

## ДІАГНОСТИКА СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ НЕРЕГУЛЯРНИХ ДЕСТРУКТИВНИХ ВПЛИВІВ

В роботі запропонований підхід для оцінки стану системи в залежності від випадкових ознак, які не носить масового характеру, але пов'язані з станами системи і визначаються на основі знань групи експертів (суб'єктивних ймовірностей). На основі суб'єктивної ймовірності ознак розроблена експертна система, яка є інструментом діагностики стану складної системи.

**Ключові слова:** суб'єктивна ймовірність, експертна оцінка, деструктивні впливи

**Bondarenko V. Ye, Letuchyi S. O. Diagnostics of complex technical systems in conditions of irregular destructive influences.** Last several years we can see the intensive development of complex systems. Such development generates a lot of publications, giving a theoretical basis for building expert systems. These expert systems find the connection between states of a complex system and its indications. Received knowledge allows making appropriate decisions of the accident-free management. As a rule, destructive actions and harmful influences are random in the system. The analysis of such indicators on the base of the probability theory meets serious difficulties. These difficulties identified by the fact that the indicators are not systematic and do not have a mass character. Therefore, this paper describes an approach for assessing of systems states with the help of the random indicators. These indicators do not have a mass character but related to the states of the system. The appearance of such indicators is assessed on the base of knowledge of the expert group (subjective probability). The states of a complex system are diagnosed on the basis of the subjective probability of the indicators. Based on the proposed theory, an expert system for diagnosing the states of complex technical systems was developed.

**Keywords:** subjective probability, expert estimation, destructive influences.

**Бондаренко В. Е., Летучий С. А. Диагностика сложных технических систем в условиях нерегулярных деструктивных влияний.** В работе предложен подход для оценки состояния системы в зависимости от случайных признаков, которые не носит массового характера, но связанные с состоянием системы и определяются на основе знаний группы экспертов (субъективных вероятностей). На основе субъективной вероятности признаков разработана экспертная система, которая является инструментом диагностики состояния сложной системы.

**Ключевые слова:** субъективная вероятность, экспертная оценка, деструктивные влияния

### Вступ

Діагностика стану сучасних складних систем (телекомунікаційні і енергетичні мережі, електростанції і т.п.), особливо в умовах обмеження часу, являється однією з найскладніших проблем, вирішення якої часто знаходиться за межами фізичних можливостей людини. Тому, з розвитком таких складних систем, інтенсивно розвиваються роботи, які дають теоретичну базу і практичні методології побудови експертних систем, які допомагають спеціалістам оцінювати стан складних систем і приймати адекватні рішення щодо безаварійного управління ними [1-3], а також дають можливість попередити аварійні і катастрофічні ситуації в системах.

Особливо важлива діагностика складних систем у випадках нерегулярних деструктивних впливів, коли застосувати статистичні методи для аналізу ситуації досить проблематично.

Тому, основна мета роботи – розглянути підхід до побудови експертних систем діагностики, який базується на суб'єктивних ймовірнісних оцінках зв'язку між станами складної системи і випадковими не систематичними ознаками, які спостерігаються у різних станах в процесі функціонування системи.

### Оцінка суб'єктивних ймовірностей станів і ознак функціонування системи

Нехай є набір  $n$  станів  $D_1, D_2, \dots, D_n$  складної технічної системи. Наприклад, телекомунікаційна мережа повністю працездатна, частина мережі відключена, мережа повністю непрацездатна. Нехай є набір  $m$  ознак  $k_1, k_2, \dots, k_m$ , які супроводжують стани системи. Наприклад, розрив кабелю, ураження мультиплектора.

Оскільки важко проводити числові статистичні експерименти з діючою складною системою, то для аналізу будемо використовувати суб'єктивні ймовірності [4]. Такі ймовірності обчислюються на основі думки експертів.

Оцінка експертів формується у матрицю виду:

|       |       |       |     |       |
|-------|-------|-------|-----|-------|
|       | $D_1$ | $D_2$ | ... | $D_n$ |
| $D_1$ | 1     |       |     |       |
| $D_2$ |       | 1     |     |       |
| ...   |       |       | 1   |       |
| $D_n$ |       |       |     | 1     |

У клітці матриці заносяться оцінки експертів  $a_{ij}$ , які означають у скільки разів частіше стан  $D_i$ , яким помічений рядок матриці зустрічається частіше ніж стан  $D_j$ , яким помічений стовпець матриці. З такого визначення видно, що головна діагональ матриці має одиничні значення.

