

ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЧОВИН

УДК 519.684.4

ПОБУДОВА ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО ІНДЕКСУ КОНЦЕНТРАЦІЙ ОКСИДІВ АЗОТУ І ВУГЛЕЦЮ У ВИХЛОПНИХ ГАЗОПЕРЕКАЧУЛЬНОГО АГРЕГАТУ

М. І. Горбійчук, Б. В. Пашковський*

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

Проведено опитування експертів, про наявність у узагальненого індексу концентрацій оксидів азоту і вуглецю властивостей нечіткої множини. За результатами анкетування розраховано степені належності нечітким множинам. На основі опрацьованих думок експертів побудовано функції належності для узагальненого індексу концентрацій оксидів азоту і вуглецю. Діапазон зміни індексу концентрації розбитий на вісім квантів. Проведено опитування експертів для парного порівняння рангів за шкалою Сааті. На основі отриманих співвідношень обчислені функції належності з використанням рангових оцінок, що розроблені в теорії структурного аналізу систем. Проведено порівняння функції належностей отриманих різними способами.

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

Проведен опрос экспертов, о наличии в обобщенного индекса концентраций оксидов азота и углерода свойств нечеткого множества. По результатам анкетирования рассчитаны степени принадлежности нечетким множествам. На основе обработанных мнений экспертов построены функции принадлежности для обобщенного индекса концентраций оксидов азота и углерода. Диапазон изменения индекса концентрации разбит на восемь квантов. Проведен опрос экспертов для парного сравнения рангов по шкале Саати. На основе полученных соотношений вычислены функции принадлежности с использованием ранговых оценок, разработанных в теории структурного анализа систем. Проведено сравнение функции принадлежности полученными способами.

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

A survey of experts about the presence of generalized index of concentrations of nitrogen oxides and carbon properties of fuzzy sets was conducted. According to the survey results calculated degree of fuzzy sets. Based on expert opinions processed built functions for generalized index of concentration of oxides of nitrogen and carbon. Index concentration range is divided into eight rays. A survey of experts for paired comparison ranking on a scale Saaty conducted. Based on the ratios calculated using membership functions ranked estimates developed the theory of structural analysis systems. Comparison membership function obtained by different methods.

Keywords: expert survey, an even comparison, the scale of Saaty, 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 84 млрд. куб.м. за рік. Підвищення надійності експлуатації газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях і, як наслідок, зменшення витрат на їх обслуговування та ремонт є однією з найважливіших задач у забезпеченні ефективної роботи газотранспортної системи. Вирішення цієї задачі полягає в розробці інтелектуальної системи оптимізації з врахуванням технічного стану як самого ГПА в цілому, так і його окремих елементів і вузлів. Для транзиту природного газу Україна має розгалужену газотранспортну мережу загальною протяжністю близько 35 тис. км. Для компенсації втрат тиску на магістральних газопроводах встановлено 72 компресорні станції (КС) загальною потужністю 5.4 млн кВт. Витрати газу на власні потреби по одній КС складають близько $32 \cdot 10^3$ ст.м³/год. За цих умов важливого значення набувають питання раціонального використання енергоресурсів, які витрачаються на переміщення газу магістральними газопроводами.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій. У роботі [1] в якості основних параметрів, що характеризують технічний стан ГПА вибрані наступні:

- швидкість накопичення продуктів спрацювання пар тертя в моторній оливі;
- коефіцієнт технічного стану ВЦН за політропним ККД;
- коефіцієнт технічного стану ГТД за потужністю;
- середньоквадратичне значення віброшвидкості;
- вібропереміщення.

Поза тим, концентрації оксидів азоту і вуглецю не враховуються, як параметри технічного стану ГПА.

