

УДК 519.684.4

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ НА ЗАСАДАХ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ І ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

М. І. Горбійчук, Б. В. Пашковський*

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
 вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, e-mail: gorb@nuing.edu.ua

Газоперекачувальний агрегат представлений як об'єкт діагностики для якого є відомими множина вхідних показників від яких залежить загальний стан ГПА та множина вихідних показників, що характеризують стан ГПА, і значення яких змінюються в залежності від комбінації й інтенсивності дії різних факторів впливу. На експертному рівні проаналізовано ступені впливу входів і виходів, що характеризують певний стан ГПА. Формалізована та розв'язана задача діагностики за допомогою матриці нечітких відношень та нечіткої множини вихідних показників. Проаналізовано, які чинники мають найбільший вплив на технічний стан ГПА.

Ключові слова: експертне опитування, парне порівняння, шкала Саати, компримування газу, газоперекачувальний агрегат, технічний стан.

Газоперекачивающий агрегат представлен как объект диагностики для которого известны множество входных показателей, от которых зависит общее состояние ГПА и множество исходных показателей, характеризующих состояние ГПА, и значение которых меняются в зависимости от комбинации и интенсивности воздействия различных факторов влияния. На экспертном уровне проанализированы степени влияния входов и выходов, соответствующих тому или иному состоянию объекта. Формализованная и решена задача диагностики с помощью матрицы нечетких отношений и множества исходных показателей. Проанализировано, какие факторы оказывают наибольшее влияние на техническое состояние ГПА.

Ключевые слова: экспертный опрос, парное сравнение, шкала Саати, компримирование газа, газоперекачивающие агрегаты, техническое состояние.

Gas compressor units represented as an diagnostically object for which set of input parameters that affect the overall condition of GCU and set benchmarks that characterize the state of the GCA, and whose values vary depending on the combination and intensity of the impact of various factors are known. At the level of experts the degree of importance of inputs and outputs that meet a particular condition object have been analyzed. The problem of diagnosis has been formalized and solved using the fuzzy relations matrix and fuzzy set. It was analyzed - which factors have the greatest impact on the technical condition of the GPA.

Keywords: expert survey, an even comparison, the scale of Saati, gas compression, gas pumping units, technical condition.

Вступ

Україна є однією з найбільших держав з транзиту газу як внутрішнім споживачам, так і до країн Центральної та Західної Європи. Саме через Україну в Європу транспортується понад 70% експортних обсягів російського газу, що складає 101.1 млрд. куб. м. за рік.

Україна в січні-вересні 2016 року збільшила транзит природного газу до Європи і Молдови на 17,8% (на 8 млрд 627,8 млн куб. м) у порівнянні з аналогічним періодом 2015 року – до 56 млрд 976,8 млн куб. м.

Для здешевлення процесу транспортування природного газу актуальною науковою задачею є як оптимізація роботи газотранспортної системи в цілому, так і, зокрема, керування роботою ГПА в оптимальному режимі.

Незважаючи на значні зусилля багатьох вчених в області оптимізації роботи ГПА, невирішеними залишається цілий ряд задач, зокрема задачі оптимізації роботи ГПА з врахуванням його технічного стану, включення у модель узагальненого показника технічного стану ГПА оксидів азоту і вуглецю у вихлопних. Ці задачі є актуальними оскільки вони дають змогу підвищити ефективність процесу компримування природного газу.

Аналіз сучасних публікацій

У роботі [1] застосовано апарат нечіткої логіки для оцінки технічного стану ГПА. Для його характеристики були вибрані такі параметри: коефіцієнти технічного стану відцентрового нагнітача за політропним ККД та за потужністю, параметри вібро- та трибодіагностики, які

інтегрально характеризують стан ГПА в цілому. Для реалізації запропонованого методу ранжирування ГПА були сформовані функції належності для п'ятих вхідних та однієї вихідної величин на основі опитування експертів. У результаті чого побудована нечітка продукційна модель шляхом квантування за рівнем вхідних і вихідних факторів з визначенням їхнього лінгвістичного значення на кожному із рівнів. Згідно з опитуванням експертів-операторів були створені відповідності між функціями належності, правилами керування та лінгвістичними змінними, які характеризують технічний стан газоперекачувального агрегату.

