

УДК 519.816(045)

Н.Г. Рябчук, Л.А. Журавльова

## ПОБУДОВА ДІАГНОСТИЧНОГО РІШЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧИСЛОВИХ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

*Розглянуто технологію побудови групової оцінки експертів у випадку, коли індивідуальні оцінки експертів не є числовими. Технологію побудови групового рішення у цьому випадку ілюструють показані на схемах терм-множини та базові шкали вибраних лінгвістичних змінних. Наведена логічна модель і результати програмної реалізації*

Важливим джерелом інформації про стан повітряного корабля (ПК) є дані результатів діагностування під час технічного огляду (ТО) ПК. Саме на землі, під час ТО, можна виявити ознаки порушення нормального стану елементів конструкції ПК. Подібна інформація може бути отримана також з технічних звітів ремонтних підприємств.

Ознаки порушення нормального стану елементів конструкції ПК представлені переважно у вигляді описів, тобто кожне відхилення від нормального стану елемента характеризується одним або кількома вербальними визначеннями, наприклад, таким, як «підтікання мастила в трубопроводі». В свою чергу, сукупність ознак порушення нормального стану елемента конструкції ПК відображають певну ситуацію, яка може завершитися відмовою елемента (ланцюга елементів). Таким чином, стан елемента може бути описаний сукупністю понять, значеннями яких будуть різні ступені порушення нормального стану елементів, кожному з яких відповідатимуть певні ознаки. Сукупність понять, яка відбиває певні аспекти стану об'єкта дослідження, розуміють як терм-множину деякого узагальнюючого поняття. Таке узагальнююче поняття називають лінгвістичною змінною [1]. Терм-множина лінгвістичної змінної є сукупністю її можливих значень. Схема структури лінгвістичної змінної «порушення нормального стану елемента системи» показана на рис. 1.

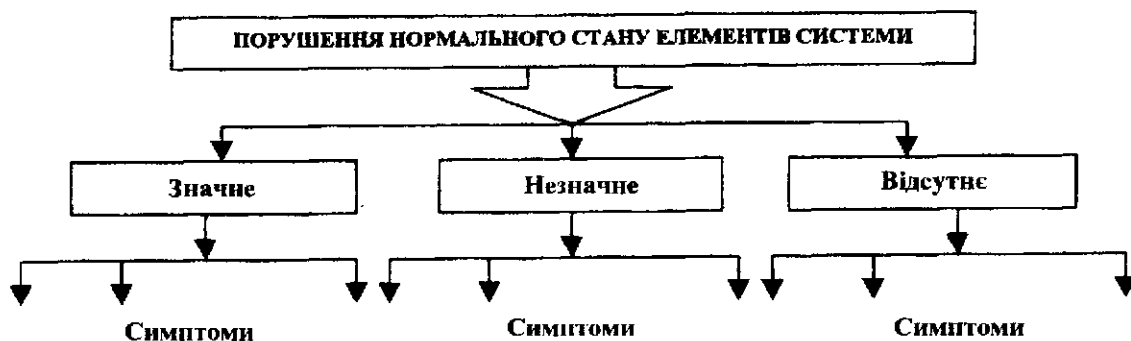


Рис. 1. Схема структури лінгвістичної змінної «порушення нормального стану елемента системи»

В свою чергу, порушення нормального стану елементів конструкції ПК можуть проявлятися неоднаково. У зв'язку з цим слід враховувати такі аспекти.

1. Не всі множини ознак є рівноцінними за своїми причинами. Деякі ознаки відображають наявність таких відмов і несправностей, які не є небезпечними за своїм впливом на безпеку польотів. Їх відносять до категорії допустимих відмов і вони практично

не порушують готовність ПК до польоту. Інші ознаки спричиняються відмовами і несправностями, які незначно знижують готовність ПК до польоту і можуть бути усунені без залучення додаткових трудових, матеріальних, часових та інших ресурсів. Ці відмови відносять до категорії умовно допустимих. Ще одна група ознак відображає наявність недопустимих відмов, які значною мірою знижують готовність ПК до польоту і можуть призвести до катастрофи. Таким чином, множина ознак, яка відображає певну категорію відмов, матиме ту ж вагу, що й відмова, яка породжує ознаки.