У роботі [2] було встановлено, що концентрації оксидів СО і NO_x для окремих ГПА відрізняються в 1.1 – 2.5 рази. З врахуванням того, що експерименти проводилися за однакових умов роботи агрегатів, це можна пояснити лише їх різним технічним станом. Таким чином, можна зробити висновок, що процеси старіння і зносу вузлів і елементів ГПА супроводжуються зміною концентрацій оксидів азоту і вуглецю в продуктах згорання, а тому величина рівня викидів СО і NO_x може використовуватися, як додатковий критерій при оцінці технічного стану газоперекачувального агрегату.

Виклад основного матеріалу. Оцінка динаміки зміни параметрів викидів за результатами вимірювання продуктів згорання ускладнюється тим, що вміст оксидів азоту і вуглецю залежить не тільки від технічного стану, а і від режиму роботи агрегату. Для вирішення цієї роботи, авторами роботи [2] запропоновано комплексний показник – індекс концентрації K_p , який дозволяє визначати динаміку зміни вмісту оксидів азоту і вуглецю в вихлопних газах газоперекачувального агрегату на змінних режимах його роботи, незалежно від навантаження.

Індекс концентрації обчислюється за формулою

$$K_p = \frac{C'_{NO_x}}{C_{NO_x}^{ном}} + \frac{C'_{CO}}{C_{CO}^{ном}}, \quad (1)$$

де C'_{NO_x} , C'_{CO} – концентрації оксидів азоту і вуглецю у вихлопних газах, мг/нм³, приведені до умовної концентрації кисню 15%; $C_{NO_x}^{ном}$ – номінальна приведена концентрація оксидів азоту, мг/нм³; $C_{CO}^{ном}$ – номінальна приведена концентрація оксидів вуглецю, мг/нм³.

Приведена концентрація забруднюючої речовини (до умовного вмісту кисню 15% в сухих продуктах згорання) визначається за формулою

$$C'_i = C_i^{факт} \cdot \frac{21 - 15}{21 - O_2}, \quad (2)$$

де $C_i^{факт}$ – фактичний вміст кисню, у сухих продуктах згорання, %; 21 – вміст кисню у атмосфері, %.

Розглядатимемо індекс концентрації, як одну із вхідних лінгвістичних змінних, яка оцінюється нечіткими термами. Як показали експериментальні дослідження [2] вихлопних газів ГПА різних типів діапазон зміни індексу концентрації складає від 0,6 до 3,0 в залежності від емісійної характеристики камери згорання, технічного стану агрегату і напрацювання з початку експлуатації і після капітального ремонту.

Лінгвістичні змінні відрізняються від нумеральних (числових) змінних тим, що їхніми величинами є не числа, а слова і вирази звичайної розмовної мови чи, в деяких випадках, спеціалізованої.

Для маніпуляції такими лінгвістичними значеннями необхідна їхня інтерпретація. З цієї метою використано апарат нечітких множин, де кожному значенню параметра ставилась у відповідність функція належності.

Функції належності можуть бути отримані спеціально розробленими методами, серед яких найбільше розповсюдження отримали: метод

статичної обробки інформації [3] і метод парних порівнянь [4]. Крім цього можна скористатися стандартними функціями належності [5].

В літературі стосовно визначення кількості термів не дано конкретних рекомендацій. Їх кількість вибирається з інтервалу 7 ± 2 [6].

Подальше збільшення кількості термів веде до ускладнення моделі без підвищення її точності. Враховуючи вищевказане, постає завдання вибору кількості термів індексу концентрації.

Кількість термів може бути визначена двома способами [6]:

- задатися деякою універсальною множиною, а потім перейти до реальних фізичних величин на основі використання знань експертів;

- визначити кількість термів, виходячи з діапазону зміни деякої величини X_i та інтервалу квантування ΔX_i :

$$r = \frac{X_i}{\Delta X_i}, \Delta X_i = X_{i+1}^* - X_i^*,$$

де X_i^* - рівень квантування.

Згідно другого способу інтервал квантування ΔX_i треба вибирати з урахуванням густини розподілу завод таким чином, щоб функції належності нечітких множин не залежали від них. Для будь-якого неперервного сигналу, залежно від рівня завод і потрібної точності, кількість термів визначаються різницею між сусідніми значеннями цих термів – кроком квантування.

