

УДК 681.5:629.78

П.Ю. Керницький, ад'юнкт
Житомирський військовий інститут радіоелектроніки

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕЛИКИХ СИСТЕМ НА ПІДСТАВІ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Пропонується методика моделювання технічного стану та режимів функціонування елементів великих систем з використанням логіко-лінгвістичного методу. Значення лінгвістичних змінних телеметричних параметрів визначаються на підставі інформації експертів.

Для моделювання технічного стану та режимів функціонування елементів великих систем можна використовувати логіко-імовірнісний метод, що застосовується при розрахунках надійності складних структур, логічних приладів, а також технічної діагностики безперервних та комбінаційних об'єктів [1, 2]. Суть методу полягає в тому, що для кожного приладу складається логічна функція працездатності (ЛФП), яка являє собою рівняння. Одна частина цього рівняння виражає признак працездатного стану системи, а інша – умову працездатного стану, що записана мовою булевої алгебри.

Зручність використання булевих змінних зумовлена релейним характером більшої частини телеметричної інформації (ТМІ), з одного боку, та зручністю моделювання і обробки – з іншого.

Згідно з логіко-імовірнісним методом, i -й елемент системи вважається правильно функціонуючим, якщо для нього виконується водночас принаймні такі чотири умови:

- елемент працездатний (признак P_i);
- ввімкнене живлення елемента (признак B_i);
- елемент підключено до основного кола (признак K_i);
- вхідний або вихідний сигнал елемента має необхідне значення (признак C_i).

Звісно, признаки P_i, B_i, K_i, C_i можуть визначатися сукупністю параметрів.

Отже, фізичний еквівалент такого елемента можна представити у вигляді кон'юнктора з чотирма входами та одним виходом, а його ЛФП виразити булевою функцією

$$I_i = P_i \wedge B_i \wedge K_i \wedge C_i, \quad (1)$$

аргументи якої можуть приймати значення 0 або 1.

Очевидно, що для моделювання резервованих елементів системи слід використовувати диз'юнктори, на входи яких надходять значення ЛФП елементів $I_i, i = \overline{1, n}$, де n – кількість основних та резервних комплектів. В цьому випадку ЛФП резервованих елементів системи можна представити у вигляді:

$$I_i^\Sigma = I_1 \vee I_2 \vee \dots \vee I_n. \quad (2)$$

У випадку, коли система містить k елементів, з'єднаних послідовно,

$$I_\Sigma = \prod_{i=1}^k I_i^\Sigma. \quad (3)$$

Виходячи зі співвідношень (1), (2) та (3), ЛФП системи може приймати тільки два значення: 0 або 1. Тоді функцію технічного стану системи можливо записати у вигляді:

$$S = \begin{cases} 1, & I_\Sigma = 1, \\ 0, & I_\Sigma = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Логіко-імовірнісний метод можна використовувати в тому випадку, коли значення признаків P_i, B_i, K_i, C_i приймають тільки два значення: 0 або 1. Це цілком підходить до признаків K_i та B_i , що визначаються сигнальними (контактними) датчиками телеметричної системи. Значеннями 0 або 1 можна записати значення аналогових датчиків (признаки P_i та C_i), якщо аналізувати ці датчики за правилами “В допуску” – “Не в допуску”.

Для моделювання можливих відмов елементів системи та прогнозування їхніх наслідків признакам P_i, B_i, K_i, C_i у виразах (1)–(3) можна надати зміст імовірностей наступу відповідних подій. Крім того, як детермінованим, так і ймовірнісним признакам можна придати залежність від часу та отримати динамічну ЛФП. Для цього необхідно провести статистичну обробку значень признаков P_i та C_i за певний час та побудувати функції розподілення імовірності. Тоді вираз (4) приводиться до вигляду:

$$s(t) = \begin{cases} 1, & P(l_{\Sigma}) \geq P_n; \\ 0, & P(l_{\Sigma}) < P_n, \end{cases} \quad (5)$$

де $P(l_{\Sigma})$ – імовірність знаходження системи в певному стані; P_n – значення необхідної імовірності для правильного функціонування системи.

