

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 697.922.566

ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРО-НЕЧІТКИХ МЕРЕЖ

Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський

ELIABILITY ASSESSMENT OF VENTILATION SYSTEMS USING NEURO-FUSSY NETWORKS

G. Ratushnyak, R. Stepankovsky

Стаття присвячена проблемі оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем. Запропонований новий підхід за допомогою математичних апаратів – нечіткої логіки та нейро-нечітких мереж як універсальних апроксиматорів складних (нелінійних) функціональних залежностей з можливістю використання експертних знань про функціонування вентиляційних систем та визначення оцінки надійності. Розроблено структуру нейро-нечіткої мережі оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем. Наведено основні закономірності розрахунків для оброблення експериментальних даних, які дозволяють оцінити надійність функціонування вентиляційних систем, пошуку мінімізації критерію якості налагодження системи.

Статья посвящена проблеме оценки надежности функционирования вентиляционных систем. Предложен новый подход с помощью математических аппаратов – нечеткой логики и нейро-нечетких сетей как универсальных аппроксиматоров сложных (нелинейных) функциональных зависимостей с возможностью использования экспертных знаний о функционировании вентиляционных систем и определения оценки надежности. Разработана структура нейро-нечеткой сети оценки надежности функционирования вентиляционных систем. Приведены основные закономерности расчетов для обработки экспериментальных данных, позволяющих оценить надежность функционирования вентиляционных систем, поиска минимизации критерия качества наладки системы.

The article is devoted to the problem of assessing the reliability of the ventilation systems. A new approach using mathematical devices - fuzzy logic and neuro-fuzzy networks as a universal approximator of complex (non-linear) functional relationships with the ability to use expert knowledge about the functioning of ventilation systems and determine an estimate of reliability. The structure of a neuro-fuzzy network reliability assessment of ventilation systems. The basic laws of the calculations for the processing of the experimental data to assess the reliability of ventilation systems to minimize the search criterion of quality adjustment system.

Вступ

Проектування та експлуатація складних вентиляційних систем, як невід’ємної ланки для створення мікроклімату та технологічної складової промислових підприємств, потребують наукового підходу щодо вибору методів підвищення їх надійного та ефективного функціонування. Одним з найголовніших показників якості роботи складових вентиляційної системи є надійність – властивість складових системи зберігати протягом часу свою роботоздатність, тобто можливість виконувати задані функції при збереженні технічних показників в межах, встановлених нормативно-технічною документацією [1]. Надійність є одним з основних показників якості обладнання, що відображає в ньому зміну протягом всього часу його експлуатації. Згідно з [1] головною з властивостей, наведених в [2], яку необхідно цілеспрямовано враховувати та визначати при проектуванні вентиляційних систем, є безвідмовність. Безвідмовність характеризується показником $P(t)$ – “ймовірність безвідмовної роботи”, тобто ймовірність того, що в заданому проміжку часу t порушення роботоздатності обладнання системи не виникають.

На відміну від постійних відмов, які можна передбачити зарання та завчасно вжити заходів, раптові відмови роботи системи передбачити практично неможливо, що зазвичай виникають без виражених передуючих ознак та являють найбільшу загрозу. Найбільш поширеним методом прогнозування появи раптових відмов є теорія ймовірності, яка виявляє закономірності, які виникають при взаємодії великої кількості випадкових факторів. Застосування теорії ймовірності як одного з основних математичних апаратів не завжди чітко оцінює надійність функціонування вентиляційних систем внаслідок відсутності порівняння з іншими методами прогнозування.

Оцінювання надійності складних багатозв'язних систем, якими є вентиляційні системи, за допомогою нейрон-нечіткої мережі є одним з сучасних методів інтелектуальної технології, як універсального апроксиматора складних функціональних залежностей [3]. Застосування нейрон-нечіткої мережі обумовлює вивчення структури об'єкта за допомогою спеціально розроблених алгоритмів, з можливістю використання експертних знань про його функціонування.

Оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем за допомогою нейрон-нечіткої мережі є метою роботи для пошуку оптимальних ефективних енергоощадних заходів при прийнятті рішень під час проектування, будівництва та експлуатації.

Основна частина

Розроблення структури моделі функціонування вентиляційних систем за допомогою нейрон-нечіткої мережі потребує застосування універсального апроксиматора [3, 4] та виведеного дерева логічного висновку [5]. Вузол дерева висновку відповідає базі знань, наведених в [5], з використанням терм-множин експертних оцінок.

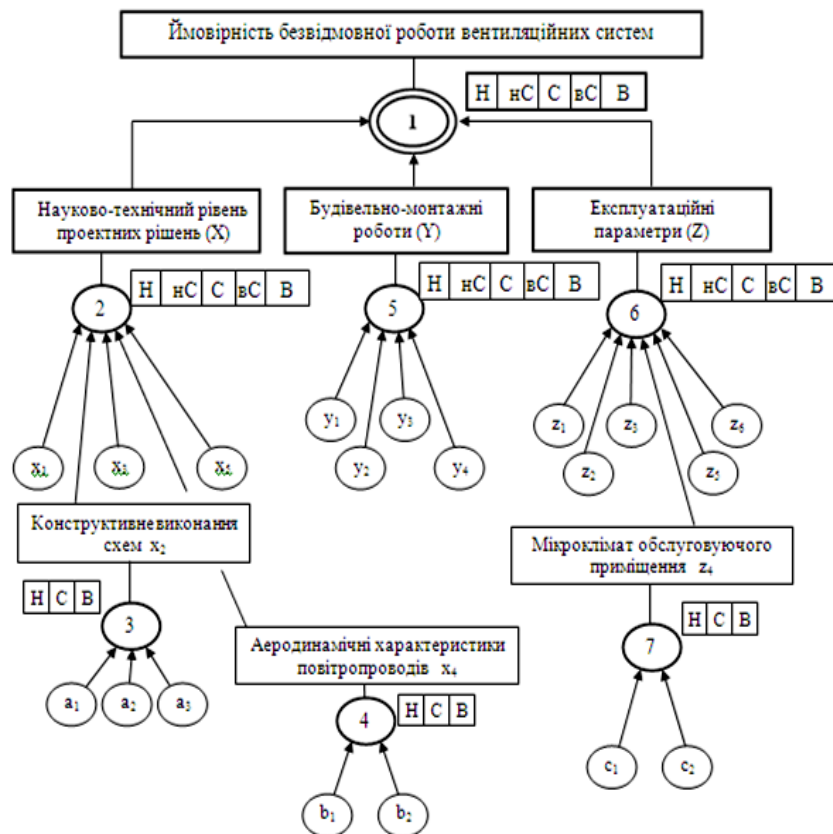


Рис. 1. Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на ймовірність безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем

На рис. 2 наведена структура нейрон-нечіткої мережі, що відповідає дереву логічного висновку (рис. 1).

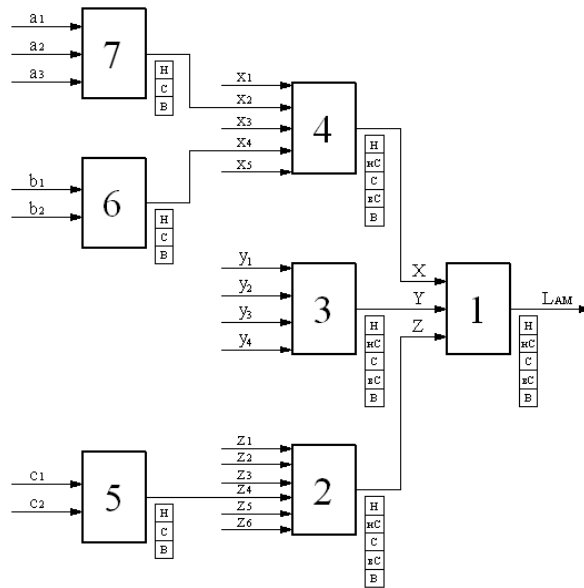


Рис. 2. Структура нейро-нечіткої мережі оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем

Величина ймовірності безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем обумовлюється факторами впливу, що замінюються такими підстановками:

– ймовірності безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем

$$L_{AM} = F_{L_{AM}}(X, Y, Z, W_{L_{AM}}, B_{L_{AM}}, C_{L_{AM}}), \quad (1)$$

– науково-технічний рівень проектних рішень

$$X = f_X(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, W_X, B_X, C_X), \quad (2)$$

– якість будівельно-монтажних робіт

$$Y = f_Y(y_1, y_2, y_3, y_4, W_Y, B_Y, C_Y), \quad (3)$$

– експлуатаційні показники

$$Z = f_Z(z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, W_Z, B_Z, C_Z), \quad (4)$$

– помилки в аеродинамічних розрахунках

$$x_2 = f_{x_2}(a_1, a_2, W_{x_2}, B_{x_2}, C_{x_2}), \quad (5)$$

– аеродинамічні характеристики повітропроводів

$$x_4 = f_{x_4}(b_1, b_2, W_{x_4}, B_{x_4}, C_{x_4}), \quad (6)$$

– мікроклімат обслуговуючого приміщення

$$z_4 = f_{z_4}(c_1, c_2, W_{z_4}, B_{z_4}, C_{z_4}), \quad (7)$$

де $W_i = (w_1, w_2, \dots, w_N)$ – вектор ваг нечітких правил, $i \in (X, Y, Z, x_2, x_4, z_4)$;

$B_i = (b_1, b_2, \dots, b_q)$ та $C_i = (c_1, c_2, \dots, c_q)$ – вектори параметрів налаштування дзвоноподібної функції належності, $i \in (X, Y, Z, x_2, x_4, z_4)$;

$F_{L_{AM}}$ – оператор зв'язку вхідних та вихідних змінних;

N – загальна кількість правил у ієрархічній побудові нечітких баз знань;

q – загальна кількість нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів впливу на величину ймовірності безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем.

Нечіткі моделі (1-7) включають фактори впливу на оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем з врахуванням векторів W , B , C , координати яких встановлюються для кожної із залежностей.

Для визначення зв'язку між функціями належності вхідних та вихідних змінних використовуємо нечітке логічне рівняння (8), отримавши з нечіткої бази знань шляхом заміни змінних на їх функції належності, а логічні операції І (\wedge) та АБО (\vee) на операції \min і \max

$$\mu^{d_j}(L_{AM}) = a_{j1} \cdot [\mu^{j1}(X) \wedge \mu^{j1}(Y) \wedge \mu^{j1}(Z)] \vee a_{j2} \cdot [\mu^{j2}(X) \wedge \mu^{j2}(Y) \wedge \mu^{j2}(Z)] \quad j = \overline{1, 5}; \quad (8)$$

де d_j – клас розв'язування, який відповідає вихідному терму $\mu^{d_j}(L_{AM})$, $j = \overline{1, 5}$;
 $\mu^{d_j}(L_{AM})$ – функція незалежності виходу L_{AM} до інтервалу $d_j \in [L_{AM_{j-1}}; L_{AM_j}]$.

Для перетворення нечіткої бази знань в чітку форму застосовуємо операцію дефазифікації. Ймовірність безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем, що відповідає нечіткій множині [4], здійснюється за допомогою математичного апарату (9)

$$L_{AM} = \frac{L_{AM} \mu^{d_1}(L_{AM}) + L_1 \mu^{d_2}(L_{AM}) + L_2 \mu^{d_3}(L_{AM}) + L_3 \mu^{d_4}(L_{AM}) + \overline{L_{AM}} \mu^{d_5}(L_{AM})}{\mu^{d_1}(L_{AM}) + \mu^{d_2}(L_{AM}) + \mu^{d_3}(L_{AM}) + \mu^{d_4}(L_{AM}) + \mu^{d_5}(L_{AM})}; \quad (9)$$

де $\overline{L_{AM}}(\overline{L_{AM}})$ – найменше (найбільше) значення змінної L_{AM} .