2. Ознаки порушення нормального стану елемента конструкції ПК, які належать до однієї множини, всередині однієї множини також не є рівноцінними. Це означає, що ознаки, які складають певну множину, необхідно розділити на декілька категорій. До першої категорії віднесемо ознаку, наявність якої однозначно визначає причину порушення нормального стану елемента. До другої категорії віднесемо таку ознаку, наявність якої не дає можливості однозначно визначити причину порушення нормального стану елемента і потребує наявності додаткових ознак. До третьої категорії віднесемо таку ознаку, наявність якої можна знехтувати. До четвертої – ознаку, наявність якої не дозволяє визначити причину її появи.

Такий розподіл ознак за категоріями дозволяє призначити кожній категорії лінгвістичне значення, яке визначатиме вагу ознаки в множині ознак. Схематично структура лінгвістичної змінної «вага ознаки» показана на рис. 2.



Рис. 2. Схема структури лінгвістичної змінної «вага ознаки»

3. Не всі ознаки однієї множини є рівноцінними за ступенем свого проявлення. Це означає, що незалежно від категорії ознаки можуть проявлятися значною мірою, незначно і не проявлятися. Розширюючи структуру поняття «вага ознаки», отримуємо субмножини кожної категорії ознак за ступенем їхнього проявлення. Схематично структура лінгвістичної змінної «вага ознаки» з врахуванням ступеня проявлення наведена на рис. 3.

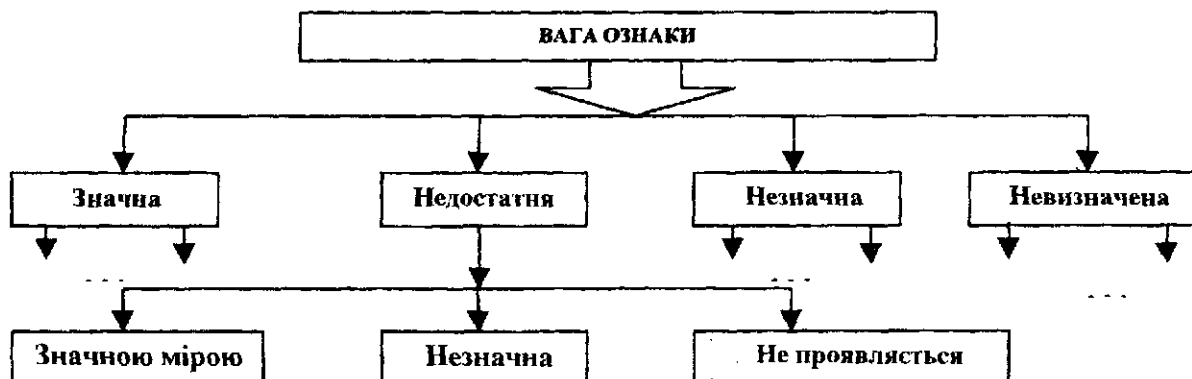


Рис. 3. Схема структури лінгвістичної змінної «вага ознаки» з врахуванням ступеня її проявлення

Фактори 1–3 призводять до необхідності формування числового еквівалента характеристики (властивості) ПК «порушення нормального стану елемента конструкції

ПК». Ця властивість, в залежності від виявленої множини ознак, набуватиме в кожному окремому випадку іншого значення. Звідси випливає, що формування числового еквівалента можливе шляхом побудови базової шкали власне лінгвістичної змінної і її складових. Отримані числові еквіваленти лінгвістичних змінних дозволяють здійснити діагностування стану елемента системи за сукупністю ознак шляхом моделювання. Розв'язання цієї задачі здійснюється за декілька етапів.

1. Побудова терм-множини лінгвістичної змінної «*порушення нормального стану елемента системи*».
  2. Побудова базової шкали лінгвістичної змінної «*порушення нормального стану елемента системи*».
  3. Визначення поля системи, тобто сукупності її складових елементів.
  4. Визначення наявних зв'язків (відношень) між елементами.
  5. Визначення сукупності можливих станів кожного елемента.
  6. Побудова каузального графа-моделі структури зв'язків (відношень) між елементами системи.
  7. Визначення сукупності ознак станів кожного елемента, ваг ознак, ступенів їхнього проявлення.
  8. Побудова терм-множини і базової шкали лінгвістичної змінної «*ступінь проявлення ознаки*».
  9. Визначення сукупності причинно-наслідкових (каузальних) зв'язків між станами елементів і побудова каузального графа-моделі станів системи.
  10. Формування ланцюгів розповсюдження відмови в системі.
  11. Формування сукупності логічних рівнянь, які відбивають діагностичне значення стану кожного елемента системи за допомогою симптомів.
- Як приклад на рис. 4 наведена базова шкала лінгвістичної змінної «*вага відмови*».

