

Г.С. Ратушняк, к.т.н., проф.; О.А. Левицький, магістр;
О.Г. Ратушняк, студ.

МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ЛІНГВІСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Вступ

Вирішенню проблеми управління організаційно технологічними заходами по зменшенню аварійної небезпеки систем теплопостачання (СТП) сприяє моделювання багатофакторного процесу їх надійності на базі даних, що реєструються як вихідні показники. Прогнозування аварійної небезпеки в залежності від факторів, що впливають на цей процес, повинно ґрунтуватися на основі експертних оцінок, які мають кількісний та якісний характер. З метою створення експертно-моделюючої системи для багатофакторного аналізу процесу накопичення факторів, що спричиняють аварійні ситуації, використаний математичний апарат, що базується на теорії нечіткої логіки [1,2,3]. Цей метод як взаємозв'язана сукупність математичних моделей, алгоритмів й формалізованих методик дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для прогнозування аварійної небезпеки в залежності від факторів, що її обумовлюють.

Формалізація факторів, що впливають на вибір моделі оцінювання технічного стану систем теплопостачання

Для встановлення ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на імовірність виникнення аварій, виконана їх класифікація за ознаками: проектні помилки; помилки при виконанні СТП та експлуатаційні помилки.

Розглядаючи надійність СТП на системному рівні, лінгвістичну змінну $A_{СТП}$, що характеризує імовірність виникнення аварій в них, можна представити у вигляді співвідношення:

$$A_{СТП} = f(X, Y, Z), \quad (1)$$

де X – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує проектні помилки; Y – ЛЗ, що описує помилки при виконанні будівельно-монтажних робіт; Z – ЛЗ, що описує експлуатаційні помилки.

ЛЗ, що описує проектні помилки, може бути представлена виразом

$$X = f_x(x_1, x_2, x_3, x_4), \quad (2)$$

де x_1 – ЛЗ “помилки у статичних розрахунках”; x_2 – ЛЗ “помилки у гідравлічних розрахунках”; x_3 – ЛЗ “помилки у динамічних розрахунках”; x_4 – ЛЗ “помилки у термічних розрахунках і т. п.”.

Лінгвістичну змінну, що описує помилки при виконанні будівельно-монтажних робіт, можна розгорнути в співвідношення

$$Y = f_y (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5), \quad (3)$$

де y_1 – ЛЗ “неправильне прокладання трубопроводів”; y_2 – ЛЗ “відсутність опор”; y_3 – ЛЗ “неправильне виконання з’єднань”; y_4 – ЛЗ “відсутність ізоляції”; y_5 – ЛЗ “неправильно виконана компенсація і т. п.”.

В рівняння (3) входять змінні y_1, y_3, y_4, y_5 , які в свою чергу залежать від інших факторів

$$y_1 = f_{y1}(w_1, w_2), \quad (4)$$

$$y_3 = f_{y3}(p_1, p_2), \quad (5)$$

$$y_4 = f_{y4}(s_1, s_2), \quad (6)$$

$$y_5 = f_{y5}(v_1, v_2), \quad (7)$$

де w_1 – ЛЗ, що характеризує неправильний нахил, який спричиняє утворенню повітряних “карманів”; w_2 – ЛЗ утворенню монтажного напруження; p_1 – ЛЗ недовару зварного стику; p_2 – ЛЗ непровару зварного стику; s_1 – ЛЗ пошкодження ізоляції; s_2 – ЛЗ неякісного проведення ізоляційних робіт; v_1 – ЛЗ неповної компенсації температурних розширень; v_2 – ЛЗ невстановлення компенсаційних пристроїв, що передбачені проектом.

Лінгвістичну змінну, що описує експлуатаційні помилки, можна розгорнути в співвідношення

$$Z = f_z (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5), \quad (8)$$

де z_1 – ЛЗ “невідповідний догляд і погано проведені ремонти”; z_2 – ЛЗ “помилки експлуатаційників”; z_3 – ЛЗ “низький технічний рівень експлуатаційного персоналу”; z_4 – ЛЗ “технічне зношення елементів СТП”; z_5 – ЛЗ “втома матеріалу елементів СТП і т. п.”.