При впливі на сигнал флуктуаційних завод, які характеризуються нормальним законом розподілу ймовірностей, крок квантування сигналу за рівнем вибирається з умови $\Delta X > 10 \cdot \sigma$, де σ – середньоквадратичне відхилення завод.

Крок квантування ΔX_i при рівномірному квантуванні за рівнем вибирається також, виходячи з допустимої похибки вимірювань σ . Якщо допустиме значення основної зведеної похибки приладу σ задане, то за відомими межами зміни величини X_i крок квантування ΔX_i можна визначити, користуючись формулою [6].

$$\Delta X_i = \frac{2\sigma}{100} (X_{i\max} - X_{i\min})$$

Рівномірне квантування забезпечує найбільш точне відтворення квантованого сигналу $X(t)$ за дискретними вимірами у моменти часу $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots$ і максимальна похибка квантування в цьому випадку не перевищує $\sigma/2$.

Кількість рівнів квантування на заданому діапазоні вимірювання параметра буде дорівнювати

$$b = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{\Delta X_i}$$

або після підстановки $b = \frac{50}{\sigma}$

Враховуючи, що для технічних засобів контролю технологічних параметрів процесу компримування природного газу $\sigma = \pm 2.5\%$ або $\sigma = \pm 1.5\%$, кількість рівнів квантування дорівнюватиме 20 або 33. Проте, це вступає у протиріччя з таким показником статистичного контролю як розмах [6]:

Аналіз експериментальних даних показав, що розмахи контрольованих параметрів значно більші кроків квантування за рівнем, і тому носієм нечіткого числа X може бути лише фактичний розмах контрольованого параметру.

Для визначення кількості термів скористаємося методикою подання невизначених вихідних даних, які описують процес як динамічний стохастичний об'єкт, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності

Якщо відомі мінімальне x_i і максимальне x_i значення кожного сигналу, можна визначити інтервали, в яких знаходяться їх припустимі значення. Кожний визначений таким чином інтервал розділимо на w відрізків

$$w_i = 2 \frac{x_i - x_i}{R_i} - 1, \quad (3)$$

де R_i – розмах контрольованого параметру.

Діапазон зміни індексу концентрації передбачено таким [0,6; 3,0], значення розмаху (рис. 1) прийmemo рівним $R = 2.1 - 1.4 = 0.7$.

За формулою (3) кількість термів буде рівним 5-ти, тому, для опитування експертів було використано розбиття усіх параметрів на п'ять термів, які носять назву:

- «low» (низький) – L;
- «middlelow» (середньо-низький) – ML;
- «middle» (середній) – M;
- «middlehigh» (середньо-високий) – MH;
- «high» (високий) – H.

Функції належностей побудовано з використанням кількох методів:

методі, який заснований на статистичній обробці тверджень кількох експертів;

методі парних порівнянь, який виконується одним експертом.

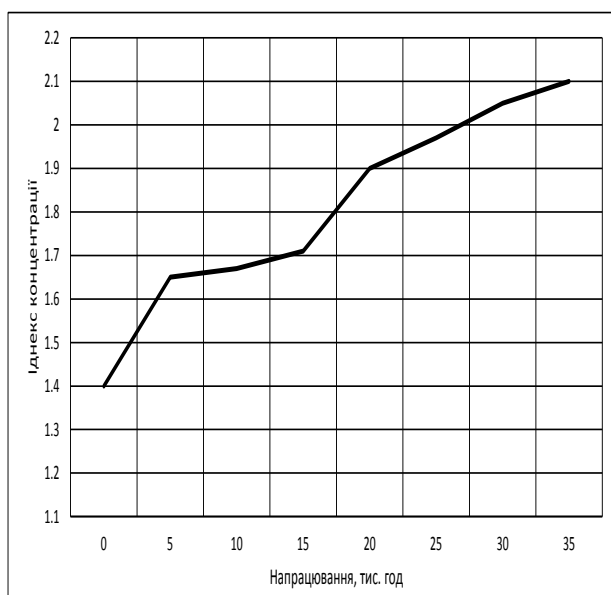


Рис. 1 – Розмах індексу концентрації

Метод статистичної обробки експертної інформації. Як експерти використовувались технологи-оператори компресорних станцій. Кожен експерт заповняв анкету, в якій вказував свою думку про наявність у елементів властивостей нечіткої множини (табл. 1).