Виклад основного матеріалу

Припустимо, що для деякого об'єкта діагностики є відомими [2]:

$C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ – множина вхідних факторів, від яких залежить загальний стан об'єкта і його окремі показники;

$S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ – множина вихідних показників, що характеризують стан об'єкта, і значення яких змінюються в залежності від комбінації й інтенсивності дії різних факторів впливу.

Якщо на експертному рівні проаналізувати ступені важливості входів і виходів, що відповідають тому чи іншому стану об'єкта, і подати їх як функції належності, то можна сформувати:

$\mu(c_1), \mu(c_2), \dots, \mu(c_n)$ – множину ступенів важливості входів і $\mu(s_1), \mu(s_2), \dots, \mu(s_n)$ – множину ступенів важливості виходів чисел у діапазоні від 0 до 1. Таким чином, можна вважати, що є дві нечіткі множини [2]

$$\tilde{C} = \left(\frac{\mu(c_1)}{c_1}, \frac{\mu(c_2)}{c_2}, \dots, \frac{\mu(c_n)}{c_n} \right)_i$$

$$\tilde{S} = \left(\frac{\mu(s_1)}{s_1}, \frac{\mu(s_2)}{s_2}, \dots, \frac{\mu(s_n)}{s_n} \right),$$

де $\mu(c_i)$ і $\mu(s_i)$ значення ступенів належності відповідних елементів до цих множин.

Наведені початкові дані дають змогу представити модель причинно-наслідкових зв'язків між факторами впливу (причинами) і вихідними показниками (наслідками) за допомогою композиційного правила висновку Заде [3]:

$$\tilde{S} = \tilde{C} \circ R \quad (1)$$

де R - матриця нечітких відношень, елементи якої r_{ij} характеризують ступені впливу причини c_i на виникнення наслідку s_j й оцінюються в діапазоні $[0;1]$; знак \circ визначає операцію *max-min-композиції* [3].

Використовуючи введені позначення, формалізуємо задачу діагностики таким чином: на основі матриці R і визначеної експертним шляхом

нечіткої множини \tilde{S} необхідно сформувати нечітку множину \tilde{C} , яка визначає ступені належності $\mu(c_1), \mu(c_2), \dots, \mu(c_n)$. Розкривши співвідношення (1), одержимо систему нечітких логічних рівнянь:

$$\begin{cases} \mu(s_1) = (\mu(c_1) \wedge r_{11}) \vee (\mu(c_2) \wedge r_{21}) \vee \dots \vee (\mu(c_n) \wedge r_{n1}) \\ \mu(s_2) = (\mu(c_1) \wedge r_{12}) \vee (\mu(c_2) \wedge r_{22}) \vee \dots \vee (\mu(c_n) \wedge r_{n2}) \\ \dots \\ \mu(s_m) = (\mu(c_1) \wedge r_{1m}) \vee (\mu(c_2) \wedge r_{2m}) \vee \dots \vee (\mu(c_n) \wedge r_{nm}) \end{cases} \quad (2)$$

невідомі змінні якої і будуть складати множину ступенів належності $\mu(c_1), \mu(c_2), \dots, \mu(c_n)$

Використаємо метод побудови функцій належності, запропонований у роботі [6].

Матриця нечітких відношень R має розмірність $i \times j$, де $i = \overline{1, n}$ кількість причин (факторів впливу); $j = \overline{1, m}$ – кількість наслідків, що характеризують стан об'єкта дослідження, і визначають характер впливу факторів-причин на поточний стан об'єкта. Тому від ступеня адекватності її вмісту безпосередньо залежить загальна адекватність моделі причинно-наслідкових зв'язків.

З метою ефективного визначення значень елементів матриці R на основі порівняльного аналізу ступенів важливості причин і наслідків пропонується така послідовність дій [1].

1. Окремий наслідок s_j будемо розглядати як нечітку множину, задану на універсальній множині причин $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$;

$$\tilde{s}_j = \left(\frac{r_{1j}}{c_1}, \frac{r_{2j}}{c_2}, \dots, \frac{r_{nj}}{c_n} \right) \quad (3)$$

де ступені належності $r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{nj}$ - це елементи матриці відношень R .