Незважаючи на зручність логіко-імовірнісного методу моделювання систем, він має деякі недоліки.

По-перше, не завжди імовірнісну величину можна описати математично. До того ж, на початковому етапі експлуатації великих систем, даних для якісного визначення функції розподілення може бути недостатньо. Тому, у відповідності до [3], статистичні методи можна застосовувати лише в тих задачах, для яких є відповідні імовірнісні розподілення.

По-друге, результати моделювання мають не досить зручний вигляд для оператора. Так, вирази типу “Імовірність того, що параметр A матиме значення B та буде знаходитись в допуску, дорівнює P ” або “Імовірність того, що система C буде працездатною, дорівнює P ” не дозволяють оператору скласти уявлення про тенденції поведінки як елементів системи, так і системи в цілому. Також не оцінюється те, в якій мірі значення параметра відповідає допуску.

По-третє, логіко-імовірнісний метод не дозволяє врахувати досвід експлуатації системи обслуговуючим персоналом. Висновок щодо технічного стану системи роблять ті, хто детально розуміється на принципах функціонування системи (розробники системи), або ті члени групи аналізу телеметричної інформації, які в цьому випадку виступають експертами щодо конкретної системи.

Тому, для врахування досвіду експертів при моделюванні елементів великих систем, пропонується використовувати логіко-лінгвістичний метод.

Основою логіко-лінгвістичного методу при моделюванні систем є теорія нечітких множин [4], що дозволяє формалізувати мовні описи, отримані від експертів, у вигляді математичних виразів та врахувати їх нечіткість через оцінки належностей та переваг. Математичний та логічний апарат алгебри нечітких множин направлений на пошук та оцінку переваг при виборі рішення A на базовій множині альтернатив X . Це відповідає тому психологічному факту, що при прийнятті рішення оператор завжди спирається на деяку структуру переваг [5].

Оцінкою переваг виступає функція належності (ФН) $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$, що ставить у відповідність кожному елементу $X_i \in X$, $i = \overline{1, N}$ (альтернативі) число $\mu_A(X_i)$, яке характеризує ступінь належності елемента X_i до рішення A . Основні властивості нечітких множин та операції над ними описані в роботах [6, 7].

Числове значення ФН визначається значенням лінгвістичної змінної, що задається набором $\{L(X), T(X), X, G, M\}$, де $L(X)$ – назва базової змінної X ; $T(X)$ – терм-множина; X – числове значення змінної; G – синтаксичне правило, що визначає мету та порядок оцінки змінної X ; M – семантичне правило, яке кожному $X_i \in X$ ставить у відповідність його зміст.

Для формування суб'єктивних оцінок, що виражаються за допомогою природної мови, використовуються такі розпливчасті категорії, як кваліфікатори, модифікатори, квантифікатори, дескриптори та прескриптори [8]. Кваліфікатори характеризують описовий, змістовний або функціональний признак об'єкта оцінки (“важливий”, “великий” тощо). Модифікатори, що можуть бути локалізуючими (“дуже”, “біля”) або порівняльними (“менш важлива”, “більш зручно”), уточнюють значення квантифікаторів. Квантифікатори описують кількість предметів або їх повторюваність (“декілька”, “багато”, “частина”). Дескриптори і

прескриптори використовуються для співвідношення признаков з об'єктами оцінки та між собою. Всі ці категорії складають основу терм-множини $T(X)$ та визначають чисельне значення ФН.

Для оцінки значень аналогових параметрів телеметричної інформації зручно використовувати логіко-лінгвістичний метод. Так, ФН $\mu_A : P \rightarrow [0, 1]$, ставить у відповідність до кожного значення параметра $P_i \in P$ число $\mu_A(P_i)$, що характеризує ступінь належності значення параметра P_i допуску A_i . ФН $\mu_{A_i}(P_i)$ для кожного окремого параметра P_i будується шляхом опиту експертів, які мають досвід розробки або експлуатації системи.