Функції належності лінгвістичних термів вхідних змінних можуть бути побудовані як експериментально (за допомогою методу парних порівнянь Сааті), так і розраховуватись аналітично

$$\mu^{jp}(X) = \frac{1}{1 + \left(\frac{X - b^{jp}}{c^{jp}} \right)^2}; \quad \mu^{jp}(Y) = \frac{1}{1 + \left(\frac{Y - b^{jp}}{c^{jp}} \right)^2}; \quad \mu^{jp}(Z) = \frac{1}{1 + \left(\frac{Z - b^{jp}}{c^{jp}} \right)^2}; \quad p = \overline{1, 2}, \quad (10)$$

де $\mu^{jp}(X)$, $\mu^{jp}(Y)$, $\mu^{jp}(Z)$ – функції належності факторів X , Y , Z до термів, якими вони оцінюються з терм-множини T ;

b^{jp} , c^{jp} – параметри настройки функцій належності;

p – кількість рядків-кон'юнкцій, що відповідають класу розв'язування $d_j \in [L_{j-1}, L_j]$.

Отримана нечітка база знань відповідає етапу грубого налагодження. Тому процес налагодження грубої нечіткої бази знань можливий при наявності вибірки достовірних експериментальних даних, що являє собою сукупність M пар типу

$$\langle \hat{X}_l, \hat{Y}_l, \hat{Z}_l, \hat{L}_{AM} \rangle, \quad l = \overline{1, M} \quad (11)$$

де $\hat{X}_l, \hat{Y}_l, \hat{Z}_l = \{(\hat{x}_1^l, \hat{x}_2^l, \hat{x}_3^l, \hat{x}_4^l, \hat{x}_5^l), (\hat{a}_1^l, \hat{a}_2^l, \hat{a}_3^l), (\hat{b}_1^l, \hat{b}_2^l), (\hat{y}_1^l, \hat{y}_2^l, \hat{y}_3^l, \hat{y}_4^l), (\hat{z}_1^l, \hat{z}_2^l, \hat{z}_3^l, \hat{z}_4^l, \hat{z}_5^l, \hat{z}_6^l), (\hat{c}_1^l, \hat{c}_2^l)\}$ – сукупність значень факторів, що впливають на величину ймовірності безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем;

\hat{L}_{AM} – відповідні їм експериментальні значення ймовірності безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем.

Чітке налагодження вищенаведеної моделі обумовлюється підбором таких параметрів функцій належності і ваг нечітких правил, що забезпечать мінімальну розбіжність між розрахунковими результатами та експериментальними даними

$$\sum_{l=1}^M (F_{L_{AM}}(\hat{X}_l, \hat{Y}_l, \hat{Z}_l, W, B, C) - \hat{L}_{AM})^2 \rightarrow \min_{W, B, C} \quad (12)$$

Налагодження параметрів нейрон-нечіткої мережі здійснюється за допомогою таких рекурентних співвідношень

$$w_{jp}(t+1) = w_{jp}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{jp}(t)}; \quad (13)$$

$$c_i^{jp}(t+1) = c_i^{jp}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial c_i^{jp}(t)}; \quad (14)$$

$$b_i^{jp}(t+1) = b_i^{jp}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial b_i^{jp}(t)}, \quad (15)$$

де $b_i^{jp}(t)$, $c_i^{jp}(t)$, $w_{jp}(t)$, – параметри функцій належності i ваги правил на t -му кроці навчання;

η – параметр, що характеризує швидкість навчання та вибирається відповідно до рекомендацій роботи.