У межах цієї роботи як приклад наводиться процедура побудови діагностичного рішення щодо стану системи з трьох паливних баків за сукупністю ознак. Структура схеми, що досліджувалася, показана на рис. 5.

На першому етапі визначається поле системи, тобто сукупність її складових елементів. Перелік складових елементів системи і їхніх ідентифікаторів наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Перелік складових елементів системи і їхніх ідентифікаторів

Елемент	Ідентифікатор
Бак № 1	В1
Бак № 2	В2
Бак № 3	В3
Ділянка трубопровода перед баком №1	ДТ-01
Ділянка трубопровода між баками №1 і №2	ДТ-12
Ділянка трубопровода між баками №2 і №3	ДТ-23
Дренажна трубка	ДТ-30
Датчик паливоміра бака № 1	П1
Датчик паливоміра бака № 3	П3
Ділянка трубопроводу перед баком №3	ДТ-03

На другому етапі визначається наявність безпосередніх зв'язків між елементами системи. В табл. 2 показана структура зв'язків між елементами системи.

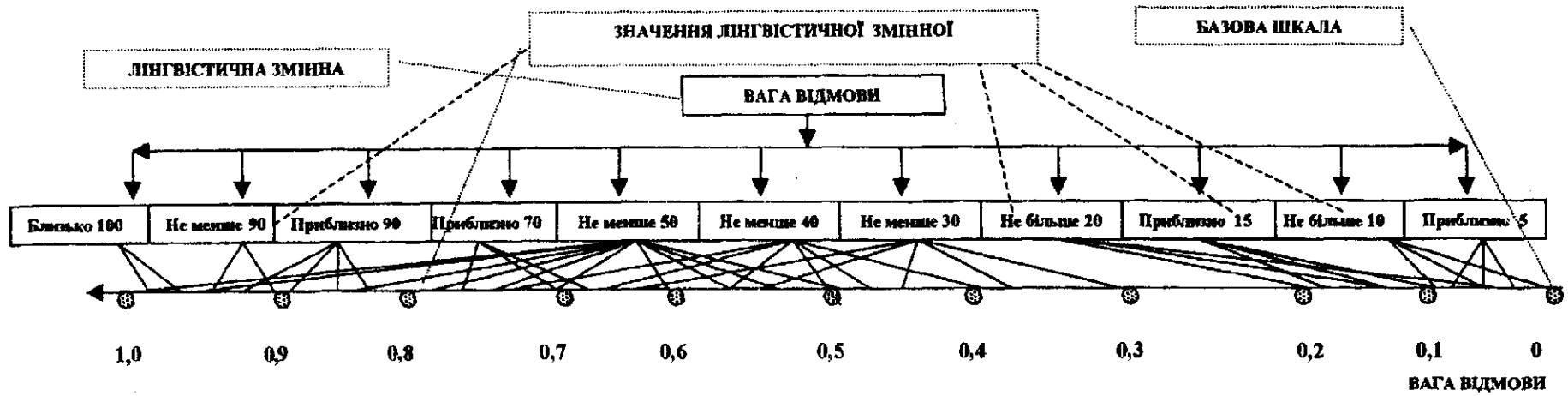


Рис. 4. Терм-множина і базова шкала лінгвістичної змінної «вага відмови»