В рівняння (8) входить змінна z_1 , яка в свою чергу залежить від інших факторів

$$z_1 = f_{z1}(c_1, c_2, c_3), \quad (9)$$

де c_1 – ЛЗ невідповідного догляду за станом гідроізоляції; c_2 – ЛЗ не проведення належного антикорозійного захисту; c_3 – ЛЗ проведення заміни пошкодженої ділянки трубопроводу при ремонтних роботах.

За результатами аналізу ієрархічної сукупності співвідношень (1)...(9) побудовано дерево логічного висновку, у вузлах якого позначені номери формул. Оцінка значень лінгвістичних змінних, які наведені в співвідношеннях (1) - (9), проводиться за допомогою системи якісних термінів: Н - низька; нС - нижче середнього; С - середня; вС - вище середнього; В – висока. Кожний з цих термінів становить відповідну нечітку множину, тобто деяку властивість, яка розглядається як лінгвістичний терм. Для лінгвістичних змінних оціночні терми наведені в табл. 1.

Дерево логічного висновку, що побудоване за класифікованими факторами впливу на імовірність виникнення аварій в системах теплопостачання визначає систему вкладених одне в одного висловлювань, тобто їх ієрархічний зв'язок. Корінь дерева логічного висновку відповідає імовірності виникнення аварій в системах теплопостачання, а висячі вершини – факторам, що впливають на її величину.

Таблиця 1

Фактори впливу як лінгвістичні змінні

Позначення та назва змінної	Універсальна	Терми для оцінки
x_1 – помилки у статичних розрахунках	(1...5) бали	Грубі, вище середніх, середні, нижче середніх, відсутні.
x_2 – помилки у гідравлічних розрахунках	(1...5) бали	Грубі, вище середніх, середні, нижче середніх, відсутні.
x_3 – помилки у динамічних розрахунках	(1...5) бали	Грубі, вище середніх, середні, нижче середніх, відсутні.
x_4 – помилки у термічних розрахунках	(1...5) бали	Грубі, вище середніх, середні, нижче середніх, відсутні.
w_1 – утворення повітряних “карманів”	(1...3) у.о.	Можливе, частково, неможливе.
w_2 – утворення монтажного напруження	0...100 Нм	Мале, середнє, високе.
y_2 – відсутність опор	0...100%	Відсутні, частково відсутні, присутні.
p_1 – недовар зварного стика	0...100%	Повністю, частково, відсутній.
p_2 – непровар зварного стика	0...100%	Повністю, частково, відсутній.
s_1 – пошкодження ізоляції	0...100%	Повністю, частково, відсутнє.

Позначення та назва змінної	Універсальна	Терми для оцінки
s_2 – якість проведення ізоляційних робіт	(1...5) бали	Низька, нижче середньої, середня, вище середньої, висока.
v_1 – неповна компенсація температурних розширень	0...100%	Відсутня, мала, повна.
v_2 – встановлення компенсаційних пристроїв, що передбачені проектом	0...100%	Відсутні, частково, повністю.
c_1 – невідповідний догляд за станом гідроізоляції	(1...3) у.о.	Низький, середній, високий.
c_2 – проведення належного антикорозійного захисту	(1...3) у.о.	Низьке, середнє, високе.
c_3 – проведення заміни пошкодженої ділянки	1...100%	Відсутні, частково, повністю
z_2 – помилки експлуатаційників	(1...5) бали	Грубі, нижче середніх, середні, вище середніх, відсутні.
z_3 – низький технічний рівень експлуатаційного персоналу	(1...3) у.о.	Низький, середній, високий.
z_4 – технічне зношення елементів СТП	0...100%	Відсутнє, частково, повністю.
z_5 – втома матеріалу елементів СТП	(1...3) у.о.	Повна, часткова, відсутня

Математичні моделі оцінювання технічного стану СТП

Для розробки математичної моделі оцінювання технічного стану системи тепlopостачання та прийняття організаційно-технологічних рішень щодо зменшення аварійної небезпеки в системах тепlopостачання як джерело інформації використовуються експертні оцінки, які мають якісний характер і доступні проектувальникам даних систем. Запропонований метод побудови функцій належності [3,4] передбачає фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу. Етап фазифікації включає вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів впливу, що задані на відповідних універсальних множинах.

