

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУЮЧОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОСМІЧНОГО АПАРАТА НА ПІДСТАВІ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

(Представлено к.т.н. А.І. Бобуновим)

Пропонується та демонструється на прикладі нештатних ситуацій новий метод прогнозування на основі експертної інформації про закономірності, які можна отримати за допомогою експериментальних даних.

При використанні складних технологічних систем виникає потреба прогнозування якості їх функціонування. Застосування аналітичних методів прогнозування іноді ускладнено через нестачу статистичної інформації.

Розробці математичних моделей прогнозування присвячена велика кількість досліджень. Найбільш розповсюджені методи, що побудовані на базі ймовірно-статистичного апарата, однак їх використання потребує значної кількості експериментальних даних, які не завжди можливо отримати.

В останній час виникла зацікавленість до використання в задачах прогнозування штучних нейронних мереж. Вони розглядаються як близькі до мозку людини універсальні моделі, які навчаються розпізнаванню невідомих закономірностей. Однак, як і у випадку ймовірно-статистичних методів, для навчання нейронних мереж потрібна велика вибірка експериментальних даних [5].

В цій роботі пропонується підхід до прогнозування, що з'єднує експериментальні дані про кількість нештатних ситуацій на борту космічного апарата (КА) з експертно-лінгвістичною інформацією про закономірності, які вдається отримати за допомогою існуючих даних.

Використання експертно-лінгвістичних закономірностей, що формалізуються за допомогою нечіткої логіки, дозволяє побудувати модель прогнозування в умовах малих експериментальних вибірок. Запропонований підхід схожий з так званим "нейронно-нечітким" підходом, який з'єднує здібності нейронних мереж до навчання. Однак, на відміну від "нейронно-нечіткого" підходу, тут не використовується нейронна мережа для навчання моделі прогнозу, а безпосередньо налаштовуються нечіткі правила ЯКЦО-ТО за допомогою існуючих експериментальних даних.

Розглядається інформація про кількість нештатних ситуацій на борту космічного апарата за даними ЦУП КА м. Євпаторія за період з 1996 по 1999 рік (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість нештатних ситуацій на борту КА з 1996 по 1999 рік

Квартал	1	2	3	4	5	6	7	8
Кількість нештатних ситуацій	109	143	161	136	161	163	213	220
Квартал	9	10	11	12	13	14	15	16
Кількість нештатних ситуацій	162	194	164	196	245	252	240	225

Аналізуючи динаміку зміни кількості нештатних ситуацій, легко визначити річні цикли, які будемо позначати таким чином:

$$(\dots x_4^{i-1})(x_1^i x_2^i x_3^i x_4^i)(x_1^{i+1} \dots),$$

де i – номер циклу; x_n^i – кількість нештатних ситуацій.

Уведені позначення будуть використані в подальшому при формуванні закономірностей, які необхідні для прогнозування.

Закономірності, які зображені на рис. 1, легко записати звичайною мовою у вигляді 4-х експертних висловлювань. Ці висловлювання є правилами ЯКЦО-ТО, які пов'язують нештатні ситуації в i -му та $(i+1)$ -му циклах:

F₁:

Якщо $X_1^i =$ низька,
 то $X_3^i =$ нижче середнього.
 Якщо $X_1^i =$ нижче середнього,
 то $X_2^i =$ нижче середнього,
 то $X_3^i =$ вище середнього.

F₂:

Якщо $X_1^i =$ низька
 та $X_2^i =$ нижче середнього,
 то $X_4^i =$ низька.
 Якщо $X_1^i =$ нижче середнього
 та $X_2^i =$ нижче середнього,
 то $X_4^i =$ вище середнього.

Якщо X_1^i = нижче середнього
та X_2^i = середне,
то X_3^i = нижче середнього.
Якщо X_1^i = висока
та X_2^i = висока,
то X_3^i = висока.