У відповідності до логіко-лінгвістичного метода, вирази (1)–(3) матимуть вигляд:

$$\mu_L^i(\tilde{T}_i) = \mu_{A_i}(P_i) \wedge \mu_{B_i}(C_i) \wedge B_i \wedge K_i; \tag{6}$$

$$\mu_L^\Sigma(\tilde{T}_i) = \mu_L^1(\tilde{T}_i) \vee \mu_L^2(\tilde{T}_i) \vee \dots \vee \mu_L^n(\tilde{T}_i); \tag{7}$$

$$\mu_S(\tilde{L}_\Sigma) = \prod_{i=1}^k \mu_L^\Sigma(\tilde{T}_i), \tag{8}$$

де: $\mu_{A_i}(P_i)$ – ФН значення нечіткої величини P_i допуску A_i ; $\mu_{B_i}(C_i)$ – ФН значення нечіткої величини C_i допуску B_i ; $\mu_L^i(\tilde{T}_i)$ – ФН значення працездатності \tilde{T}_i i -го елемента системи множини станів елемента L ; $\mu_L^\Sigma(\tilde{T}_i)$ – ФН значення \tilde{T}_i сукупності n резервованих елементів множини станів елемента L ; k – кількість елементів в системі; $\mu_S(\tilde{L}_\Sigma)$ – ФН значення \tilde{L}_Σ станів системи S . Терм-множина лінгвістичної змінної S “Працездатність системи” $T(S)$ може приймати значення {нормальна, близька до відмови, відмова}.

Виходячи з цього, лінгвістична змінна S природною мовою описує технічний стан системи. Крім того, нечіткі величини P_i та C_i враховують похибки вимірювань, можливий вплив середовища на функціонування системи та досвід експертів щодо управління системою.

У вигляді прикладу розглянемо логіко-лінгвістичну модель технічного стану одного з блоків радіофізичної апаратури, яку встановлюють на літаках або штучних супутниках Землі.

Комплексу радіофізичної апаратури (РФА) призначений для отримання радіолокаційного та радіояркісного (радіотеплового) зображення підстильної поверхні Землі [9].

Конструктивно в комплект апаратури РФА входять такі блоки [9]:

- надвисокочастотний (НВЧ) РМ E_1 ;
- вторинного джерела живлення E_2 ;
- низькочастотний РМ E_3 ;
- інші спеціальні блоки E_i .

Розглянемо більш детально блок НВЧ РМ E_1 . Перелік значень параметрів ТМІ блока E_1 , згідно з технічним описом апаратури РФА [9] та інструкцією з експлуатації [10], представлено в табл. 1. Також в цій таблиці представлена можлива інтерпретація телеметричних параметрів відповідно до признаков логіко-лінгвістичного методу моделювання технічного стану.

Таблиця 1

Індекс параметра	Значення параметра	Стан, режим роботи бортової апаратури	Признак
ТГРМ	2,6...5 В	Гетеродин РМ 0,8 включено, струм гетеродина в допуску	P_1
ТКРМ	2,5...4,5 В	Калібратор включено, струм калібратора в допуску	P_2
ТДРМ	3,7±1 В	Струм діода параметричного підсилювача в допуску	P_3
ТАРМ	2...5 В	Струм управління антеною РМ 0,8 в допуску	P_4
ТРМ	2,3...5,5 В	Температура параметричного підсилювача РМ 0,8 в допуску	P_5
КРМ	0,5...3 В	Вихідний сигнал апаратури в допуску	C_1