Нечітка множина, за допомогою якої формалізується терм \tilde{F} , є сукупність пар [1,4]

$$\tilde{F} = \frac{\mu_F(u_1)}{(u_1)} + \frac{\mu_F(u_2)}{(u_2)} + \dots + \frac{\mu_F(u_n)}{(u_n)}, \quad (10)$$

де $\{u_1, u_2, \dots, u_n\} = U$ – універсальна множина, на якій задається нечітка множина $F \in U$; $\mu_F(u_i)$ – ступінь належності елемента $u_i \in U$ до нечіткої множини \tilde{F} .

Невідому функцію належності буде складати сукупність значень $\mu_F(u_i)$ для всіх $i = \overline{1, n}$, яку необхідно визначити. Метод розв'язання цієї задачі базується на ідеї розподілу ступенів належності універсальної множини згідно їх рангів. Під рангами елемента $u_i \in U$ розуміється число $r_F(u_i)$, яке характеризується значимістю цього елемента у формуванні властивості, що описується нечітким термом \tilde{F} . При цьому виконується припущення, що чим більше ранг елемента, тим більше ступінь його належності.

Метод побудови функції належності детально розглядається на прикладі фактору x_1 – “помилки у статичних розрахунках”. Фактор x_1 – “помилки у статичних розрахунках” $U(x_1) = [1 \dots 5]$ балів. Для лінгвістичної оцінки фактора x_1 використовується терм-множина:

$T(x_1) = \langle \text{грубі, вище середніх, середні, нижче середніх, відсутні} \rangle$.

Матриця, що відображає парні порівняння різних величин помилок з точки зору їх близькості до терму „грубі”, має вигляд

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
u_1	1	7/9	5/9	3/9	1/9
u_2	9/7	1	5/9	3/7	1/7
u_3	9/5	7/5	1	3/5	1/5
u_4	9/3	7/3	5/3	1	1/3
u_5	9	7	5	3	1

(11)

До матриці $A_{\text{„грубі”}}(x_1)$, отримуємо ступені належності елементів $u_1 \dots u_5$ до терму „грубі”:

$$\mu_{\text{грубі}}(u_1) = \frac{1}{1 + \frac{7}{9} + \frac{5}{9} + \frac{3}{9} + \frac{1}{9}} = 0,36;$$

$$\mu_{\text{грубі}}(u_2) = \frac{1}{\frac{9}{7} + 1 + \frac{5}{7} + \frac{3}{7} + \frac{1}{7}} = 0,28;$$

$$\mu_{\text{грубі}}(u_3) = \frac{1}{9/5 + 7/5 + 1 + 3/5 + 1/5} = 0,20;$$

$$\mu_{\text{грубі}}(u_4) = \frac{1}{9/3 + 7/3 + 5/3 + 1 + 1/3} = 0,12;$$

$$\mu_{\text{грубі}}(u_5) = \frac{1}{9 + 7 + 5 + 3 + 1} = 0,04.$$

Аналогічно визначаємо матриці парних порівнянь для термів „вище середніх”, „середні”, „нижче середніх”, „відсутні” та відповідні ступені належності.

Отримані результати функцій належності пронормовані на одиницю шляхом ділення на найбільший ступінь належності. В результаті цього помилки у статичних розрахунках представлені у вигляді таких нечітких множин:

— помилки у статичних розрахунках „грубі”

$$= \left\{ \frac{1}{1}; \frac{0,78}{2}; \frac{0,56}{3}; \frac{0,33}{4}; \frac{0,11}{5} \right\};$$

— помилки у статичних розрахунках „вище середніх”

$$= \left\{ \frac{0,67}{1}; \frac{1}{2}; \frac{0,67}{3}; \frac{0,33}{4}; \frac{0,17}{5} \right\};$$

— помилки у статичних розрахунках „середні”

$$= \left\{ \frac{0,56}{1}; \frac{0,78}{2}; \frac{1}{3}; \frac{0,78}{4}; \frac{0,56}{5} \right\};$$

— помилки у статичних розрахунках „нижче середніх”

$$= \left\{ \frac{0,17}{1}; \frac{0,33}{2}; \frac{0,67}{3}; \frac{1}{4}; \frac{0,67}{5} \right\};$$

— помилки у статичних розрахунках „відсутні”

$$= \left\{ \frac{0,11}{1}; \frac{0,33}{2}; \frac{0,56}{3}; \frac{0,78}{4}; \frac{1}{5} \right\};$$

Отримані нечіткі множини свідчать про те, що на оцінювання системи теплопостачання впливають помилки у статичних розрахунках за наступним рейтингом: оцінені в 1 бал – на першому місці по впли-

ву; в 2 бали – на другому місці; в 3 бали – на третьому; в 4 бали – на четвертому; 5 балів – на п'ятому.

