагностичні ознаки на основі параметрів робочого процесу. Залежно від характеру описуваних станів існує два підходи до розв'язання задачі розпізнавання несправностей:

– за наявності достовірних статистичних даних відмов агрегатів, отриманих в результаті обробки експлуатаційної інформації чи моделювання несправних станів у ході випробувань агрегату, ознаки класів описуються статистичними характеристиками, і процес визначення несправностей базується на статистичній теорії перевірки гіпотез. Як показано в роботах [1, 2, 3],

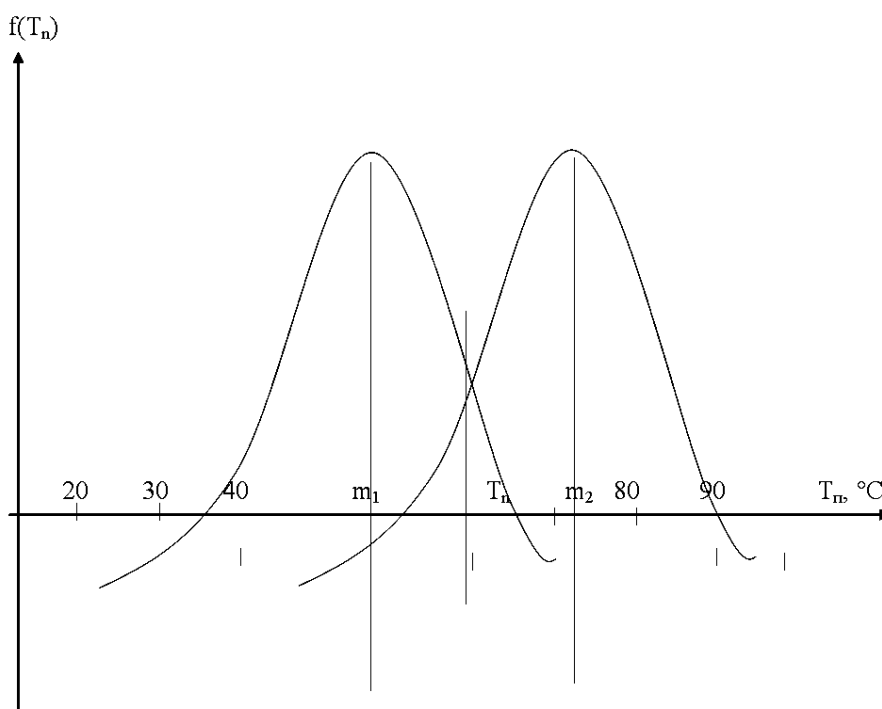


Рисунок 1 – Розподіл ознаки T_n при двох класах станів

найкращі результати дає застосування методу Байєса;

– якщо важко зібрати статистичну інформацію чи з причин високої вартості натурних випробувань агрегату в основу розпізнавання несправностей може бути покладено детермінований метод, пов'язаний з описом стану агрегату діагностичною детермінованою моделлю. У цьому випадку розпізнавання несправностей базується на логічних системах, які використовують методи булівської алгебри.

Для прикладу розглянемо два стани підшипників агрегату. У справному стані температура мастила підшипників – $T_n \leq 60^\circ$, у несправному – $T_n > 60^\circ$. Через вплив різноманітних випадкових причин параметр $y = T_n$ може приймати різні значення, але у випадку справного стану це значення слід віднести до класу K_1 , діагностичний параметр розподіляється за законом $f_1(y)$ (рис. 1), а у випадку несправного стану – до класу K_2 (діагностичний параметр розподіляється за законом $f_2(y)$).

Значення функції розподілу побудовано за експлуатаційними даними УМГ «Київтрансгаз». Прийнято, що ознакою приналежності стану ГПА до класу K_1 є значення ознаки з математичним очікуванням m_{y1} . Значення математичного очікування параметра m_{y2} є ознакою приналежності стану агрегату до несправного класу K_2 : K_1 : m_{y1}, σ_1 ; K_2 : m_{y2}, σ_2 .

За вимірним значенням параметра y_i необхідно прийняти рішення про приналежність стану ГПА до класу K_1 (гіпотеза H_1) або до класу K_2 (гіпотеза H_2).