Таким чином, якщо  $D_i = pD_j$ , тобто стан  $D_i$  системи зустрічається в  $p$  раз частіше стану  $D_j$ , то звідси маємо  $D_j = 1/p D_i$ .

Тобто, якщо оцінка  $a_{ij} = p$ , то  $a_{ji} = 1/p$ , а  $a_{ii} = 1$ .

Аналогічно матриці станів системи, експерти будують для кожного стану  $D_l$  системи матрицю ознак, де кожен рядок і стовпець матриці помічено ознаками  $k_1, k_2, \dots, k_m$ , які спостерігаються в стані  $D_l$  системи.

|       |       |       |     |       |
|-------|-------|-------|-----|-------|
| $D_l$ | $k_1$ | $k_2$ | ... | $k_m$ |
| $k_1$ | 1     |       |     |       |
| $k_2$ |       | 1     |     |       |
| ...   |       |       | 1   |       |
| $k_m$ |       |       |     | 1     |

Для матриці ознак, як і для матриці станів системи, мають місце співвідношення:  $b_{ij} = p$ , то  $b_{ji} = 1/p$ , а  $b_{ii} = 1$ .

У клітці матриці заносяться оцінки експертів  $b_{ij}$ , які означають у скільки разів частіше ознака  $k_i$ , якою помічений рядок матриці зустрічається у стані  $D_l$  частіше ніж ознака  $k_j$ , якою помічений стовпець матриці.

Для визначення суб'єктивної ймовірності, як станів, так і ознак у кожному стані, необхідно визначити власний вектор матриць і нормувавши його на одиницю, отримаємо суб'єктивну ймовірність.

Власний вектор  $\{c_r\}_{r=1}^n$  приблизно можна обчислити за таким співвідношенням:

$$c_r = (a_{r1} \times a_{r2} \times \dots \times a_{rn})^{1/n},$$

де  $a_{ij}$  – елементи матриці станів,  $n$  – кількість станів системи.

Суб'єктивні ймовірності  $P(D_l)$  для станів  $D_l$  обчислюються за формулою нормування

$$P(D_l) = \frac{c_l}{\sum_{i=1}^n c_i},$$

Умовні суб'єктивні ймовірності  $P(k_i / D_j)$  присутності ознаки  $k_i$ , коли має місце стан  $D_j$ , обчислюються аналогічно обчисленням суб'єктивної ймовірності  $P(D_i)$  для станів  $D_i$ .

### Алгоритм побудови експертної системи

Використовуючи формулу Байеса [5], обчислимо суб'єктивні ймовірності станів складної системи, коли має місце множина ознак  $B$ :

$$P(D_i / B) = \frac{P(D_i)P(B / D_i)}{\sum_{j=1}^n P(D_j)P(B / D_j)},$$

де  $B \subset k$  – підмножина множини ознак  $k = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ .

Якщо деяка  $i$ -та ознака з множини  $B$  відсутня у стані системи  $D_j$ , то це означає, що її ймовірність  $1 - P(k_i / D_j)$ , де  $P(k_i / D_j)$  – ймовірність присутності ознаки  $k_i$  коли має місце стан  $D_j$ .

Ймовірність  $P(B/D_j)$ , якщо всі ознаки з множини  $B$  присутні коли система знаходиться в стані  $D_j$  задається виразом

$$P(B / D_j) = P(k_1 / D_j) P(k_2 / D_j) \dots P(k_m / D_j).$$

Якщо деяка  $t$ -та ознака з множини  $B$  відсутня для стану  $D_j$  системи, то

$$P(B / D_j) = P(k_1 / D_j) P(k_2 / D_j) (1 - P(k_t / D_j)) \dots P(k_m / D_j).$$

Розглянемо простий приклад. Нехай експерти сформувавши матрицю станів деякої системи у такому вигляді.