Фрагмент нейрон-нечіткої мережі, що втілює базу знань оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем, зображено на рис. 3.

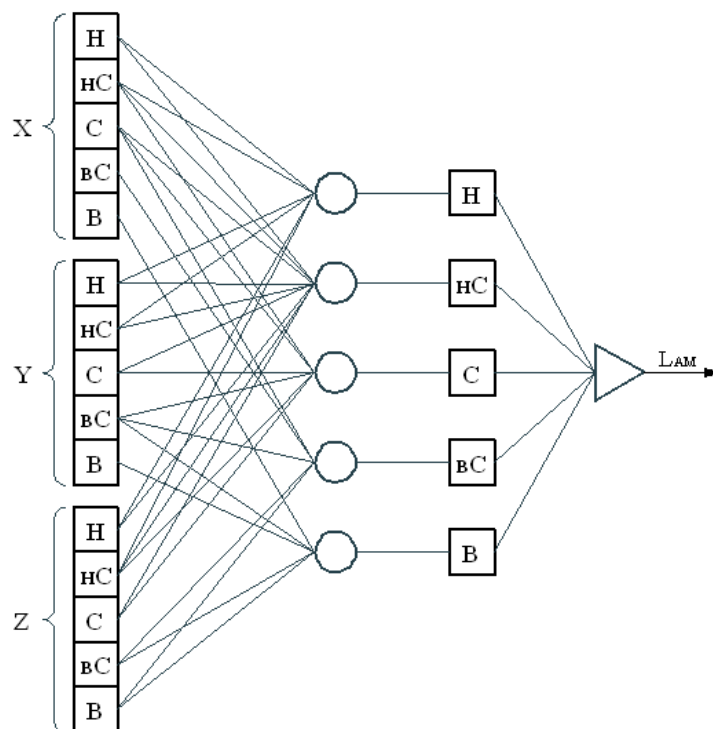


Рис. 3. Нейро-нечітка мережа оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем

Результатом обчислення формул 13-15 є пошук мінімізації критерію якості налагодження параметрів нейро-нечіткої мережі для оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем

$$E_t = \frac{1}{2} (\hat{L}_{AM} - L_{AM})^2 \quad (16)$$

де \hat{L}_{AM} , L_{AM} – відповідно модельне (розрахункове) та експериментальне значення величини

ймовірності безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем.

Співвідношення для розрахунку частинних похідних 13-15, останні, які характеризують чутливість похибки мережі (E_i) до зміни її параметрів, обумовлені структурою мережі, що втілює нечітку модель оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем з врахуванням властивостей ієрархічності даної структури.

Висновки

- Запропоновано альтернативний підхід оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем за допомогою нейрон-нечітких мереж з можливістю використання експертних знань, експериментальних даних та наступним їх обробленням для пошуку оптимальних рішень.
- Застосування нейрон-нечіткої мережі обумовлює чітке налагодження системи з наступним її навчанням за допомогою навчальної вибірки входу факторів впливу та виходу ймовірності безвідмовної роботи функціонування вентиляційних систем.

Список використаних джерел

1. Вахвахов Г. Г. Энергосбережение и надежность вентиляторных установок / Г. Г. Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
2. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 38 с.
3. Мітюшкін Ю. І. Soft Computing: ідентифікація закономірностей нечіткими базами знань. Монографія / Ю. І. Мітюшкін, Б. І. Мокін, О. П. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.
4. Ротштейн О. П. / Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика / О. П. Ротштейн, Є. П. Ларюшкін, Ю. І. Мітюшкін: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.
5. Степанковський Р. В. Моделювання енергоефективності функціонування аеродинамічних мереж на основі лінгвістичної інформації / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця, 2012. – Випуск 10, т. 2 (59).

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, завідувач кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Степанковський Роман Володимирович – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.