2. Ступені належності $(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{nj})$ будемо визначати, використовуючи метод парних порівнянь Сааті [4]. Для цього сформуємо матрицю парних порівнянь для вектора причин, що буде мати такий вигляд:

$$\begin{matrix} c_1 & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \\ c_2 & \\ \dots & \\ c_n & \end{matrix} \quad (4)$$

де елементи $a_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}$ характеризують ступінь переваги однієї причини над іншою в контексті їх впливу на наслідок s_j . Значення елементів a_{ij} будемо оцінювати, базуючись на такій шкалі [5]:

1 - якщо причина c_i рівною мірою впливає на наслідок s_j разом з причиною C_j

3 - якщо причина c_i несуттєво переважає причину C_j за ступенем впливу на наслідок s_j ;

5 - якщо причина c_i суттєво переважає причину C_j за ступенем впливу на наслідок s_j ;

7 - якщо причина c_i істотно переважає причину C_j за ступенем впливу на наслідок s_j ;

9 - якщо причина c_i абсолютно переважає причину C_j за ступенем впливу на наслідок s_j .

Можливі також проміжні оцінки 2, 4, 6, 8.

3. Значення елемента $r_{ij}, i = 1, n, j = 1, m$ визначається із співвідношення:

$$r_{ij} = \frac{1}{a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{in}} \quad (5)$$

Аналогічним чином складається матриця порівнянь і розраховуються значення елементів матриці нечітких відношень r_{ij} . для кожного наслідку s_j .

Як відомо, ефективні алгебраїчні методи розв'язання систем нечітких логічних рівнянь відсутні. В зв'язку з цим виникає необхідність розв'язувати їх за допомогою чисельних методів.

У нашому випадку задача розв'язання системи нечітких логічних рівнянь може бути сформульована таким чином: необхідно знайти вектор

$$\mu(c) = \mu(c_1), \mu(c_2), \dots, \mu(c_n), \text{ що задовольняє}$$

обмеження $\mu(c_i) \in [0; 1], i = 1, n$

і забезпечує мінімальне відхилення між експертними і розрахунковими значеннями ступенів важливості наслідків.

Якщо систему нечітких логічних рівнянь (2) записати в більш компактному вигляді

$$\mu(s_j) = \max_{i=1, n} (\min(\mu(c_i), r_{ij})), j = 1, n \quad (6)$$

де операції \min і \max замінюють відповідно операції \wedge і \vee то як критерій оптимізації, відповідно до постановки задачі, буде таким

$$F(\mu(c)) = \sum_{j=1}^m [\mu(s_j) - \max_{i=1, n} (\min(\mu(c_i), r_{ij}))]^2 = \min_{\mu(c)} \quad (7)$$

Врахуємо також той факт, що в загальному випадку система нечітких логічних рівнянь (2) може мати багато розв'язків [5], і остаточне рішення будемо шукати у вигляді інтервалів окремих ступенів важливості причин:

$$\mu(c_i) = [\underline{\mu}(c_i), \overline{\mu}(c_i)] \in [0, 1] \quad (8)$$

де $\underline{\mu}(c_i)$ і $\overline{\mu}(c_i)$ - відповідно нижня і верхня границі ступеня важливості причини c_i .

З метою розв'язання задачі оптимізації (7), скористаємося методом пошуку оптимального розв'язку використавши генетичний алгоритм [2].

У теорії генетичних алгоритмів використовуються такі основні поняття і операції [6, 7, 8]:

- *хромосома* - закодований варіант розв'язку;
- *ген* - окремий елемент розв'язку;
- *популяція* — початкова множина варіантів розв'язків;
- *функція відповідності* - критерій відбору варіантів;
- *схрещування* - операція отримання варіантів-нащадків з варі-антів-батьків;
- *мутація* - випадкові зміни генів у хромосомах.