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
|       | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ |
| $D_1$ | 1     | 1/6   | 1/9   |
| $D_2$ | 6     | 1     | 1/9   |
| $D_3$ | 9     | 9     | 1     |

Тоді суб'єктивні ймовірності станів  $D_j$  розраховуються так.

$$c_1 = (a_{11} \times a_{12} \times a_{13})^{1/3} = (1 \times 1/6 \times 1/9)^{1/3} = 0,265;$$

$$c_2 = (a_{21} \times a_{22} \times a_{23})^{1/3} = (6 \times 1 \times 1/9)^{1/3} = 0,874;$$

$$c_3 = (a_{31} \times a_{32} \times a_{33})^{1/3} = (9 \times 9 \times 1)^{1/3} = 4,327;$$

$$s = c_1 + c_2 + c_3 = 0,265 + 0,874 + 4,327 = 5,46;$$

$$P(D_1) = c_1 / s = 0,265 / 5,46 = 0,05;$$

$$P(D_2) = c_2 / s = 0,874 / 5,46 = 0,15 ;$$

$$P(D_3) = c_3 / s = 4,327 / 5,46 = 0,8 .$$

Нехай матриці ознак для кожного стану експерти задали у такому вигляді:

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $D_1$ | $k_1$ | $k_2$ |
| $k_1$ | 1     | 1/2   |
| $k_2$ | 2     | 1     |

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $D_2$ | $k_1$ | $k_2$ |
| $k_1$ | 1     | 1/1,5 |
| $k_2$ | 1,5   | 1     |

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $D_3$ | $k_1$ | $k_2$ |
| $k_1$ | 1     | 8     |
| $k_2$ | 1/8   | 1     |

Виконуючи розрахунки, аналогічні до розрахунків суб'єктивної ймовірності станів, отримаємо.

$$P(k_1 / D_1) = 0,33; \quad P(k_2 / D_1) = 0,66; \quad P(k_1 / D_2) = 0,4; \quad P(k_2 / D_2) = 0,58;$$

$$P(k_1 / D_3) = 0,89; \quad P(k_2 / D_3) = 0,11.$$

Визначимо ймовірність стану системи, якщо обидві ознаки  $k_1$  і  $k_2$  **присутні**:  $B = \{k_1, k_2\}$ .

$$P(D_1 / B) = \frac{P(D_1) \cdot P(k_1 / D_1) \cdot P(k_2 / D_1)}{P(D_1) \cdot P(k_1 / D_1) \cdot P(k_2 / D_1) + P(D_2) \cdot P(k_1 / D_2) \cdot P(k_2 / D_2) + P(D_3) \cdot P(k_1 / D_3) \cdot P(k_2 / D_3)} =$$

$$= 0,05 \times 0,33 \times 0,66 / (0,05 \times 0,33 \times 0,66 + 0,15 \times 0,4 \times 0,58 + 0,8 \times 0,89 \times 0,11) = 0,085;$$

$$P(D_2 / B) = \frac{P(D_2) \cdot P(k_1 / D_2) \cdot P(k_2 / D_2)}{P(D_1) \cdot P(k_1 / D_1) \cdot P(k_2 / D_1) + P(D_2) \cdot P(k_1 / D_2) \cdot P(k_2 / D_2) + P(D_3) \cdot P(k_1 / D_3) \cdot P(k_2 / D_3)} =$$

$$= 0,15 \times 0,4 \times 0,6 / (0,05 \times 0,33 \times 0,66 + 0,15 \times 0,4 \times 0,58 + 0,8 \times 0,89 \times 0,11) = 0,293;$$

$$P(D_3 / B) = \frac{P(D_3) \cdot P(k_1 / D_3) \cdot P(k_2 / D_3)}{P(D_1) \cdot P(k_1 / D_1) \cdot P(k_2 / D_1) + P(D_2) \cdot P(k_1 / D_2) \cdot P(k_2 / D_2) + P(D_3) \cdot P(k_1 / D_3) \cdot P(k_2 / D_3)} =$$

$$= 0,8 \times 0,89 \times 0,11 / (0,05 \times 0,33 \times 0,66 + 0,15 \times 0,4 \times 0,58 + 0,8 \times 0,89 \times 0,11) = 0,621.$$

Визначимо ймовірність стану системи, якщо обидві ознаки  $k_1$  і  $k_2$  відсутні:  $B = \{\bar{k}_1, \bar{k}_2\}$ .