Якщо X_1^i = нижче середнього
та X_2^i = середне,
то X_4^i = середня.
Якщо X_1^i = висока
та X_2^i = висока,
то X_4^i = вище середнього.

F₃:

Якщо X_{40}^i = низька,
то X_{11}^{i+1} = нижче середнього.
Якщо X_4^i = вище середнього
та X_{11}^{i+1} = нижче середнього,
то X_{11}^{i+1} = висока.

F₄:

Якщо X_4^i = низька
та X_{11}^{i+1} = нижче середнього,
то X_{12}^{i+1} = нижче середнього.
Якщо X_4^i = вище середнього
та X_{11}^{i+1} = нижче середнього,
то X_{12}^{i+1} = середня.
Якщо X_4^i = середня
та X_{11}^{i+1} = висока,
то X_{12}^{i+1} = висока.

Для використання експертно-лінгвістичних висловлювань F₁–F₄ застосуємо апарат теорії нечітких множин. Згідно з цією теорією, лінгвістичні оцінки "низький", "нижче середнього" та інші формалізуються за допомогою функцій належності. Визначимо ці функції таким чином:

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}, \tag{1}$$

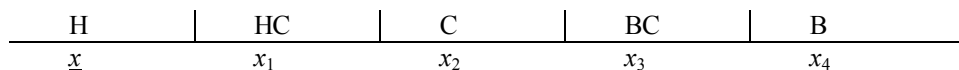
де b і c – параметри, які спочатку вибираються експертом, а потім налаштовуються на експериментальні дані; $\mu^T(x)$ – число в діапазоні [0...1], що характеризує суб'єктивну міру відповідності значення X лінгвістичній оцінці T .



Рис. 1. Динаміка зміни кількості нештатних ситуацій

Вибрані експертом параметри b і c для різних лінгвістичних оцінок, які використані в правилах F₁–F₄, наведені в табл. 2. Отримані при цьому функції належності представлені на рис. 2.

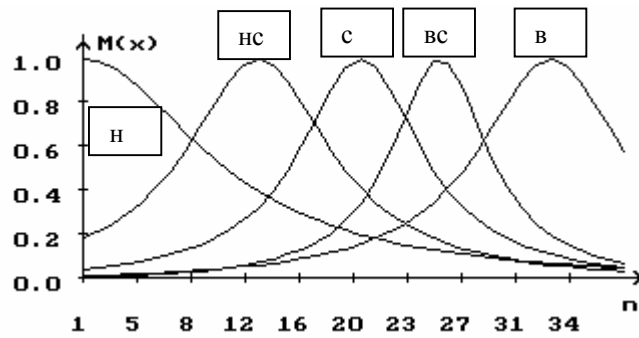
Позначимо $[X \dots X]$ діапазон можливих значень кількості нештатних ситуацій. Розіб'ємо цей діапазон на 5 частин:



Таблиця 2

Значення параметрів функцій належності

Лінгвістичні оцінки змінних $X_1^i - X_4^i$	Параметри до настройки		Параметри після настройки	
	b	c	b	c
Низька	100	50	100	14
Нижче середнього	160	30	146	21
Середня	195	25	195	7
Вище середнього	222	20	234	19
Висока	260	30	251	36



Ρις. 2. Φυκτίι νλεζνυτί δο ναστρούκι

Τοδί, υκορυστουόυχι υβεδένι ν τεορού νετίκυι μνουκιν οπεράτί *min* (I), *max* (ΑΒΟ) τα πρινυίπ ζυα-ζυενόυ σύμι δυά περետυορέννυ φυκτίι νλεζνυτί δο τίκυο υνυά, μοζνυ ζαπυςατι μοδελυ προγνοζυαν-νυ υ τακου υγλυδί:

$$F_1:$$

$$x_3^i = \frac{x_1 \mu^{HC}(x_3^i) + x_3 \mu^{ec}(x_3^i) + x_4 \mu^e(x_3^i)}{\mu^{HC}(x_3^i) + \mu^{ec}(x_3^i) + \mu^e(x_3^i)},$$