Якщо сукупності хромосом-батьків і хромосом-нащадків, отриманих на деякій t -й ітерації, позначити відповідно $P(t)$ і $C(t)$, то генетичний алгоритм оптимізації можна представити в такий спосіб:

1. $t=0$;
2. Задати початкову множину $P(t)$;
3. Оцінити $P(t)$ за допомогою функції відповідності (немає умови завершення);
4. одержати $C(t)$ шляхом схрещування $P(t)$;
5. Виконати мутацію $C(t)$;
6. Оцінити $C(t)$ за допомогою функції відповідності;
7. Вибрати $P(t+1)$ з $P(t)$ і $C(t)$; $t = t + 1$;

Розглянемо більш докладно основні етапи генетичного алгоритму в контексті розв'язання задачі, що розглядається в цьому розділі.

1. Визначення початкової популяції хромосом.

Кожна окрема хромосома може бути представлена як вектор-рядок кодів усіх ступенів важливості причин, $\mu(c_i), i = 1, n$ у двійковій системі числення. При цьому кількість бітів, необхідних для кодування змінної $\mu(c_i)$, можна визначити за формулою

$$2^{q-1} < (\overline{d}_i - \underline{d}_i) \cdot 10^q \leq 2^q - 1 \quad (9)$$

де $(\overline{d}_i - \underline{d}_i)$ - діапазон значень змінної $\mu(c_i)$; q - необхідна точність, тобто кількість знаків після коми.

Нехай, наприклад, деякому розв'язку поставленої задачі, заданому з точністю $q=3$, відповідає послідовність чисел у діапазоні $[0; 1]$:

$$\mu(c_1) = 0.184; \mu(c_2) = 0.347; \mu(c_3) = 0.681;$$

$$\mu(c_4) = 0.946; \mu(c_5) = 0.081;$$

Хромосома, що відповідає цьому розв'язку, буде мати вигляд:

001111000	0101011011	1010101001
1110110010	000101001	

Гени хромосом початкової популяції можуть визначатися за допомогою функції RANDOM $([0, 1])$, що означає операцію знаходження випадкового числа, рівномірно розподіленого на інтервалі $[0; 1]$.

2. Використання функцій відповідності. Як функцію відповідності для розв'язання цієї задачі може бути обраний критерій (7), взятий із знаком «мінус»:

$$f(v) = -F(v) \quad (9)$$

тобто чим ближче до оптимального знаходиться значення критерію оптимізації, яке відповідає деякій хромосомі, тим більшим значенням функції відповідності повинна характеризуватись ця хромосома.

3. Виконання операцій схрещування. Для схрещування отриманих на попередньому етапі хромосом необхідно встановити коефіцієнт схрещування p_c , тобто частку отримуваних на кожній ітерації нащадків. Отже, для схрещування на кожній ітерації повинні бути відібрані $\frac{K \cdot p_c}{2}$ хромосом, де K - розмір популяції, тобто загальна кількість хромосом.

Відбір хромосом-батьків для виконання операції схрещування повинен здійснюватися не випадково. Імовірність відбору p_k , $k = 1, K$ деякої хромосоми v_k повинна бути пропорційною до величини її функції відповідності і може бути визначена з формули [2]

$$p_k = \frac{f(v_k) - \min_{j=1, K} [f(v_j)]}{\sum_{k=1}^K (f(v_k) - \min_{j=1, K} [f(v_j)])}, \sum_{k=1}^K p_k = 1 \quad (10)$$

Для безпосереднього відбору однієї батьківської хромосоми необхідно відкласти знайдені імовірності P_k на горизонтальну вісь (рис. 1) і згенерувати випадкове число z , що має рівномірний закон розподілу на інтервалі $[0; 1]$. Як батьківська вибирається хромосома, що відповідає тому підінтервалу P_k , якому належить число z .

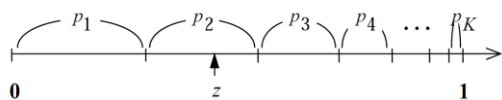


Рисунок 1 – Принцип вибору батьківської хромосоми

Сама по собі операція схрещування це впорядкований обмін генами між хромосомами, відібраними попарно. У рамках задачі, що розглядається, такий обмін може здійснюватися між генами, які відносяться до кодових комбінацій відповідних змінних $\mu(c_i), i = 1, n$. На

рис. 2 показано принцип проведення схрещування для хромосом, що містять коди змінних у кількості $n = 5$. При цьому точки схрещування, відносно яких здійснюється обмін (показані пунктиром), можуть вибиратися випадковим чином.