Закінчення таблиці 1

КСРМ	2...6 В	Антенa РМ 0,8 сканує	C_2
ВТРМ	1	Термостат РМ 0,8 включено	K_1
ВРМ	1	Апаратуру РМ 0,8 включено	B
КУ1	1	Зміщення 1 в РМ 0,8 включено	K_2
КУ2	1	Зміщення 2 в РМ 0,8 включено	K_3
КУ3	1	Зміщення 3 в РМ 0,8 включено	K_4
ДГ-8	500–960 мм. рт. ст.	Тиск газу в блоці РМ 0,8 в допуску	P_6
Т71	-49...50 °С	Температура дзеркала АФП РМ 0,8 в допуску	P_7
Т73	-49...40 °С	Температура блока E_1 в допуску	P_8

З табл. 1 видно, що телеметрична інформація щодо технічного стану та режимів функціонування блока E_1 складається зі значень 15 датчиків, серед яких 5 – сигнальні, решта – аналогові. Крім того, параметри КУ1 – КУ3 визначають режим функціонування апаратури.

Таким чином, ЛФП I_{E_1} блока E_1 можна представити у такому вигляді:

$$I_{E_1} = B \wedge K_1 \wedge C_1 \wedge C_2 \wedge \prod_{i=1}^8 P_i . \tag{9}$$

Значення сигналів C_i та P_i є аналоговими. Згідно з логіко-лінгвістичним методом моделювання, для них необхідно визначити лінгвістичні змінні.

Визначимо лінгвістичну змінну параметра \tilde{P}_1 – ТГРМ. $L(\tilde{P}_1)$ – “Струм гетеродина в допуску”; $T(\tilde{P}_1) = \{\text{середнє значення, між середнім значенням і межами, за межами допуску}\}$; семантичне правило M визначається функцією належності значення параметра ТГРМ діапазону $A_1 = 2,6...5$ В. Припустимо, ФН параметра ТГРМ $\mu_{A_1}(\tilde{P}_1)$ має таку належність значень параметра діапазону A_1 , що діапазон A_1 , згідно з $T(\tilde{P}_1)$, розбивається на три відрізки, тобто отримуємо перелік семантичних правил типу:

- а) “Середнє значення” – $3,4 < \mu_{A_1}(\tilde{P}_1) < 4,2$ В;
- б) “Між середнім значенням і межами” – $2,6 < \mu_{A_1}(\tilde{P}_1) \leq 3,4$ В або $4,2 \leq \mu_{A_1}(\tilde{P}_1) < 5$ В;
- в) “За межами допуску” – $\mu_{A_1}(\tilde{P}_1) \leq 2,6$ В або $\mu_{A_1}(\tilde{P}_1) \geq 5$ В.

Графічно ФН лінгвістичної змінної параметра \tilde{P}_1 може мати вигляд, представлений на рис. 1.

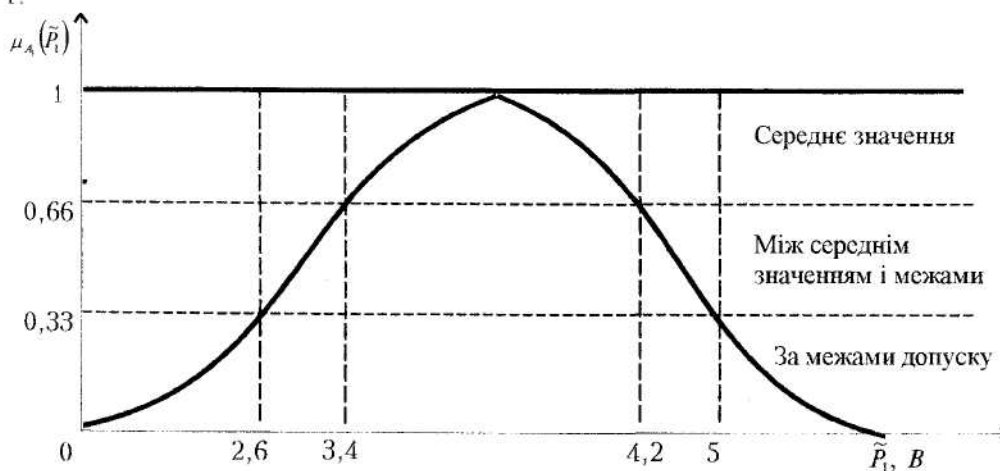


Рис. 1. Вигляд ФН лінгвістичної змінної параметра \tilde{P}_1 – ТГРМ

Визначення ФН лінгвістичних змінних \tilde{P}_i, \tilde{C}_i потребує подальших досліджень. В дійсності, вигляд ФН цілком залежить від поглядів експертів та може приймати різноманітний вигляд. Зразки можливих ФН наведені на рис. 2.