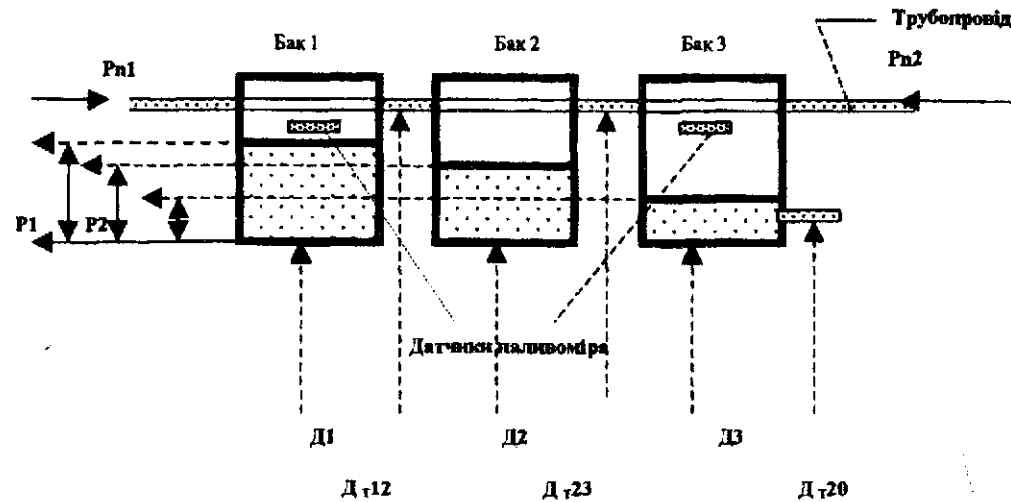


Рис. 5. Схема системи з трьох паливних баків

Таблиця 2

## Структура зв'язків між елементами системи

Елемент	B1	B2	B3	ДТ-01	ДТ-12	ДТ-23	ДТ-30	П1	П3	ДТ-03
B1	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-
B2	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
B3	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+
ДТ-01	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ДТ-12	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
ДТ-23	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
ДТ-30	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
П1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П3	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
ДТ-03	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-

На третьому етапі визначається сукупність можливих станів кожного елемента. Стан елемента визначається як його повна готовність до роботи або порушення працездатності. Для баків стан визначається рівнем палива (високий, середній, низький), а для ділянок трубопроводів – це наявність чи відсутність потоку палива в них. Інформацію про стани елементів системи зручно також подавати в табличній формі, проте, враховуючи обмеження на обсяг даної роботи, ця таблиця не наводиться.

Четвертий етап полягає в побудові графа-моделі структури системи, який відбиває наявність чи відсутність безпосередніх зв'язків між елементами. Основою для побудови графа-моделі структури системи є матриця зв'язків між елементами (табл. 2).

На п'ятому етапі визначаються можливі ознаки множини визначених раніше станів кожного елемента, їхньої «ваги» щодо однозначної ідентифікації стану та ступінь проявлення. Цю інформацію доцільно подати також в табличній формі. Фрагмент опису одного з елементів системи з трьох паливних баків ілюструє табл. 3.

Таблиця 3

## Опис стану елемента «Ділянка трубопроводу ДТ-01» за допомогою ознак

Елемент	Можливий стан	Безпосередні ознаки стану	Додаткові ознаки стану	Вага ознаки	Ступінь проявлення	Ідентифікатор
ДТ-01	1.1. Паливо проходить 1.2. Паливо не проходить	1.1. Немає 1.2. Немає	1.1. Високий рівень палива в Б1 1.2. Середній рівень палива в Б1 1.3. Низький рівень палива в Б1	0,1 0,5 0,9	1.1. Значною мірою 1.2. Те саме 1.3. Те саме	P01

На шостому етапі визначається сукупність причинно-наслідкових зв'язків, які відбивають взаємний вплив елементів. Процедура виявлення взаємних зв'язків полягає в попарному аналізі елементів системи на наявність чи відсутність взаємного впливу. Такий підхід дозволяє скористатися апаратом бінарних відношень і ввести відношення «впливає на

стан». Далі, пронумерувавши всі елементи, будемо матрицю відношень, в якій наявність зв'язку (відношення «впливає на стан») позначається одиницею, відсутність – нулем.

Сьомий етап полягає в побудові графа-моделі причинно-наслідкових зв'язків або каузального графа, який формується на основі матриці відношень. Каузальний граф-модель згаданої вище системи з трьох паливних баків показаний на рис. 6.

