

Список літератури

1. Lotfi F. H., Fallahnejad R. Imprecise Shannon's entropy and multi attribute decision making, *Entropy*, 2010, vol. 12, pp. 53–62.
2. Dong D. Quantum control and quantum information technology. *The scientific world journal*, 2013, vol. 2013, 13 p.
3. Chakrabarti C. G., Chakrabarty I. Boltzmann entropy: probability and information. *Romanian journal of physics*, vol. 52, no. 5–6, 2007, pp. 525–528.
4. Jona-Lasinio G. Large deviations and the Boltzmann entropy formula. *Brazilian journal of probability and statistics*, vol. 29, no. 2, 2015, pp. 494–501.

УДК 629.765

Владов С. І., к.т.н.

Шмельов Ю. М., к.т.н.

Назаренко Н. П., викладач

Донченко Я. В., курсант

**Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету
внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна**

**ЩОДО ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕНТРОПІЙНОГО ПІДХОДУ
ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВЗ-117**

При виборі проектних рішень, що реалізуються на рівнях організації, координації та виконавчому рівні інтелектуальної системи управління авіаційного двигуна ТВЗ-117, необхідно використовувати формалізовану процедуру структурної оптимізації. При оцінці ефективності проектного рішення доцільно скористатися теоретико-інформаційним підходом, що базується на використанні поняття ентропії[1].

У теоретико-інформаційних дослідженнях можна виділити два підходи щодо визначення поняття цінної (корисної) інформації, тобто інформації, що допомагає досягненню мети. Якщо ймовірність досягнення мети велика, то цінність інформації визначається за критерієм мінімізації витрат на її отримання. Якщо ж досягнення мети мало ймовірно, то мірою цінності (корисності) інформації може служити деяка функція відношення ймовірностей досягнення мети після і до отримання інформації.

Вважається, що у процесі діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВЗ-117 спостерігають ознаки B , що визначають його стан A . Відомо, що у статистичній теорії відкритих систем [2] ентропія є однією з найважливіших характеристик і може грати три різні ролі: служити мірою невизначеності при статистичному описі; мірою відносної міри впорядкованості нерівноважних станів відкритих систем; мірою різноманітності в інформаційному потоці.

Вперше зв'язок введеної раніше в термодинаміці ентропії з функцією розподілу координат й імпульсів частинок $f(r, p, t)$ було встановлено Больцманом на прикладі розрідженого газу $f(x, t)$ [3, С. 25–27]:

$$S_b = -\kappa n \int_{-\infty}^{\infty} f(x, t) \cdot \ln f(x, t) dx + S_0; \quad (1)$$

де значення константи S_0 залежить від вибору розміру комірки у фазовому просторі $x(r, p)$.

У n -вимірному фазовому просторі $x(r_1, \dots, r_n; p_1, \dots, p_n)$ привведенні функції розподілу $f_n(x, t)$ виражається ентропія Гіббса[3, С. 27–28]:

$$S_g = -k \int_{-\infty}^{\infty} f_n(x, t) \cdot \ln f_n(x, t) dx + S_0. \quad (2)$$

Константу S_0 можна вибрати таким чином, щоб за відсутності кореляцій, коли розподіл $f_n(x, t)$ виражається через добуток розподілів окремих частинок, ентропії Больцмана і Гіббса співпадали. Ентропії Больцмана і Гіббса були введені при статистичному описі систем частинок, коли мікроскопічний стан характеризується набором пар пов'язаних координат й імпульсів частинок системи. Визначення ентропії через середні значення функції розподілу ентропії більш значиме, оскільки вирази такого типу мають сукупність властивостей, які дозволяють використовувати їх в якості міри невизначеності при статистичному описі, що дає підставу використовувати більш загальне визначення ентропії – ентропію Шеннона[4]:

$$S = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x, t) \cdot \ln f(x, t) dx + S_0; \quad (3)$$

де $\int_{-\infty}^{\infty} f(x, t) dx = 1$, $f(x, t)$ – функція розподілу довільного набору змінних x , що характеризують стан даної системи.