$$\mu^{HC}(x_3^i) = \max \left(\begin{matrix} \min(\mu^H(x_1^i), \mu^{HC}(x_2^i)), \\ \min(\mu^{HC}(x_1^i), \mu^C(x_2^i)) \end{matrix} \right),$$

$$\mu^{ec}(x_3^i) = \min(\mu^{HC}(x_1^i), \mu^{HC}(x_2^i)),$$

$$\mu^e(x_3^i) = \min(\mu^e(x_1^i), \mu^e(x_2^i));$$

F₂:

$$x_4^i = \frac{x_1 \mu^H(x_4^i) + x_2 \mu^C(x_4^i) + x_3 \mu^{ec}(x_4^i)}{\mu^H(x_4^i) + \mu^C(x_4^i) + \mu^{ec}(x_4^i)},$$

$$\mu^H(x_4^i) = \min(\mu^H(x_1^i), \mu^{HC}(x_2^i)),$$

$$\mu^C(x_4^i) = \min(\mu^{HC}(x_1^i), \mu^C(x_2^i));$$

F₃:

$$x_1^{i+1} = \frac{x_1 \mu^{HC}(x_1^{i+1}) + x_4 \mu^e(x_1^{i+1})}{\mu^{HC}(x_1^{i+1}) + \mu^e(x_1^{i+1})},$$

$$\mu^{HC}(x_1^{i+1}) = \max(\mu^H(x_4^i), \mu^{ec}(x_4^i)),$$

$$\mu^e(x_1^{i+1}) = \mu^C(x_4^i);$$

F₄:

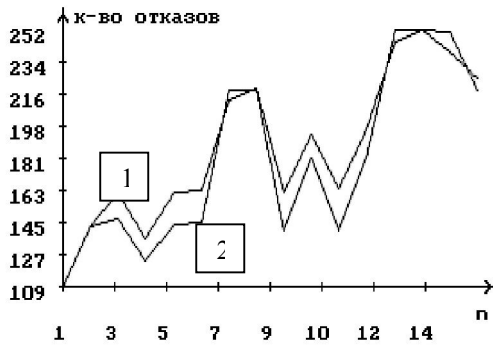
$$x_2^{i+1} = \frac{x_1 \mu^{HC}(x_2^{i+1}) + x_2 \mu^C(x_2^{i+1}) + x_4 \mu^e(x_2^{i+1})}{\mu^{HC}(x_2^{i+1}) + \mu^C(x_2^{i+1}) + \mu^e(x_2^{i+1})},$$

$$\mu^{HC}(x_2^{i+1}) = \min(\mu^H(x_4^i), \mu^{HC}(x_1^{i+1})),$$

$$\mu^C(x_2^{i+1}) = \min(\mu^{ec}(x_4^i), \mu^{HC}(x_1^{i+1})),$$

$$\mu^e(x_2^{i+1}) = \min(\mu^C(x_4^i), \mu^e(x_1^{i+1})).$$

Ζα δοπομοόυ οτρυνανόυ μοδελί μοζνυ γρυβο προγνοζυατι κίλυκτυ νεштатнιυ σύτυατί, υκ ποζαζα-νο να ρις. 3. Δυά πύδυυζέννυ τουκνυτί προγνοζυο νεουβήδυο ναστρούτι μοδελυ.