Нечіткі множини можна описати за допомогою графіків, які наведені на рис. 1.

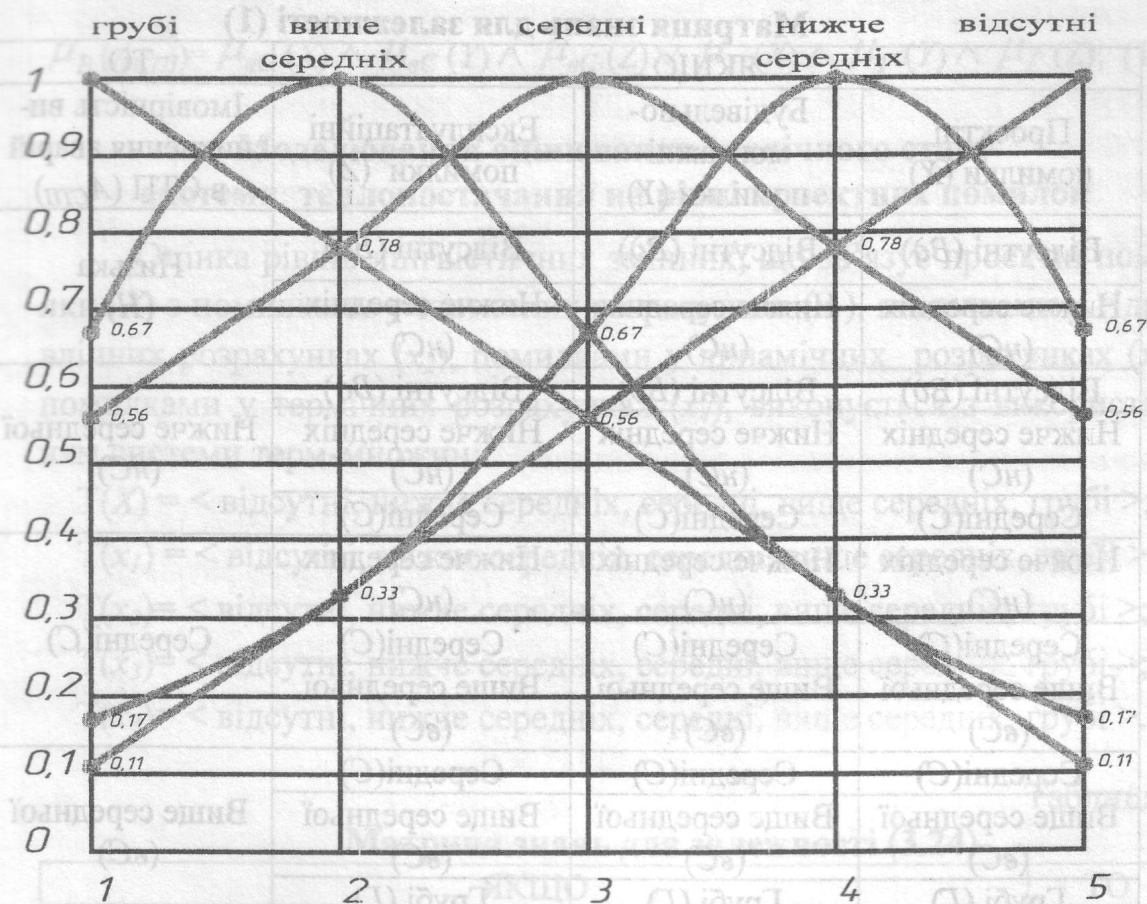


Рис.1. Функції належності для лінгвістичної змінної „помилки у статичних розрахунках”

Моделювання оцінювання технічного стану системи тепlopостачання на системному рівні

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що встановлює зв'язок між імовірністю виникнення аварій в системах тепlopостачання ($A_{CTП}$) з проектними (X), будівельно-монтажними (Y) та експлуатаційними (Z) помилками, виконується з використанням системи терм-множини:

$$T(A_{CTП}) = \langle \text{низька, нижче середньої, середня, вище середньої, висока} \rangle;$$

$$T(X) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle;$$

$$T(Y) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle;$$

$$T(Z) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle.$$

Нечітка матриця знань з урахуванням введених якісних терм для моделювання залежності (1) наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця знань для залежності (1)