Визначена таким чином ентропія може служити мірою невизначеності при будь-якому розподілі виду $H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$.

Якщо стан системи характеризується дискретним набором змінних n з функцією розподілу f_n , то ентропія визначається виразом:

$$S = - \sum_{n=1}^m f_n \ln f_n. \quad (4)$$

Серед систем, що можуть обмінюватися енергією, виділяється значимий клас систем, рух в яких можна розглядати як броунівський. У таких системах різниця вільних енергій $F(t)$ і F_0 (де індекс «0» відноситься до рівноважної характеристики) визначається виразом:

$$L_F = F(t) - F_0 = kT \int_{-\infty}^{\infty} f(v, t) \cdot \ln \left(\frac{f}{f_0} \right) dv \geq 0; \quad (5)$$

що являє собою приклад так званої ентропії Кульбака.

Особливістю опису складних систем в динаміці є динамічна нестійкість руху – експоненціальна розбіжність близьких в початковий момент часу траєкторій, внаслідок чого є висока чутливість до зміни початкових умов. Мірою експоненційної розбіжності служить К-ентропія (ентропія Крилова-Колмогорова-Сіная), яка пов'язана із середньою швидкістю розбіжності близьких в початковий момент траєкторій і, отже, з показниками Ляпунова й виражається через позитивні показники Ляпунова за формулою [3, С. 462–464]:

$$K = \sum_i \lambda_i; \quad (6)$$

де $\lambda_i > 0$.

Таким чином, К-ентропія дорівнює нулю, якщо немає позитивних показників Ляпунова і є критерієм динамічної нестійкості руху.

Отже, з урахуванням вищевикладеного стосовно авіаційного двигуна ТВ3-117 визначено, що інформація, яку отримано в процесі діагностики його технічного стану, зменшує його ентропію, тобто:

$$J_A(B) = H(A) - H(A/B); \quad (7)$$

де $H(A/B)$ – повна умовна ентропія системи A щодо системи B .

Ця інформація характеризує ступінь невизначеності системи A , що залишається після того, як система B повністю визначилася.

У загальному випадку ознака B_j m -го розряду має m можливих альтернативних значень B_{1j} , B_{2j} , ..., B_{mj} . В інженерній практиці зазвичай користуються обстеженням за двома-трьома ознаками, тобто ознаками, які мають два-три можливих стани. Зазвичай представляють ознаку 3-го розряду у вигляді комплексу простих альтернативних ознак. Якщо виявлено, що ознака B має для даного стану об'єкта значення B_{js} , то це значення називається реалізацією ознаки B_j . В якості діагностичної ваги реалізації B_j для стану A_i приймається величина, яка називається діагностичною вагою реалізації, яка є показником цінності інформації та інформаційною мірою ознаки:

$$Z_{A_i}(B_{js}) = \log \left(\frac{P(B_{js}/A_i)}{P(B_{js})} \right); \quad (8)$$

де $P(B_{js}/A_i)$ – ймовірність появи B_{js} реалізації ознаки B для об'єктів, що мають стан A_i ; $P(B_{js})$ – ймовірність появи значення B_{js} для всієї сукупності досліджуваних об'єктів.