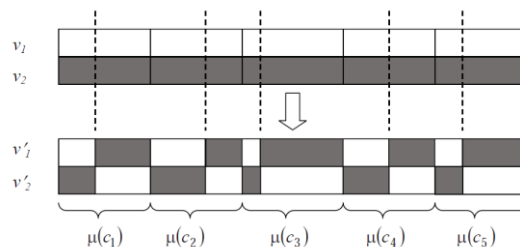


Рисунок 2 – Схема виконання операції схрещування хромосом

4. Операція мутації. Для виконання цієї операції необхідно задатися імовірністю p_m , з якою може бути підданий мутації той чи інший ген. При цьому для кожного гена визначається випадкове число z , що має рівномірний закон розподілу на інтервалі $[0; 1]$. При виконанні умови $z < p$ відбувається випадкова зміна значення цього гена відповідно до функції RANDOM $[\bar{d}_i; \underline{d}_i]$. Оскільки в нашому випадку гени являють собою розряди двійкового коду, то мутація зводиться до їх звичайного інвертування з певною імовірністю.

Слід врахувати, що при ітераційному виконанні генетичного алгоритму обсяг початкової популяції буде збільшуватись на $K \cdot p_c$ хромосом після кожної ітерації за рахунок появи нових хромосом-нащадків. Тому по завершенні кожної ітерації з одержаної популяції слід вилучати хромосоми, які мають гірші значення функцій відповідності, у кількості $K \cdot p_c$.

Таким чином, у результаті розв'язання задачі оптимізації (4) за допомогою генетичного алгоритму може бути знайдено початковий розв'язок:

$$\mu(c)^{(0)} = \mu(c_1)^{(0)}, \mu(c_2)^{(0)}, \dots, \mu(c_n)^{(0)},$$

де $\mu(c)^{(0)} \in [\underline{\mu}(c_i), \overline{\mu}(c_i)], i = 1, n$, базуючись на якому, можна організувати пошук верхніх і нижніх границь ступенів важливості причин, враховуючи, що верхня границя знаходиться в діапазоні $\mu(c_i) \in [\underline{\mu}(c_i)^{(0)}, 0]$, а нижня - у діапазоні $\mu(c_i) \in [0, \overline{\mu}(c_i)^{(0)}]$.

Для цього необхідно проаналізувати всю можливу множину розв'язків задачі (2).

Нехай $\mu(c)^{(k)} = \mu(c_1)^{(k)}, \mu(c_2)^{(k)}, \dots, \mu(c_n)^{(k)}$
 деякий k -тий розв'язок поставленої задачі, для якого справедливо $F(\mu(c)^{(k)}) = F'(\mu(c)^{(0)})$.

При пошуку верхніх границь передбачається, що $\mu(c_i)^{(k)} \geq \mu(c_i)^{(k-1)}$, а пошук нижніх границь передбачає співвідношення $\mu(c_i)^{(k)} \leq \mu(c_i)^{(k-1)}$. Встановлення верхніх (нижніх) границь відбувається згідно з правилом: якщо $\mu(c_i)^{(k)} \neq \mu(c_i)^{(k-1)}$, то $\overline{\mu(c_i)}(\mu(c_i)) = \mu(c_i)^{(k)}, i = \overline{1, n}$.

Якщо $\mu(c_i)^{(k)} = \mu(c_i)^{(k-1)}$, то пошук припиняється.

Як причини, що впливають на узагальнений показник технічного стану розглянемо наступні:

c_1 - швидкість накопичення продуктів спрацювання в моторній оливі, мг/год;

c_2 - коефіцієнт технічного стану нагнітача за політропним ККД;

c_3 - коефіцієнт технічного стану ГТД за потужністю;

c_4 - віброшвидкість, мм/с;

c_5 - вібропереміщення, мкм;

c_6 - індекс концентрації оксидів азоту;

c_7 - індекс концентрації оксидів вуглецю;

Наслідком s_1 вважатимемо узагальнений коефіцієнт технічного стану ГПА.