За результатами анкетування степені належності u_i нечіткій множині l_p розраховувалися за формулою

$$\mu_{l_p}(u_j) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{p,j}^k, \quad (4)$$

де $b_{p,j}^k$ – думка k-го експерта про наявність у елемента u_i властивостей нечіткої множини l_p , при цьому $b_{p,j}^k = 1$, якщо елемент має властивість нечіткої множини, та $b_{p,j}^k = 0$, якщо не має.

$p = \overline{1, q}$, q – кількість лінгвістичних термів;

$j = \overline{1, 5}$ – кількість підмножин множини параметрів;

K – кількість експертів.

Результати опрацювання думок експертів зведені в табл. 2 і на їх основі побудовані графіки функцій належності (рис. 2).

Метод парних порівнянь

Серед методів визначення функцій належності найбільше поширення отримав метод парних порівнянь Сааті [7]. Труднощі використання цього методу зумовлені необхідністю знаходження власного вектора матриці парних порівнянь, що задається за допомогою спеціально запропонованої шкали. Причому ці труднощі зростають по мірі зростання розмірності універсальної множини, на якій задається лінгвістичний терм

Метод, що пропонується у роботі [7], також використовує матрицю парних порівнянь універсальної множини. Однак, на відміну від методу Сааті, він не вимагає знаходження власного вектора матриці, тобто звільняє дослідника від трудомістких процедур обчислення коренів характеристичного

Таблиця 1 – Опитування експертів

Діапазон	Експерт				
	1	2	3	4	5
0.6 - 0.9	L	L	L	L	L
0.9 - 1.2	L	L	L	L	ML
1.2 - 1.5	ML	ML	ML	ML	ML
1.5 - 1.8	M	M	M	M	M
1.8 - 2.1	M	M	MH	MH	MH
2.1 - 2.4	MH	MH	MH	MH	MH
2.4 - 2.7	MH	MH	H	H	H
2.7 - 3.0	H	H	H	H	H

Таблиця 2 – Результати опрацювання думок експертів

Діапазон	Терм				
	L	ML	M	MH	H
0.6 - 0.9	1	0	0	0	0
0.9 - 1.2	0.8	0.2	0	0	0
1.2 - 1.5	0	1	0	0	0
1.5 - 1.8	0	0	1	0	0
1.8 - 2.1	0	0	0.4	0.6	0
2.1 - 2.4	0	0	0	1	0
2.4 - 2.7	0	0	0	0.4	0.6
2.7 - 3.0	0	0	0	0	1

рівняння.

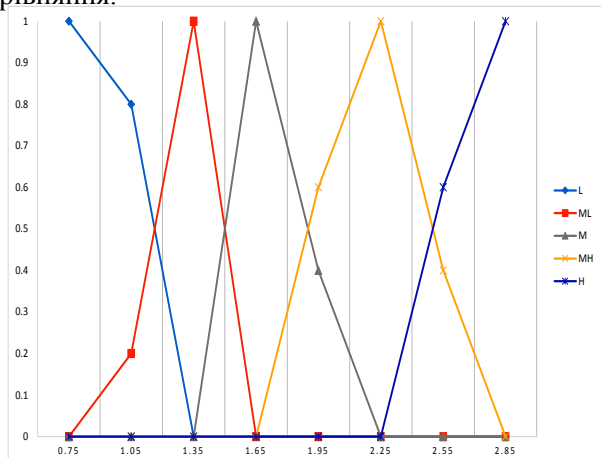


Рис. 2 – Функції належності індексу концентрації отримані методом статистичної обробки експертної інформації

У роботі [7] докладно описано загальні положення даного методу, тому приведемо його використання, для обчислення функцій належності індексу концентрації.