Діагностичної цінністю обстеження за ознакою B_j для стану A_i вважають величину інформації, внесеною ознакою B_j для визначення стану A_i . Для m -розрядної ознаки:

$$Z_{A_i}(B_{js}) = \sum_{s=1}^m P(B_{js}/A_i) \cdot Z_{A_i}(B_{js}). \quad (9)$$

В окремому випадку діагностична цінність обстеження простої дворозрядної ознаки обчислюється за формулою:

$$Z_{A_i}(B_{js}) = 2P(B_j/A_i) \log \left(\frac{P(B_j/A_i)}{P(B_j)} \right). \quad (10)$$

Реалізації однієї і тієї ж діагностичної ознаки у загальному випадку не рівнозначні за їх внеском в інформацію про різні стани об'єкта. Діагностична цінність обстеження враховує всі можливі реалізації ознаки і являє собою математичне сподівання величини інформації, що вноситься окремими реалізаціями. За (10) визначається діагностична цінність обстежень для обраних станів. Діагностична цінність обстежень B_j для будь-якого одного стану не показує справжньої загальної діагностичної цінності ознаки B_j для всього об'єкта. Оскільки обстеження, що володіє невеликою цінністю для одного стану, може мати значну цінність для іншого, тому вводиться поняття загальної діагностичної цінності обстеження за ознакою B_j для всієї діагностованої сукупності станів:

$$Z_{A_i}(J_{B_j}) = \sum_{s=1}^m P(A_i) \cdot Z_{A_i}(B_j); \quad (11)$$

де величина $Z_{A_i}(B_j)$ – очікуване (середнє) значення інформації, яке може бути внесене обстеженням в різні, заздалегідь невідомі діагнози. Воно може бути використане не тільки для оцінки ефективності обстеження, а й для доцільності вибору величини діагностичних інтервалів (числа розрядів). При визначенні комбінації ознак, за допомогою яких обрана їх сукупність була б віднесена до одного з можливих станів об'єкта, складається алгоритм на основі формули Байеса:

$$P(A_i/B) = \frac{P(A_i)P(B/A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_s)P(B/A_s)}; \quad (12)$$

де $P(A_i/B)$ – ймовірність стану A_i при наявності комплексу ознак B ; $P(A_i)$ – апіорна ймовірність стану A_i ; $P(B/A_i)$ – ймовірність появи комплексу ознак B при стані об'єкта A_i .

Список літератури

1. Shmelov Y., Vladov S., Klimova Y., Kirukhina M. Expert system for identification of the technical state of the aircraft engine TV3-117 in flight modes. *System Analysis & Intelligent Computing: IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, 08–12 October 2018. 2018. P. 77–82.
2. Welch C., Bednar P., Milner C. Knowledge management: an open systems approach. *Information systems: a crossroads for organization, management, accounting and engineering ItAIS*. 2011. 8 p.
3. Klimontovich Yu. L. Statistical Theory of Open Systems. Volume 1: A Unified Approach to Kinetic Description of Processes in Active Systems. 1995. Springer. 588 p.
4. Lotfi F. H., Fallahnejad R. Imprecise Shannon's entropy and multi attribute decision making, *Entropy*. 2010. Vol. 12. P. 53–62.

УДК 629.735

Владов С. І., к.т.н.

Шмельов Ю. М., к.т.н.

Пилипенко Л. М., викладач

Тугова Н. В., викладач

Москалик В. М., викладач

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна

ЛІНІЙНА АДАПТИВНА БОРТОВА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117 В УМОВАХ ЙОГО БОРТОВОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У даний час підвищення надійності авіаційного двигуна ТВ3-117 здійснюється за рахунок створення алгоритмічної надмірності інформації за допомогою вбудованої (бортової) математичної моделі двигуна [1]. Бортові моделі двигуна відносяться до особливого класу моделей, сутнісними властивостями яких є компактність, швидкодія, а також прийнятна для виконання основної функції точність відображення параметрів двигуна в статичі і динаміці у великому діапазоні режимів роботи, польотних умов і станів багатовимірної об'єкта (двигуна). Очевидно, що забезпечити виконання всіх цих вимог в математичній моделі двигуна вкрай складно. Компроміс досягається в основному за рахунок точності моделі, так як вимоги компактності і швидкодії є безумовними [1].

У зв'язку з цим виникає проблема вибору рівня математичної моделі для розв'язку поставленої задачі. Необхідно відзначити, що на сьогодні є досвід