З метою побудови матриці нечітких відношень R порівняємо спочатку ступені важливості причин за характером їх впливу узагальнений коефіцієнт технічного стану і складемо відповідну матрицю парних порівнянь (МПП). Елементи цієї матриці будемо визначати так: як опорну виберемо причину c_7 , потім у відповідному їй рядку встановимо, згідно до базової шкали, ступені її переваги над іншими причинами; інші елементи матриці будуть від них похідними.

Таблиця 1 Матриця парних порівнянь (МПП)

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7
c_1	1	2.33	2	1.33	1.66	0.66	0.33
c_2	0.42	1	0.85	0.57	0.71	0.28	0.14
c_3	0.50	1.16	1	0.66	0.83	0.33	0.16
c_4	0.75	1.75	1.50	1	1.25	0.50	0.25
c_5	0.60	1.40	1.20	0.80	1	0.40	0.20
c_6	1.50	3.50	3	2	2.50	1	0.5
c_7	3	7	6	4	5	2	1

Використовуючи співвідношення (5), розрахуємо значення елементів матриці

нечітких відношень R . Остаточню цей вектор буде виглядати так:

C_1	0.1286
C_2	0.0551
C_3	0.0643
C_4	0.0964
C_5	0.0771
C_6	0.1928
C_7	0.3857

Розглянемо принцип діагностики узагальненого коефіцієнту технічного стану на наступному прикладі. Нехай в результаті спостереження за роботою ГПА було встановлено його технічний стан і експерт оцінив відповідну ознаку зниження технічного стану на рівні $\mu(s) = 0.5$. Таким чином отримуємо нечітке логічне рівняння.

$$0.5 = (\mu(c_1) \wedge 0.1286) \vee (\mu(c_2) \wedge 0.0551) \vee (\mu(c_3) \wedge 0.0643) \vee (\mu(c_4) \wedge 0.0964) \vee (\mu(c_5) \wedge 0.0771) \vee (\mu(c_6) \wedge 0.1928) \vee (\mu(c_7) \wedge 0.3857) \quad (11)$$

Для розв'язання цього рівняння була сформована початкова популяція хромосом:

$$v_1 = (0.6304 \ 0.1880 \ 0.2050 \ 0.2810 \ 0.9463 \ 0.7832 \ 0.5649);$$

$$v_3 = (0.1254 \ 0.1847 \ 0.0660 \ 0.9016 \ 0.1462 \ 0.0694 \ 0.8912);$$

$$v_5 = (0.1013 \ 0.1900 \ 0.1529 \ 0.4640 \ 0.0754 \ 0.9003 \ 0.3734);$$

$$v_6 = (0.5533 \ 0.3902 \ 0.9136 \ 0.2446 \ 0.5604 \ 0.8632 \ 0.8993);$$

$$v_7 = (0.3035 \ 0.2805 \ 0.1415 \ 0.1278 \ 0.3911 \ 0.8177 \ 0.7290);$$

і були знайдені значення функцій відповідності

$$f(v_1) = 0.0870; \quad f(v_2) = 0.0131; \quad f(v_3) = 0.1252;$$

$$f(v_4) = 0.0131; \quad f(v_5) = 0.1205;$$

$$f(v_6) = 0.0131;$$

$$f(v_7) = 0.0943;$$

Встановимо ймовірність схрещування на рівні $p_c = 0.8$ і розрахуємо кількість пар хромосом, що братимуть участь в операції схрещування на кожній ітерації алгоритму

$$\frac{K \cdot p_c}{2} = \frac{7 \cdot 0.8}{2} \approx 2, \quad \text{тобто повинні вибиратися чотири хромосоми. Ймовірність відбору кожної хромосоми згідно формули (10) буде рівна}$$

$$p_1 = 0.9550; \quad p_2 = 0.6520; \quad p_3 = 0.1854; \quad p_4 = 0.0609;$$

$$p_5 = 0.8696; \quad p_6 = 0.7646;$$

$$p_7 = 0.1237;$$

Згенеруємо два випадкових числа: $z_1 = 0.6323, z_2 = 0.03652$. Відповідно до алгоритму відбору хромосом-батьків, схрещуванню повинні бути піддані хромосоми v_3 і v_4 .