Діапазон зміни індексу концентрації розбивався на вісім квантів з урахуванням апріорної інформації про сформовані взаємозв'язки між кількісними оцінками і якісними термами. Це забезпечило можливість перетворення неперервної універсальної множини в дискретну дев'ятиелементну множину.

Тому матриця парних порівнянь має розмірність 9x9. Вибір восьми квантів зумовлений тим, що при парних порівняннях експерти використовують оцінки від 1 до 9.

Для лінгвістичної оцінки фактора використовується сукупність нечітких термів:

<<низька», «середньо-низька», «середня», «середньо-висока», «висока»>.

Сформуємо матрицю, що відображає парні порівняння терму «низька».

При формуванні матриці експертно визначався лише дев'ятий рядок:

$$\begin{matrix}
 & u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & u_8 & u_9 \\
 u_1 & & & & & & & & & \\
 u_2 & & & & & & & & & \\
 u_3 & & & & & & & & & \\
 A_{\text{низька}} & = & u_4 & & & & & & & \\
 & & u_5 & & & & & & & \\
 & & u_6 & & & & & & & \\
 & & u_7 & & & & & & & \\
 & & u_8 & & & & & & & \\
 u_9 & & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{matrix} \quad (5)$$

Елементи інших рядків обчислювалися, виходячи з наступних властивостей.

Оскільки відомими є елементи п'ятого рядка матриці (5), то довільний елемент знаходиться із співвідношення (6).

$$a_{ij} = \frac{a_{fj}}{a_{fi}}, i, j, f = \overline{1, q} \quad (6)$$

Тоді матриця матиме вигляд:

$$A^{низька} = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & u_8 & u_9 \\ u_1 & 1 & 7/9 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ u_2 & 9/7 & 1 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/7 \\ u_3 & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u_4 & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u_5 & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u_6 & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u_7 & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u_8 & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ u_9 & 9 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad (7)$$

Застосовуючи співвідношення (8) до матриці (7) отримуємо:

$$\left. \begin{matrix} \mu_1 = \left(1 + \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_3}{r_1} + \dots + \frac{r_n}{r_1} \right)^{-1}; \\ \mu_2 = \left(\frac{r_1}{r_2} + 1 + \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{r_n}{r_2} \right)^{-1}; \\ \dots \dots \dots \\ \mu_n = \left(\frac{r_1}{r_n} + \frac{r_2}{r_n} + \frac{r_3}{r_n} + \dots + 1 \right)^{-1}. \end{matrix} \right\} \quad (8)$$

$$\mu^{низька}(u_1) = \frac{1}{1 + \frac{7}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9}} = 0.41$$

$$\mu^{низька}(u_2) = \frac{1}{\frac{9}{7} + 1 + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7} + \frac{1}{7}} = 0.32$$

$$\mu^{низька}(u_3) = \mu^{низька}(u_4) = \dots = \mu^{низька}(u_9) = \frac{1}{9 + 7 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 0.05$$

Аналогічно визначаються матриці парних порівнянь для термів «нижче середнього», «середня», «вище середнього», «висока».

Застосовуючи співвідношення (8) доотриманих матриць, отримуємо ступені належності:

$$\begin{matrix} \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_1) = 0.06; \\ \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_2) = 0.12; \\ \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_3) = 0.53; \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_4) = 0.06; \\ \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_5) = 0.06; \\ \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_6) = 0.06; \\ \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_7) = 0.06; \\ \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_8) = 0.06; \\ \mu^{нижче} \\ \mu^{середнього}(u_9) = 0.06; \\ \mu^{середня}(u_1) = 0.05; \\ \mu^{середня}(u_2) = 0.05; \\ \mu^{середня}(u_3) = 0.05; \\ \mu^{середня}(u_4) = 0.47; \\ \mu^{середня}(u_5) = 0.21; \\ \mu^{середня}(u_6) = 0.05; \\ \mu^{середня}(u_7) = 0.05; \\ \mu^{середня}(u_8) = 0.05; \\ \mu^{середня}(u_9) = 0.05; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_1) = 0.04; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_2) = 0.04; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_3) = 0.04; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_4) = 0.04; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_5) = 0.25; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_6) = 0.38; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_7) = 0.17; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_8) = 0.04; \\ \mu^{вище} \\ \mu^{середнього}(u_9) = 0.04; \\ \mu^{висока}(u_1) = 0.05; \\ \mu^{висока}(u_2) = 0.05; \\ \mu^{висока}(u_3) = 0.05; \\ \mu^{висока}(u_4) = 0.05; \\ \mu^{висока}(u_5) = 0.05; \\ \mu^{висока}(u_6) = 0.05; \\ \mu^{висока}(u_7) = 0.29; \end{matrix}$$

$$\mu^{висока}(u_8) = 0.43;$$

$$\mu^{висока}(u_9) = 0.05;$$

Отримані значення функцій належності про нормовані на одиницю шляхом ділення на найбільший ступінь належності. В результаті цього різні рівні індексу концентрації представляються у вигляді таких нечітких множин:

індекс концентрації «низький» =

$$= \left(\frac{1}{0.75}; \frac{0.78}{1.05}; \frac{0.11}{1.35}; \frac{0.11}{1.65}; \frac{0.11}{1.95}; \frac{0.11}{2.25}; \frac{0.11}{2.55}; \frac{0.11}{2.85} \right); i$$

індекс концентрації «нижче середнього» =

$$= \left(\frac{0.11}{0.75}; \frac{0.22}{1.05}; \frac{1}{1.35}; \frac{0.11}{1.65}; \frac{0.11}{1.95}; \frac{0.11}{2.25}; \frac{0.11}{2.55}; \frac{0.11}{2.85} \right);$$

індекс концентрації «середній» =

$$= \left(\frac{0.11}{0.75}; \frac{0.11}{1.05}; \frac{0.11}{1.35}; \frac{1}{1.65}; \frac{0.44}{1.95}; \frac{0.11}{2.25}; \frac{0.11}{2.55}; \frac{0.11}{2.85} \right);$$

індекс концентрації «вище середнього» =

$$= \left(\frac{0.11}{0.75}; \frac{0.11}{1.05}; \frac{0.11}{1.35}; \frac{1}{1.65}; \frac{0.44}{1.95}; \frac{0.44}{2.25}; \frac{0.11}{2.55}; \frac{0.11}{2.85} \right);$$

індекс концентрації «високий» =

$$= \left(\frac{0.11}{0.75}; \frac{0.11}{1.05}; \frac{0.11}{1.35}; \frac{0.11}{1.65}; \frac{0.11}{1.95}; \frac{0.11}{2.25}; \frac{0.67}{2.55}; \frac{1}{2.85} \right);$$

Отримані нечіткі множини описуються графіками на рис. 3.

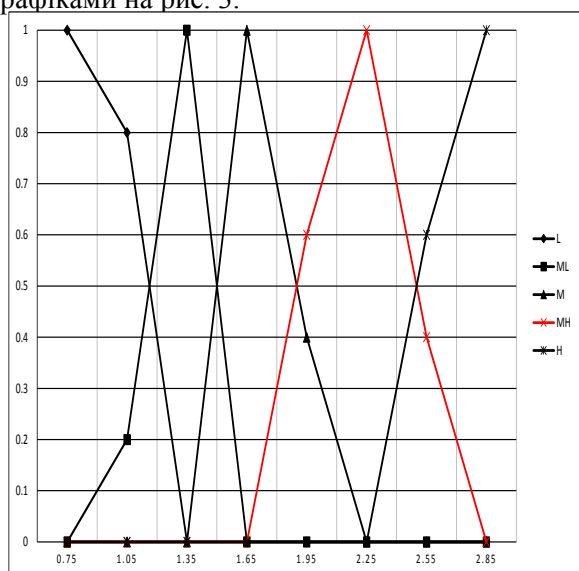


Рис. 3 – Функції належності індексу концентрації отримані методом парних порівнянь

На основі функцій належностей отриманих методом опитування експертів і методом парних порівнянь побудуємо зведений графік (рис. 4).