ЯКЩО			ТО
Проектні помилки (X)	Будівельно-монтажні помилки (Y)	Експлуатаційні помилки (Z)	Імовірність виникнення аварій в СТП ($A_{СТП}$)
Відсутні (Bд)	Відсутні (Bд)	Відсутні (Bд)	Низька (H)
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	
Відсутні (Bд)	Відсутні (Bд)	Відсутні (Bд)	Нижче середньої (нС)
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	
Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Середні (С)
Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	
Вище середньої (вС)	Вище середньої (вС)	Вище середньої (вС)	
Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	Вище середньої (вС)
Вище середньої (вС)	Вище середньої (вС)	Вище середньої (вС)	
Грубі (Г)	Грубі (Г)	Грубі (Г)	
Вище середньої (вС)	Вище середньої (вС)	Вище середньої (вС)	Висока (B)
Грубі (Г)	Грубі (Г)	Грубі (Г)	

Лінгвістичним висловлюванням, що наведені в табл. 3, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних по відповідному терму:

$$\mu_H(A_{СТП}) = \mu_{Bд}(X) \wedge \mu_{Bд}(Y) \wedge \mu_{Bд}(Z) \vee \mu_{нС}(X) \wedge \mu_{нС}(Y) \wedge \mu_{нС}(Z); \quad (12)$$

$$\mu_{нС}(A_{СТП}) = \mu_{Bд}(X) \wedge \mu_{Bд}(Y) \wedge \mu_{Bд}(Z) \vee \mu_{нС}(X) \wedge \mu_{нС}(Y) \wedge \mu_{нС}(Z) \vee \mu_{С}(X) \wedge \mu_{С}(Y) \wedge \mu_{С}(Z); \quad (13)$$

$$\mu_{С}(A_{СТП}) = \mu_{нС}(X) \wedge \mu_{нС}(Y) \wedge \mu_{нС}(Z) \vee \mu_{С}(X) \wedge \mu_{С}(Y) \wedge \mu_{С}(Z) \vee \mu_{вС}(X) \wedge \mu_{вС}(Y) \wedge \mu_{вС}(Z); \quad (14)$$

$$\mu_{\text{вс}}(A_{\text{СТП}}) = \mu_{\text{с}}(X) \wedge \mu_{\text{с}}(Y) \wedge \mu_{\text{с}}(Z) \vee \mu_{\text{вс}}(X) \wedge$$

$$\wedge \mu_{\text{вс}}(Y) \wedge \mu_{\text{вс}}(Z) \vee \mu_{\text{г}}(X) \wedge \mu_{\text{г}}(Y) \wedge \mu_{\text{г}}(Z) \quad (15)$$

$$\mu_{\text{в}}(A_{\text{СТП}}) = \mu_{\text{вс}}(X) \wedge \mu_{\text{вс}}(Y) \wedge \mu_{\text{вс}}(Z) \vee \mu_{\text{г}}(X) \wedge \mu_{\text{г}}(Y) \wedge \mu_{\text{г}}(Z); \quad (16)$$

Моделювання оцінювання технічного стану системи теплопостачання на рівні проектних помилок

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що зв'язує проектні помилки (X) з помилками у статичних розрахунках (x_1), помилками у гідравлічних розрахунках (x_2), помилками у динамічних розрахунках (x_3), помилками у термічних розрахунках (x_4), виконується з використанням системи терм-множин:

$T(X) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle;$

$T(x_1) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle;$

$T(x_2) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle;$

$T(x_3) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle;$

$T(x_4) = \langle \text{відсутні, нижче середніх, середні, вище середніх, грубі} \rangle.$

Таблиця 3

Матриця знань для залежності (3.24)

ЯКЩО				ТО
Помилки у статичних розрахунках (x_1)	Помилки у гідравлічних розрахунках (x_2)	Помилки у динамічних розрахунках (x_3)	Помилки у термічних розрахунках (x_4)	Проектні помилки (X)
Відсутні (Вд)	Відсутні (Вд)	Відсутні (Вд)	Відсутні (Вд)	Відсутні (Вд)
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	
Відсутні (Вд)	Відсутні (Вд)	Відсутні (Вд)	Відсутні (Вд)	Нижче середніх (нС)
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	
Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	Нижче середніх (нС)	
Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	Середні (С)	
Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	