$$P(D_1 / B) = \frac{P(D_1) \cdot (1 - P(k_1 / D_1)) \cdot (1 - P(k_2 / D_1))}{P(D_1) \cdot (1 - P(k_1 / D_1)) \cdot (1 - P(k_2 / D_1)) + P(D_2) \cdot (1 - P(k_1 / D_2)) \cdot (1 - P(k_2 / D_2)) + P(D_3) \cdot (1 - P(k_1 / D_3)) \cdot (1 - P(k_2 / D_3))} =$$

$$= 0,05 \times (1 - 0,33) \times (1 - 0,66) / (0,05 \times (1 - 0,33) \times (1 - 0,66) + 0,15 \times (1 - 0,4) \times (1 - 0,58) + 0,8 \times (1 - 0,89) \times (1 - 0,11)) = 0,083;$$

$$P(D_2 / B) = \frac{P(D_2) \cdot (1 - P(k_1 / D_2)) \cdot (1 - P(k_2 / D_2))}{P(D_1) \cdot (1 - P(k_1 / D_1)) \cdot (1 - P(k_2 / D_1)) + P(D_2) \cdot (1 - P(k_1 / D_2)) \cdot (1 - P(k_2 / D_2)) + P(D_3) \cdot (1 - P(k_1 / D_3)) \cdot (1 - P(k_2 / D_3))} =$$

$$= 0,15 \times (1 - 0,4) \times (1 - 0,6) / (0,05 \times (1 - 0,33) \times (1 - 0,66) + 0,15 \times (1 - 0,4) \times (1 - 0,58) + 0,8 \times (1 - 0,89) \times (1 - 0,11)) = 0,313;$$

$$P(D_3 / B) = \frac{P(D_3) \cdot (1 - P(k_1 / D_3)) \cdot (1 - P(k_2 / D_3))}{P(D_1) \cdot (1 - P(k_1 / D_1)) \cdot (1 - P(k_2 / D_1)) + P(D_2) \cdot (1 - P(k_1 / D_2)) \cdot (1 - P(k_2 / D_2)) + P(D_3) \cdot (1 - P(k_1 / D_3)) \cdot (1 - P(k_2 / D_3))} =$$

$$= 0,8 \times (1 - 0,89) \times (1 - 0,11) / (0,05 \times (1 - 0,33) \times (1 - 0,66) + 0,15 \times (1 - 0,4) \times (1 - 0,58) + 0,8 \times (1 - 0,89) \times (1 - 0,11)) = 0,604 .$$

Отримані результати подамо у вигляді табл.1 для більш зручного сприйняття.

**Результати розрахунків суб'єктивних ймовірностей станів системи** Табл. 1

| Випадки присутності ознак                    | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ |
|--|-------|-------|-------|
| Обидві ознаки $k_1$ і $k_2$ присутні         | 0,085 | 0,293 | 0,621 |
| Обидві ознаки $k_1$ і $k_2$ відсутні         | 0,083 | 0,313 | 0,604 |
| Ознака $k_1$ присутня, ознака $k_2$ відсутня | 0,008 | 0,041 | 0,951 |
| Ознака $k_1$ відсутня, ознака $k_2$ присутня | 0,248 | 0,639 | 0,113 |

### Програмна реалізація експертної системи

На основі описаного підходу, розроблена експертна система. Програмна реалізація експертної системи виконана на мові C++ в середовищі системи C++ Builder. Загальний вигляд головного вікна системи наведений на рис.1.