Якби в усіх випадках за наявності справного стану (справедлива гіпотеза H_1) виконувалась рівність $y_i = m_{y1}$, а за наявності несправного стану – рівність $y_i = m_{y2}$, то не виникало б

суперечності у виборі рішення. Як згадувалось вище, через дію випадкових причин y_i може приймати різні значення. При виборі рішення про приналежність стану до одного з класів, вибирається та перевіряється за певним правилом одна з гіпотез. Таким правилом у даному випадку є розподіл всього інтервалу вимірів y_i на два класи та вибір порогового значення $y_n = 60^\circ\text{C}$. Гіпотеза H_1 приймається у випадку, коли $y_i < y_n$, а гіпотеза H_2 , при $y_i > y_n$. При цьому можливі два види похибок:

1) попри приналежність стану до класу K_1 , приймається гіпотеза H_2 , тобто стан відносять до несправного;

2) попри приналежність стану до класу K_2 , приймається гіпотеза H_1 віднесення до справного стану.

Ймовірність того, що буде вибрана гіпотеза H_1 , у випадку, коли слід прийняти гіпотезу H_2 , визначається площею під кривою $f_2(y)$ зліва від y_n . Ймовірність такої похибки F_n визначається співвідношенням [2]:

$$F_n = P(H_1 / H_2) = \int_{-\infty}^{y_n} f_2(y) dy = 1 - \Phi\left(\frac{y_n - m_{y2}}{\sigma_{y2}}\right);$$

ймовірність помилкового прийняття гіпотези H_2 замість реальної H_1

$$F_{\wedge} = P(H_2 / H_1) = \int_{y_n}^{\infty} f_1(y) dy = 1 - \Phi\left(\frac{y_n - m_{y1}}{\sigma_{y1}}\right),$$

а ймовірність правильного розпізнавання

$$P(H_2 / H_1) = 1 - F_n,$$

де $\Phi\left(\frac{y_n - m_{y1}}{\sigma_{y1}}\right)$ – табульована функція.

В процесі експлуатації при появі несправності після контролю повинна збільшитись ймовірність того класу станів, в якому дійсно знаходиться агрегат. Якщо використовується ідеальна за вірогідністю система розпізнавання, то після контролю ймовірність дійсного класу стану агрегату дорівнюватиме одиниці. Проте через помилки системи розпізнавання певна невизначеність стану агрегату залишиться. Вона може бути виражена через апостеріорні ймовірності класів станів $P_{ан}(K_1), P_{ан}(K_2) \dots P_{ан}(K)$, що характеризує перебування станів об'єкта у відповідному класі. Ці ймовірності можна визначити за формулою Байєса [1, 2].

Нехай в результаті контролю отримана реалізація параметрів $B_j (y_1, y_2, \dots, y_m)$. Апостеріорні ймовірності приналежності отриманої реалізації до кожного класу визначається за формулою Байєса

$$P(K_i / B_j) = \frac{P(K_i) \cdot P(B_j / K_i)}{\sum_{j=1}^N P(K_i) \cdot P(B_j / K_i)}, \quad (1)$$

де: $P(K_i)$ – апіорна ймовірність приналежності до K_i – класу;

$P(K_i / B_j)$ – апостеріорна ймовірність гіпотези про приналежність B_j – реалізації до K_i – класу;

$P(B_j / K_i)$ – умовна ймовірність приналежності стану до j -го класу, якщо в дійсності має місце i -ий клас.

Якщо система ідеальна, то вона укаже на приналежність стану агрегату до j -го класу тільки в тому випадку, коли стан агрегату дійсно перебуває в цьому класі. Тоді

$$P(B_j / K_i) = 1, i = j; P(B_j / K_i) = 0, j \neq i.$$

і тому

$$P(K_i / B_j) = \frac{P(K_i) \cdot P(B_j / K_i)}{P(K_i) \cdot P(B_j / K_i)} = 1.$$

Таким чином, у випадку використання ідеальної системи розпізнавання вірогідність припущення про приналежність стану агрегату до K_i – класу зростає порівняно з апіорними даними на величину

$$\frac{P(K_i / B_j)}{P(K_i)} = \frac{1}{P(K_i)}.$$

Реальна система розпізнавання має похибки, тому

$$P(B_j / K_i) < 1, j = I, \\ P(B_j / K_i) > 0, j \neq 1.$$

Отже

$$P(B_j / K_i) < 1.$$

Нехай існує N класів, що складають повну групу станів агрегату. За результатами контролю отримана реалізація параметрів деякого, поки невідомого класу аварійних станів $B_j [y_1^{(b_j)}, y_2^{(b_j)}, \dots, y_m^{(b_j)}]$. Потрібно визначити послідовно апостеріорні ймовірності гіпотез:

H_1 – приналежності реалізації B_j до класу K_1 ;

H_2 – те ж до класу $K_2 \dots$ до класу K_{N-1} ;

H_N – приналежності реалізації B_j до класу K_N .