ЯКЩО				ТО
Середні(С)	Середні(С)	Середні(С)	Середні(С)	
Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)
Грубі (Г)	Грубі (Г)	Грубі (Г)	Грубі (Г)	
Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Грубі (Г)
Грубі (Г)	Грубі (Г)	Грубі (Г)	Грубі (Г)	

Лінгвістичним висловлюванням, що наведені в табл. 3.4, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних по відповідному терму:

$$\begin{aligned} \mu_{Вд}(X) = & \mu_{Вд}(x_1) \wedge \mu_{Вд}(x_2) \wedge \mu_{Вд}(x_3) \wedge \mu_{Вд}(x_4) \vee \\ & \vee \mu_{нС}(x_1) \wedge \mu_{нС}(x_2) \wedge \mu_{нС}(x_3) \wedge \mu_{нС}(x_4); \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \mu_{нС}(X) = & \mu_{Вд}(x_1) \wedge \mu_{Вд}(x_2) \wedge \mu_{Вд}(x_3) \wedge \mu_{Вд}(x_4) \vee \mu_{нС}(x_1) \wedge \mu_{нС}(x_2) \\ & \wedge \\ & \wedge \mu_{нС}(x_3) \vee \mu_{нС}(x_4) \vee \mu_{С}(x_1) \wedge \mu_{С}(x_2) \wedge \mu_{С}(x_3) \wedge \mu_{С}(x_4); \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \mu_{С}(X) = & \vee \mu_{нС}(x_1) \wedge \mu_{нС}(x_2) \wedge \mu_{нС}(x_3) \vee \mu_{нС}(x_4) \vee \mu_{С}(x_1) \wedge \mu_{С}(x_2) \\ & \wedge \\ & \wedge \mu_{С}(x_3) \wedge \mu_{С}(x_4) \vee \mu_{вС}(x_1) \wedge \mu_{вС}(x_2) \wedge \mu_{вС}(x_3) \wedge \mu_{вС}(x_4); \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \mu_{вС}(X) = & \vee \mu_{С}(x_1) \wedge \mu_{С}(x_2) \wedge \mu_{С}(x_3) \wedge \mu_{С}(x_4) \vee \mu_{вС}(x_1) \wedge \mu_{вС}(x_2) \\ & \wedge \\ & \wedge \mu_{вС}(x_3) \wedge \mu_{вС}(x_4) \vee \mu_{Г}(x_1) \wedge \mu_{Г}(x_2) \wedge \mu_{Г}(x_3) \wedge \mu_{Г}(x_4); \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \mu_{Г}(X) = & \vee \mu_{вС}(x_1) \wedge \mu_{вС}(x_2) \wedge \mu_{вС}(x_3) \wedge \mu_{вС}(x_4) \vee \\ & \vee \mu_{Г}(x_1) \wedge \mu_{Г}(x_2) \wedge \mu_{Г}(x_3) \wedge \mu_{Г}(x_4); \end{aligned} \quad (21)$$

Дана система нечітких логічних рівнянь дає змогу уявити поверхню належності змінних $(x_1), (x_2), (x_3), (x_4)$ по відповідних термах, щодо кожного лінгвістичного висловлювання.

Таким чином розробляються лінгвістичні висловлювання і відповідні системи нечітких логічних рівнянь для кожної змінної на всіх рівнях.

Техніка нечіткого логічного висновку, що застосовувалася до інформації, яка зібрана на попередніх етапах, дозволяє обчислити показник, який прогнозується як нечіткі множини. Нечіткі множини визначають імовірність виникнення аварійних ситуацій для фіксованого вектора факторів, що впливають. Щоб перейти від отриманих нечітких множин до кількісної оцінки, необхідно виконати процедуру дефазифікації [1,2], тобто перетворення нечіткої інформації в чітку форму. Серед різних методів дефазифікації найбільш поширеним є метод „Centroid – центр тяжіння” плоскої фігури, яка обмежена функцією належності нечіткої множини та горизонтальною координатою. Модель нечіткого логічного висновку разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника – імовірності виникнення аварій в системі теплопостачання мікрорайону.