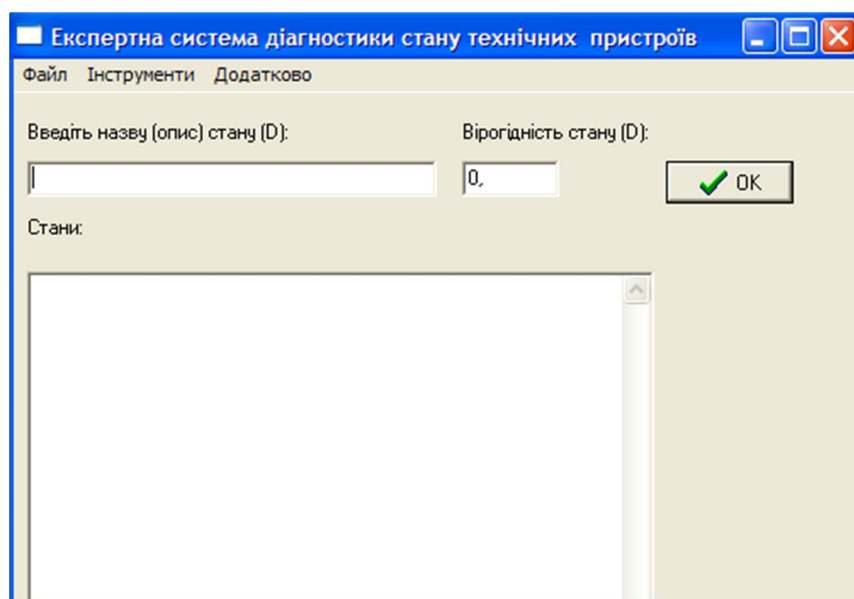


Рис.1. Головне вікно експертної системи

**Висновки**

1. Представлений в роботі алгоритм дозволяє ефективно будувати групою експертів оцінки суб'єктивних ймовірностей деструктивних впливів на складні системи (телекомунікаційні, комп'ютерні мережі).

2. На основі суб'єктивних ймовірностей, станів системи і ознак, що спостерігаються у різних її станах, використовуючи формулу Байеса, запропонований метод побудови експертних систем, який дає можливість спостерігаючи за ознаками, що супроводжують функціонування системи, робити висновки щодо поточного стану системи.

3. Базуючись на запропонованому методі розроблена на мові C++ в середовищі системи C++ Builder експертна система, експерименти з якою показали можливість оцінки суб'єктивної ймовірності стану складної системи особою, що приймає рішення.

4. Підвищення якості роботи експертної системи потребує врахування рівня довіри до компетентності експертів, а також швидкості зміни довіри до експертів особою, що приймає рішення.

**Список використаної літератури**

1. Дмитренко А. Г. Техническая диагностика. Оценка состояния и остаточного ресурса технически сложных объектов/ А. Г. Дмитренко, А. В.Блинов, Д. В.Волков, В. С.Волков. – Пенза: 2013. – 62 с.

2. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи/ И. Г. Бакланов. – Москва: Эко-Трендз, 2001. – 236 с.

3. Биргер И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер // – Москва: Машиностроение, 1978. – 240 с.

4. Бондаренко В. Є. Елементи суб'єктивної теорії ймовірностей для оцінки можливості шкідливих впливів і деструктивних дій в комп'ютерних мережах / В. Є. Бондаренко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 4(32). – С. 17-21.

5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – Москва: Высшее образование. 2005. – 346 с.

**References:**

1. Dmitrenko A. G., Blinov A. V., Volkov D. V., Volkov V. S. Technical diagnostics. Estimation of the state and residual resource of technically complex objects. – Penza: 2013. – 62 p.

2. Baclanov I. G. Testing and diagnostics of communication systems. – Moskva : Eko-Trendz, 2001. – 236 p.

3. Birger I. A. Technical diagnostics. – Moskva : Mashinostroenie, 1978. – 240 p.

4. Bondarenko V. E. Elements of the subjective probability theory to assess the possibility of harmful influences and destructive actions in computer networks // Naukovi zapysky Ukrainshkoho naukovo-doslidnoho instytutu pviyazku. – 2014. – № 4(32). – PP. 17-21.

5. Gmurman V.E. Theory of Probability and Mathematical Statistics. – Moskva: Vysshee obrazovanie, 2005. – 346 p.

**Автори статті**

**Бондаренко Віктор Євгенович** – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (99) 520 62 19. E-mail: victorbondarenko@ukr.net

**Летучий Сергій Олександрович** – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (95) 896 98 93. E-mail: alexeyblednov@mail.ru.

**Authors of the article**

**Bondarenko Viktor Yevhenovych** – doctor of sciences (technic) professor of computer engineering department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (99) 520 62 19. E-mail: victorbondarenko@ukr.net

**Letuchy Serhii Oleksandrovych** – student, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (67) 372 40 04. E-mail: serka4004@bk.ru

Дата надходження  
в редакцію: 22.01.2017 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор К. С. Козелкова  
Державний університет телекомунікацій, Київ