Для реалізації операції схрещування були встановлені вісім точок обміну - числа, що генерувалися випадковим чином у діапазоні [1;

10]. Оскільки значення ступенів важливості причин кодувалися в хромосомах десятима розрядами двійкового коду. Ці випадкові числа дорівнюють 3, 4, 5, 1, 2, 7, 3, 5 і визначають точки обміну (рис.3). На цьому рисунку показані окремі біти, що були проінвертовані з урахуванням встановленої імовірності мутації $p_m = 0.1$

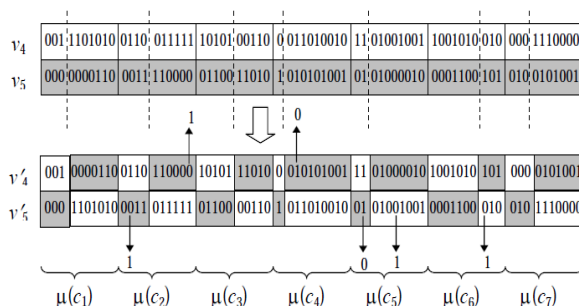


Рисунок 3 – Схема виконання операцій схрещування і мутації

Оскільки після 51-ї ітерації функція відповідності перестала зростати, то цей розв'язок було взято за початковий:

$$\mu(c_1)^{(0)} = 0.279;$$

$$\mu(c_2)^{(0)} = 0.870;$$

$$\mu(c_3)^{(0)} = 0.603;$$

$$\mu(c_4)^{(0)} = 0.434;$$

$$\mu(c_5)^{(0)} = 0.775;$$

$$\mu(c_6)^{(0)} = 0.334;$$

$$\mu(c_7)^{(0)} = 0.274;$$

На основі отриманого початкового розв'язку здійснюється пошук інтервалів ступенів важливості причин $\mu(c_i)$ за допомогою описаного вище генетичного алгоритму.

Кінцевий розв'язок системи нечітких логічних рівнянь може бути представлений у вигляді інтервалів:

$$\mu(c_1)^{(0)} \in [0; 343]; \mu(c_2)^{(0)} \in [0; 870]; \mu(c_3)^{(0)} \in [0; 605];$$

$$\mu(c_4)^{(0)} = 0.434 \mu(c_5)^{(0)} \in [0; 775]; \mu(c_6)^{(0)} = 0.334;$$

$$\mu(c_7)^{(0)} \in [0; 0.295];$$

Звідси випливає, що параметри c_2 , c_3 та c_5 чинять більший вплив на технічний стан ГПА, ніж параметри c_1 , c_6 та c_7 .

Висновки:

Основною причиною погіршення технічного стану ГПА є підвищення віброшвидкості і вібропереміщення, та низький коефіцієнт технічного нагнітача за політропним ККД та коефіцієнт технічного стану ГТД за потужністю. В той же час швидкість накопичення продуктів спрацювання в моторній оливі та індекси оксидів азоту і вуглецю мало впливають на узагальнений показник технічного стану.

1. Заячук Я.І. Оптимальне керування газоперекачувальними агрегатами компресорних станцій з урахуванням їх технічного стану. // Дис. на здобуття наук. степ. канд. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» – Івано-Франківськ, 2009. – 259с. 2. Ротштейн А.П. Решение задачи диагностики на основе нечетких отношений и генетического алгоритма / А.П. Ротштейн, А.Б. Ракитянская // Кибернетика и системный анализ. - 2001. - № 6. - С. 162-170. 3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. - 167 с. 4. Саати Т.Л. Математические модели конфликтных ситуаций. М.: Сов. радио, 1977. - 304 с. 5. Прикладные нечеткие системы / Под. ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. - М.: Мир, 1993. - 280 с. 6. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы. - Винница: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 1999. - 320 с. 7. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы. - Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. - 320 с. 8. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идеен-тификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы. - Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. - 320 с. 81. Вороновский Г.К. / Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский и др. - Харьков: Основа, 1997. - 212 с.

Поступила в редакцію 02.11.2016 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Олійник А.П., докт. техн. наук, проф. Семенцов Г.Н.