Тоді апостеріорна ймовірність гіпотез H визначається із залежності

$$H(H_i / B_j) = \frac{P(K_i) f \left\{ \frac{B_j}{[y_1^{(k_i)}, y_2^{(k_i)}, \dots, y_m^{(k_i)}]} \right\}}{\sum_{j=1}^N P(H_i) f \left\{ \frac{B_j}{[y_1^{(k_i)}, y_2^{(k_i)}, \dots, y_m^{(k_i)}]} \right\}}, \quad (2)$$

де: $P(H_i)$ – апіорна ймовірність гіпотез;

$f \left\{ \frac{B_j}{[y_1^{(k_i)}, y_2^{(k_i)}, \dots, y_m^{(k_i)}]} \right\}$ – багатомірна функція правдоподібності;

$y_1^{(k_i)}, y_2^{(k_i)}, \dots, y_m^{(k_i)}$ – зразок (еталон) класу K_i , виражений сукупністю ознак.

Залежність (2) можна значно спростити, якщо скористатися такими прийнятими припущеннями:

1. Апіорні ймовірності класів однакові, тобто

$$P(K_1) = P(K_2) = \dots = P(K_N) = P(K),$$

тоді

$$P(H_1) = P(H_2) = \dots = P(H_N) = P(H)$$

$$\text{та } \sum_{i=1}^N P(H) = 1.$$

2. Статистична незалежність ознак.

В цьому випадку багатомірну функцію

$f \left\{ \frac{B_j}{[y_1^{(k_i)}, y_2^{(k_i)}, \dots, y_m^{(k_i)}]} \right\}$ можна представити у вигляді

$$f \left\{ \frac{B_j}{[y_1^{(k_i)}, y_2^{(k_i)}, \dots, y_m^{(k_i)}]} \right\} = \\ = f \left[\frac{y_1^{(b_j)}}{y_1^{(k_i)}} \right] f \left[\frac{y_2^{(b_j)}}{y_2^{(k_i)}} \right] \dots f \left[\frac{y_m^{(b_j)}}{y_m^{(k_i)}} \right], \quad (3)$$

де $\left[\frac{y_k^{(b_j)}}{y_k^{(k_i)}} \right]$ – одномірні функції розподілу.

Для нормального закону розподілу функція розподілу набуде вигляду:

$$f \left[\frac{y_k^{(b_j)}}{y_k^{(k_i)}} \right] = \\ = \frac{1}{\sigma y_k^{(k_i)} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{\left(y_k^{(b_j)} - m y_k^{(b_j)} \right)^2}{2\sigma^2 y_k^{(b_j)}} \right], \quad (4)$$

З урахуванням викладених припущень залежність (2) для визначення апостеріорних ймовірностей можна представити у вигляді

$$P(H_i / B_j) = \frac{\prod_{k=1}^m f \left[\frac{y_k^{(b_j)}}{y_k^{(k_i)}} \right]}{\sum_{i=1}^N \prod_{k=1}^m f \left[\frac{y_k^{(b_j)}}{y_k^{(k_i)}} \right]} \quad (5)$$

За отриманим розподілом апостеріорних ймовірностей визначаємо, до якого класу K_i із N належить B_j реалізація.

Вибір критерію рішення про приналежність реалізації до відповідного класу відносять до типу задач перевірки статистичних гіпотез, у відповідності до якого можливо мінімізувати значення однієї похибки при визначеному рівні іншої. За методом Неймана-Пірсона мінімізується ймовірність пропуску цілі при заданому припустимому рівні ймовірності похибки.

Таким чином, можна зробити висновок про можливість віднесення технічного стану ГПА до одного з класів, в які об'єднуються несправні стани, що найчастіше зустрічаються при експлуатації агрегатів, у випадку виникнення несправності на основі діагностичних ознак.

Література

- 1 Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
- 2 Волков Е.Б. Основы теории надежности ракетных двигателей / Е.Б. Волков, Р.С. Судаков, Т.А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1974. – 476 с.
- 3 Спорягина Н.М. Диагностика технического состояния авиационных двигателей: учеб. пособие. Моск. авиац. ин-т. / Н.М. Спорягина. – М.: МАИ, 1976. – 26 с.
- 4 Трубопроводный транспорт газа / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін. – Київ: АренаЕКО, 2002. – 600 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
04.02.11
Рекомендована до друку професором
Д.Ф. Тимківим*