Дефазифікацією нечіткої множини [85] $\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i$ за методом „centroid” називається обчислення величини $A = \text{centroid}(\tilde{A})$ за формулою

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot \mu_A(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_A(u_i)} \quad (22)$$

Для прикладу проведемо дефазифікацію на рівні проектних помилок, для чого використаємо значення функції належності факторів, які наведені в табл.4.

Використовуючи аналітичні формули (17)-(21) та значення функцій належності змінних $(x_1), (x_2), (x_3), (x_4)$ (табл. 4) можна отримати значення функцій належності терм-оцінок змінної X .

Таблиця 4
Значення функцій належності факторів, що впливають на виникнення проектних помилок

Фактор	Значення функції належності термів для оцінки фактора
Помилки у статичних розрахунках x_1	$\mu_{B\delta}(x_1) = 0,11; \mu_{HC}(x_1) = 0,17; \mu_C(x_1) = 0,56;$ $\mu_{BC}(x_1) = 0,67; \mu_{\Gamma}(x_1) = 1$
Помилки у гідравлічних розрахунках x_2	$\mu_{B\delta}(x_2) = 0,11; \mu_{HC}(x_2) = 0,17; \mu_C(x_2) = 0,56;$ $\mu_{BC}(x_2) = 0,67; \mu_{\Gamma}(x_2) = 1$

Фактор	Значення функції належності термів для оцінки фактора
Помилки у динамічних розрахунках x_3	$\mu_{B\delta}(x_3) = 0,11; \mu_{HC}(x_3) = 0,17; \mu_C(x_3) = 0,56;$ $\mu_{\sigma C}(x_3) = 0,67; \mu_{\Gamma}(x_3) = 1$
Помилки у термічних розрахунках x_4	$\mu_{B\delta}(x_4) = 0,11; \mu_{HC}(x_4) = 0,17; \mu_C(x_4) = 0,56;$ $\mu_{\sigma C}(x_4) = 0,67; \mu_{\Gamma}(x_4) = 1$

$$\mu_{B\delta}(X) = 0,11 \cdot 0,11 \cdot 0,11 \cdot 0,11 \vee 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 = 0,11$$

$$\mu_{HC}(X) = 0,11 \cdot 0,11 \cdot 0,11 \cdot 0,11 \vee 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 \vee 0,56 \cdot 0,56 \cdot 0,56 \cdot 0,56 = 0,17$$

$$\mu_C(X) = 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 \vee 0,56 \cdot 0,56 \cdot 0,56 \cdot 0,56 \vee 0,67 \cdot 0,67 \cdot 0,67 \cdot 0,67 = 0,56$$

$$\mu_{\sigma C}(X) = 0,56 \cdot 0,56 \cdot 0,56 \cdot 0,56 \vee 0,67 \cdot 0,67 \cdot 0,67 \cdot 0,67 \vee 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,67$$

$$\mu_{\Gamma}(X) = 0,67 \cdot 0,67 \cdot 0,67 \cdot 0,67 \vee 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

— проектні помилки „грубі”

$$X = \frac{1 \cdot 1 + 0,67 \cdot 2 + 0,56 \cdot 3 + 0,17 \cdot 4 + 0,11 \cdot 5}{1 + 0,67 + 0,56 + 0,17 + 0,11} = 2,1$$

— проектні помилки „вище середніх”

$$X = \frac{0,67 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 0,67 \cdot 3 + 0,56 \cdot 4 + 0,17 \cdot 5}{0,67 + 1 + 0,67 + 0,56 + 0,17} = 2,53$$

— проектні помилки „середні”

$$X = \frac{0,56 \cdot 1 + 0,67 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 0,67 \cdot 4 + 0,56 \cdot 5}{0,56 + 0,67 + 1 + 0,67 + 0,56} = 3$$

— проектні помилки „нижче середніх”

$$X = \frac{0,17 \cdot 1 + 0,56 \cdot 2 + 0,67 \cdot 3 + 1 \cdot 4 + 0,67 \cdot 5}{0,17 + 0,56 + 0,67 + 1 + 0,67} = 3,47$$

— проектні помилки „відсутні”

$$X = \frac{0,11 \cdot 1 + 0,17 \cdot 2 + 0,56 \cdot 3 + 0,67 \cdot 4 + 1 \cdot 5}{0,11 + 0,17 + 0,56 + 0,67 + 1} = 3,9$$

Таким чином, провівши за формулою (22) дефазифікацію нечітких термів, що належать до проектних помилок отримано значення, впливаючи на які можна прогнозувати та надавати оцінку цим помилкам.