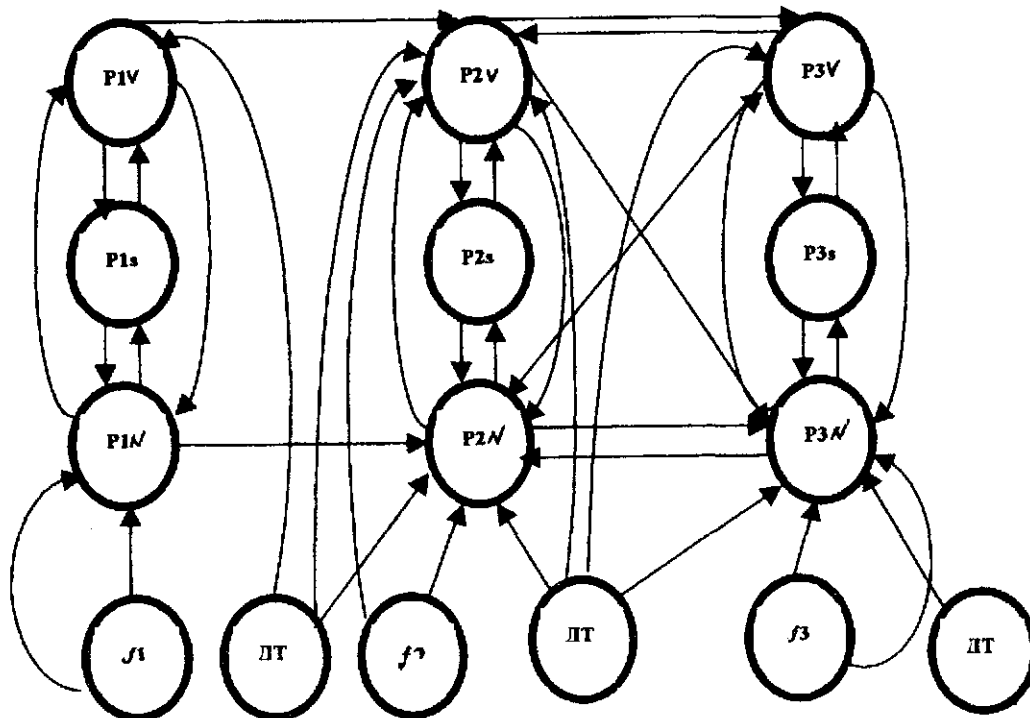


Рис. 6. Каузальний граф відношень між елементами

Наведений каузальний граф дозволяє виявити можливі ланцюги розповсюдження відмов і формалізувати їх у вигляді логічної моделі.

Діагностична оцінка стану системи є результатом розв'язання логічного рівняння виду:

$$\begin{aligned}
 & (\sim P_{01} \cap V_1 \cap \Pi_1 \cap P_{12} \cap V_2 \cap P_{23} \cap V_3 \cap P_{03} \cap P_{30} \cap \Pi_3) U (P_{01} \cap V_1 \cap \sim \Pi_1 \cap P_{12} \cap V_2 \cap P_{23} \cap V_3 \cap P_{03} \cap P_{30} \cap \Pi_3) \times \\
 & \times U (P_{01} \cap V_1 \cap \Pi_1 \cap \sim P_{12} \cap V_2 \cap P_{23} \cap V_3 \cap P_{03} \cap P_{30} \cap \Pi_3) U (P_{01} \cap V_1 \cap \Pi_1 \cap P_{12} \cap \sim V_2 \cap P_{23} \cap V_3 \cap P_{03} \cap P_{30} \cap \Pi_3) \times \\
 & \times U (P_{01} \cap V_1 \cap \Pi_1 \cap P_{12} \cap V_2 \cap \sim P_{23} \cap V_3 \cap \sim P_{03} \cap P_{30} \cap \Pi_3) U (P_{01} \cap V_1 \cap \Pi_1 \cap P_{12} \cap V_2 \cap P_{23} \cap \sim V_3 \cap P_{03} \cap \sim P_{30} \cap \Pi_3) \times \\
 & \times U (P_{01} \cap V_1 \cap \Pi_1 \cap P_{12} \cap V_2 \cap P_{23} \cap V_3 \cap P_{03} \cap \sim P_{30} \cap \sim \Pi_3) = S_n.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Вхідними даними для цих рівнянь є значення дискримінантних функцій для кожного елемента. Для побудови дискримінантних функцій приймемо, що максимальна кількість безпосередніх і додаткових ознак, необхідних для повної ідентифікації стану елемента, не більше трьох. Дискримінантні функції мають вигляд:

$$F_i(z) = \mu_i \lambda_{i1} x_1 + \mu_i \lambda_{i2} x_2 + \mu_i \lambda_{i3} x_3, \quad (2)$$

де  $x$  – вектор ознак  $i$ -го симптома порушення нормального стану елемента;  $\lambda_{ij}$  – коефіцієнти, які враховують вагу ознаки;  $\mu_i$  – функція належності ознаки множини базової шкали значень лінгвістичної змінної «вага ознаки» з врахуванням ступеня проявлення, яка враховує таку властивість, як контролепридатність.

Діагностичне рішення щодо стану системи визначається як значення лінгвістичної змінної «порушення нормального стану елемента конструкції ПК». Як впливає з