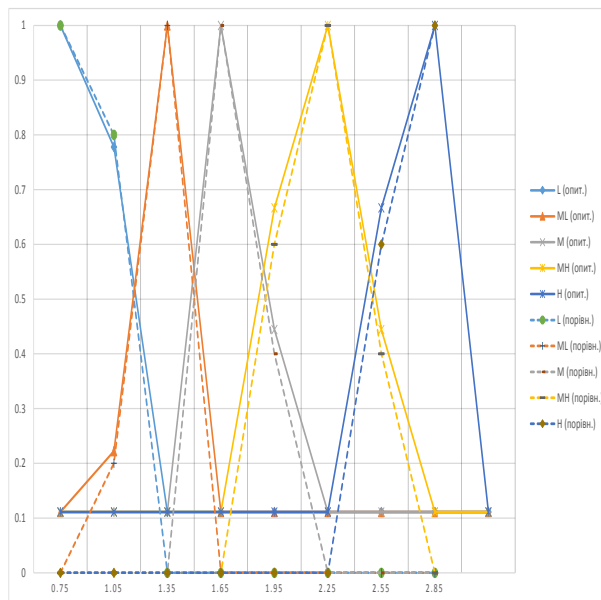


Рис. 4 – Зведені функції належності індексу концентрації отримані методами опитування експертів та парних порівнянь

ВИСНОВКИ

Оскільки метою оптимального керування процесом компримування природного газу є оптимізація режиму роботи КС виходячи із технічного стану газоперекачувального обладнання, постає питання ідентифікації технічного стану ГПА.

На основі опрацьованих думок експертів та співвідношень парного порівняння рангів за шкалою Сааті побудовано функції належності для узагальненого індексу концентрацій оксидів азоту і вуглецю. Проведено порівняння функцій належностей, яке показало відповідність між функціями належності отриманими різними способами

Література

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. – 259 с.

2. Костарева С.Н. Совершенствование методов диагностирования технического состояния газоперекачивающих агрегатов на основе данных производственного мониторинга: автореф. дис. на соскание науч. степ. канд. техн. наук. спец. 25.00.16 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» / С.Н. Костарева – Уфа, 2004. – 20 с.

3. Ефремова З. А., Кузьмина Л. И. Средства автоматизации конторських работ за рубежом // Средства вычислительной техники и оргтехники. – М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1986. - № 3. – С. 1-12

4. Байковский В.М., Дризовский Л.М., Меньшикова Л.А. Новые средства вычислительной техники за рубежом // Средства вычислительной техники и оргтехники .- М.:ЦНИИТЭИприборостроения, 1988. - № 4. – С. 95

5. Программы управления технологическими процессами // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – М.: ВНИИЭгазпром, 1988. - № 6. – С. 83

6. Семенов Г.Н. Метод вибору кількості термів для нечіткого опису базових змінних в F – перетворенні параметрів і показників процесу буріння свердловин / Семенов Г.Н., Фадєєва О.В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Ч.1. Т.1. – С.30 – 35.

7. Ротштейн О.П. Soft Computing в біології: багатифакторний аналіз і діагностика: Монографія / Ротштейн О.П., Ларюшкін Є.П., Мітюшкін Ю.І. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 144.с.

Поступила в редакцію 02.06.2016 р.

**Рекомендували до друку:
докт. техн. наук, проф. Райтер П. М.,
докт. техн. наук, проф. Заміховський Л. М.**