Використовуючи дану методику в комплексі для всіх підрівнів та рівнів можна отримати прогнозовану оцінку технічного стану системи теплопостачання.

Запропонована методика дозволяє змінюючи величини універсальних множин, що характеризують проектні помилки, помилки при виконанні та експлуатаційні помилки вливати на імовірність виникнення аварій в системах теплопостачання та надавати оцінку.

ВИСНОВКИ

1. Пропонується надійність систем теплопостачання розглядати як сукупність параметрів, що здатні характеризувати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та здатність виконувати основні функції.

2. Адаптована методика формалізації факторів, що впливають на вибір моделі та запропонована класифікація факторів, які впливають на імовірність виникнення аварій в системах теплопостачання.

3. Розроблено дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на прийняття організаційно-технічних рішень по зменшенню аварійної небезпеки в системах теплопостачання.

4. Моделювання оцінювання технічного стану систем теплопостачання виконано з використанням доступної експертно-лінгвістичної інформації у вигляді правил „ЯКЩО-ТО”, що пов'язують логічні терми вхідних і вихідних змінних.

5. Наведено методику прийняття організаційно-технологічних рішень по зменшенню аварійної небезпеки в системах теплопостачання та надання оцінки технічного стану системи теплопостачання на рівні проектних помилок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии индентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети - Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999, - 320 с.
2. Ротштейн О.П., Штовба С.Д. Проектирование нечеткий баз знаний. Лабораторный практикум та курсове проектування з дисципліни „Теорія нечітких множин та її застосування”. //Навч. посібник. - ВДГУ, 1999, 63 с. Укр. мовою.
3. Митюшкин Ю.И., Мокин Б.И., Ротштейн А.П. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. - Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002, - 145 с.

4. Лялюк О.Г. Управління проектами зменшення радононебезпеки в будівництві: - Вінниця: УШВЕРСУМ-Вінниця, 2003, -139 с.
5. Ратушняк Г.С., Шаманський С.Й. Метод оцінювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням. Вісник ВШ, 2003, №3, - С. 14.
6. Ратушняк Г.С., Попова Г.С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції // Навч. посібник. - Вінниця: ВДТУ, 2000. - 122 с.

Рекомендована кафедрою теплопостачання

Надійшла до редакції 01.10.03 р.

Рекомендована до опублікування 01.03.04 р.

Ратушняк Георгій Сергійович – завідувач кафедри;

Левицький Олександр Анатолійович – магістр;

Ратушняк Ольга Георгіївна – студентка.

Вінницький національний технічний університет.

ВИСНОВКИ

1. Пропонована методика оцінювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням та теплопостачанням є науково обґрунтованою та відповідає вимогам чинного законодавства України.

2. Аналізуючи методи формалізації факторів, що впливають на якість моделі та запропонована класифікація факторів, які впливають на якість моделі, є науково обґрунтованою та відповідає вимогам чинного законодавства України.

3. Розроблено програму для визначення впливу факторів на якість моделі та запропонована класифікація факторів, які впливають на якість моделі, є науково обґрунтованою та відповідає вимогам чинного законодавства України.

4. Модельювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням та теплопостачанням є науково обґрунтованою та відповідає вимогам чинного законодавства України.

5. Наведено методику оцінювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням та теплопостачанням, яка є науково обґрунтованою та відповідає вимогам чинного законодавства України.

— проектні помилки „вище середнім”

— проектні помилки „середні”

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ратушняк Г.С., Шаманський С.Й. Метод оцінювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням та теплопостачанням. - Вінниця: УШВЕРСУМ-Вінниця, 2003. - 139 с.
2. Ратушняк Г.С., Шаманський С.Й. Метод оцінювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням та теплопостачанням. - Вінниця: УШВЕРСУМ-Вінниця, 2003. - 139 с.
3. Митко Ю.М., Митко Ю.М., Митко Ю.М. Метод оцінювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням та теплопостачанням. - Вінниця: УШВЕРСУМ-Вінниця, 2003. - 145 с.