1 – статистика; 2 – прогноз

Рис. 3. Прогноз кількості нештатних ситуацій до настройки

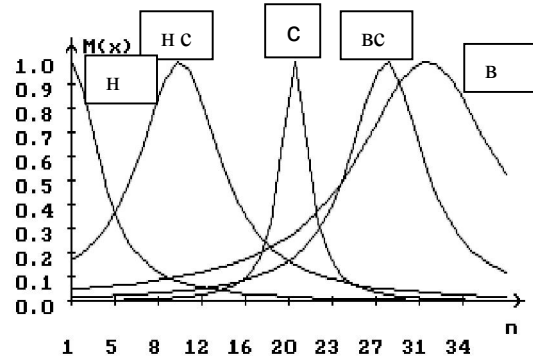


Рис. 4. Функції належності після настройки

Задача настройки полягає у підборі таких параметрів b і c функцій належності лінгвістичних оцінок (рис. 2), які забезпечать мінімум розходжень між теоретичними та експериментальними даними. У відповідності до методу найменших квадратів, ця задача формулюється таким чином: знайти такі параметри b і c , при яких:

$$\sum_{i=1}^N (x_3^i - x^{i_3})^2 + \sum_{i=1}^N (x_4^i - x^{i_4})^2 + \sum_{i=1}^N (x_1^i - x^{i+1_1})^2 + \sum_{i=1}^N (x_2^{i+1} - x^{i+1_2})^2 = \min_{b,c}, \quad (2)$$

де $x_3^i, x_4^i, x_1^{i+1}, x_2^{i+1}$ – кількість нештатних ситуацій, які отримані за допомогою прогнозу і залежать від параметрів b і c функцій належності; $x^{i_3}, x^{i_4}, x^{i+1_1}, x^{i+1_2}$ – експериментальна кількість нештатних ситуацій; N – кількість циклів, використаних для настройки моделі.

Після настройки моделі при $N = 3$, що відповідає використанню даних 1996–1998 років, отримані параметри функцій належності, які зведені в табл. 2.

Функції належності після настройки наведені на рис. 5. В розрахунку були використані такі значення: $\bar{x} = 100, x_1 = 140, x_2 = 180, x_3 = 210, x_4 = 232$.

Застосування настроєних функцій належності дозволяє отримати модель прогнозування, що близька до експериментальних даних (рис. 5). Близькі результати теорії та експерименту свідчать про високу якість побудованої моделі прогнозування. Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними, а також прогноз кількості нештатних ситуацій на борту космічного апарата на 2000 рік представлені на рис. 5 та у таблиці 3.



Рис. 5. Прогноз кількості нештатних ситуацій після настройки

Таблиця 3

Результати прогнозування та помилка

статистика	109	143	161	136	161	163	213	220	162	194
прогноз	109	143	160	136	163	160	215	222	160	191
помилка	0	0	1	0	2	3	2	2	2	3
статистика	164	196	245	252	240	225	–	–	–	–
прогноз	160	193	241	249	243	222	180	186	181	196
помилка	4	3	4	3	3	3	–	–	–	–

Використання експертної інформації у вигляді мовних правил ЯКЩО–ТО, що формалізуються за допомогою нечіткої логіки, дозволяє будувати моделі прогнозу при малих (в порівнянні зі статичними методами) вибірках експериментальних даних. Функції належності нечітких термів можуть настроюватися по мірі отримання нових експертних даних.

Запропонований метод може застосовуватись для прогнозування дискретних послідовностей в економіці, соціології, фізико-технічних напрямках та інших областях.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хубка В. Теорія технічних систем. – М.: Мир, 1987. – 208 с.
2. Джонсон Н., Ліон Ф. Статистика та планування експерименту в техніці та науці. – М.: Мир, 1981. – 516 с.
3. Городецький В. Елементи теорії випробувань та контролю технічних систем. – М.: Енергія, 1978. – 191 с.
4. Бережной В. Визначення причин відмов РЕА. – М.: Радіо, 1978. – 191 с.
5. Ротштейн О. Інтелектуальні технології ідентифікації. Нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. – Вінниця: “Універсум – Вінниця”, 1999. – 320 с.

ПОЛОНСЬКИЙ Сергій Васильович – курсант 5-го курсу Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

- прогнозування технічного стану складних систем;
- моделювання та розв’язок задач за допомогою обчислювальної техніки.

Подано 25.09.2000