За аналогічною методикою можна визначити лінгвістичні змінні признаков $\tilde{P}_2 \dots \tilde{P}_8, \tilde{C}_1, \tilde{C}_2$ у відповідності з допущами $A_2 \dots A_8, B_1, B_2$. Тоді вираз (9) буде записано у вигляді:

$$\mu_{s_{E_1}}(\tilde{I}_{E_1}) = B \wedge K_1 \wedge \mu_{B_1}(\tilde{C}_1) \wedge \mu_{B_2}(\tilde{C}_2) \wedge \prod_{i=1}^8 \mu_{A_i}(\tilde{P}_i). \quad (10)$$

Для розв'язання виразу (10) необхідно визначити операцію композиції "І" (\wedge) для ФН. З [11] відомо, що операція "І" може мати зміст мінімального значення ФН одного з показників:

$$\mu_A(P) \wedge \mu_B(C) = \min(\mu_A(P), \mu_B(C)).$$

Зрозуміло, якщо одне зі значень B, K_1 прийматиме значення "0", то результатом обчислення виразу (10) також буде "0".

Далі, для оцінки технічного стану блока E_1 , необхідно визначити лінгвістичну змінну \tilde{I}_{E_1} : $I(\tilde{I}_{E_1})$ – "Працездатність блока E_1 "; $T(\tilde{I}_{E_1}) = \{\text{нормальна, близька до відмови, відмова}\}$; семантичне правило M може визначатися лінійною функцією належності значення \tilde{I}_{E_1} діапазону $s_{E_1} = 0 \dots 1$. Тоді діапазон s_{E_1} , згідно з $T(\tilde{I}_{E_1})$, розбивається на три відрізки, тобто отримуємо перелік семантичних правил типу:

- а) "Нормальна" – $0,66 < \mu_{s_{E_1}}(\tilde{I}_{E_1}) \leq 1$;
- б) "Близька до відмови" – $0,33 < \mu_{s_{E_1}}(\tilde{I}_{E_1}) \leq 0,66$;
- в) "Відмова" – $0 \leq \mu_{s_{E_1}}(\tilde{I}_{E_1}) \leq 0,33$.

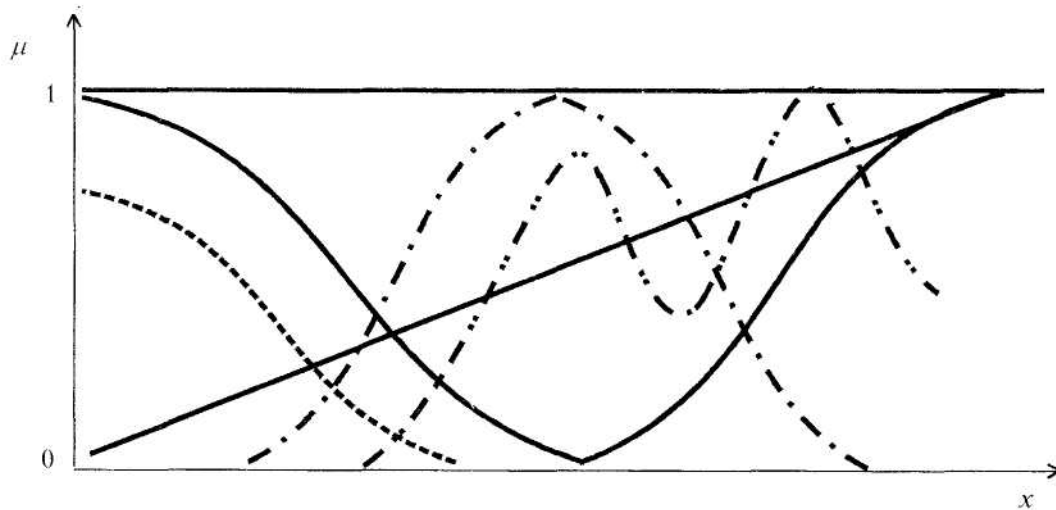


Рис. 2. Можливі види ФН

Для визначення режиму роботи блока E_1 необхідно враховувати значення параметрів $K_2 \dots K_4$:

- 1) $s_{E_1}^1 = \mu_{s_{E_1}}(\tilde{I}_{E_1}) \wedge K_2$ – "Зміщення 1 в РМ 0,8 включено";
- 2) $s_{E_1}^2 = \mu_{s_{E_1}}(\tilde{I}_{E_1}) \wedge K_3$ – "Зміщення 2 в РМ 0,8 включено";
- 3) $s_{E_1}^3 = \mu_{s_{E_1}}(\tilde{I}_{E_1}) \wedge K_4$ – "Зміщення 3 в РМ 0,8 включено".

Внаслідок перетворень отримаємо вираз для визначення ЛФН s_{E_1} блока E_1 , що враховує як технічний стан, так і режим роботи апаратури:

$$s_{E_1} = s_{E_1}^1 \vee s_{E_1}^2 \vee s_{E_1}^3. \quad (11)$$

Результатом обчислення виразу (11) може бути терм: “Працездатність блока E_1 _нормальна зміщення 1 в РМ 0,8 включено”.

За даним методом моделювання можна отримати вирази для ЛФП, як окремого елемента системи s_{RFA} , так і для всієї системи в цілому s_{SYS} :

$$s_{RFA} = s_{E_1} \wedge s_{E_2} \wedge s_{E_3} \wedge \dots \wedge s_{E_i} = \prod_{i=1}^n s_{E_i}; \quad (12)$$

$$s_{SYS} = s_{RFA} \wedge s_1 \wedge \dots \wedge s_j = \prod_{j=1}^k s_j, \quad (13)$$

де n – кількість блоків апаратури РФА (блоків елемента системи); k – кількість елементів системи.

Таким чином, логіко-лінгвістичний метод моделювання дозволяє на конкретний момент часу отримати значення технічного стану системи $s_{SYS}(t) \in S$ у зручному вигляді природною мовою, що призводить до зменшення часу на оцінку ситуації та на прийняття рішення. Крім того, логіко-лінгвістичне моделювання технічного стану елементів систем дозволяє використовувати отримані моделі в АСУ з елементами штучного інтелекту, зокрема, в системах підтримки прийняття рішень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Гаспаров Д.В., Голикевич Т.А., Мозгалеvский А.В.* Прогнозирование технического состояния и надежности РЭА. – М.: Сов. радио, 1974.
2. *Левин В.И.* Логическая теория надежности сложных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. *Де Гроот М.* Оптимальные статистические решения. – М.: Мир, 1974. – 491 с.
4. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
5. *Шатино Д.И.* Принятие решений в системах организационного управления: использование расплывчатых категорий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
6. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
7. *Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
8. *Поспелов Д.А.* Логико-лингвистические модели в системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 232 с.
9. Комплекс радиофизической аппаратуры. Техническое описание.
10. Комплекс радиофизической аппаратуры. Инструкция по эксплуатации.
11. *Трахтенгерц Э.А.* Методы генерации, оценки и согласования решений в распределенных системах поддержки принятия решений / Автоматика и телемеханика, 1995. – № 4. – С. 3–52.

КЕРНИЦЬКИЙ Павло Юрійович – ад’юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки імені С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- штучний інтелект;
- програмування.

Подано 23.11.1999.