

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ НЕСПРАВНИХ ДІЛЯНОК ІНЖЕНЕРНОЇ МЕРЕЖІ (НА ПРИКЛАДІ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ)

Інститут комп'ютерних технологій  
Національний авіаційний університет

*Розглянуто проблему автоматизації діагностування інженерних мереж і визначення несправних ділянок за умови використовується обмеженої кількості контролюючих пристроїв. Розроблений метод передбачає за даними контролюючих пристроїв виділити з загальної мережі несправну гілку, на якій проводиться багатопараметричний аналіз стану окремих ділянок (частини комунікації з однорідним описанням)*

### Вступ

Вирішення задачі автоматизації діагностування стану систем теплопостачання є однією з ключових на сучасному етапі розвитку не тільки енергетичної промисловості, а й економіки, екології і навіть політики. Це спричинено тим, що Україна має обмежений обсяг власних енергоресурсів, що змушує вдаватися до імпорту даних ресурсів із Росії та інших країн імпортерів енергоресурсів. Окрема проблема постає перед комунальними підприємствами і підприємствами, які виготовляють власні енергоресурси. А саме, яким чином забезпечити кінцевого користувача енергоресурсом за умови мінімізації витрат. У світі даних проблем знову почали активно розроблятися наукові програми у галузі енергетики, які виявили ряд проблем не стільки у технологіях розробки енергоресурсів, скільки у засобах їх зберігання і транспортування.

У зв'язку з тривалим спадом в економіці України були знижені обсяги фінансування на підтримку діючих трубопровідних мереж в працездатному стані. Вимушене скорочення профілактичних заходів і невчасність заміни фізично застарілих ділянок мереж призводить до зниження надійності функціонування останніх і, отже, надійності постачання цільового продукту (ЦП) споживачам.

Всі сучасні системи діагностування стану інженерних мереж (ІМ) передбачають використання або спеціалізованих вимірювальних засобів, які закладені вже в комунікації ІМ, або великої кількості

лічильників по всій довжині ІМ. На жаль на сьогоднішній день більшість комунікацій ІМ не мають контролюючих пристроїв, що приводить до цілого ряду проблем з їх експлуатацією. А аварійні ситуації, що виникають на трубопровідних мережах, можуть не тільки привести до значних матеріальних втрат, але також стати причиною екологічної катастрофи, наприклад, коли від постачання ЦП відключається підприємство, що вимагає безперервного циклу виробництва.

Основна доля аварій і втрат ЦП припадає на долю комунікацій ІМ – близько 75%. Саме тому питання своєчасного виявлення і усунення несправності на ділянках мережі є основним завданням при експлуатації ІМ.

Складність задачі визначення місця і причин виникнення несправності в ІМ обумовлена практичною неможливістю обладнати ІМ достатньою кількістю контролюючих пристроїв (у більшості випадків контролюючі пристрої розміщуються лише у вузлових точках ІМ), а це обмежує можливість використання стандартних експертних систем діагностування, тому що в окремих випадках між контролюючими пристроями розміщуються комунікації різних типів або вони віддалені один від одного на великі відстані. Тому при діагностуванні ІМ проводиться розподіл комунікацій між контролюючими пристроями на ланки пов'язаних між собою ділянок, які відрізняються типом комунікацій, або іншими інформативними параметрами.

### Описання інженерної мережі

Введемо декілька термінів, які можуть викликати запитання:

- вершина – місце перетину комунікаційних ланок ІМ;
- контрольована вершина – вершина ІМ з наявністю контролюючих пристроїв;
- неконтрольована вершина – вершина ІМ без контролюючих пристроїв;
- гілка – частина комунікації ІМ, що обмежена контрольованими вершинами;
- ділянка – частина комунікації ІМ, яка має однорідне описання (гілка ІМ складається з ланцюга ділянок).

З огляду на введену термінологію ІМ можна представити у вигляді графу  $G$ , який представляється двома взаємопов'язаними графоутворюючими множинами: множиною  $X$  вершин і множиною  $V$  ланок. На графі виділяються вершини двох типів:  $P$  – множина контрольованих вершин,  $E$  – множина неконтрольованих вершин (рис. 1).

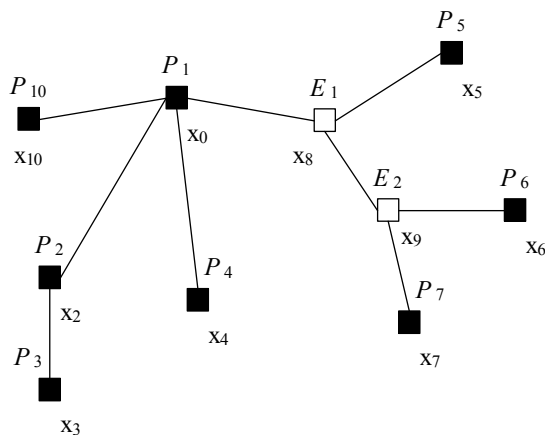


Рис. 1. Приклад представлення ІМ у вигляді графу з позначенням контрольованих і неконтрольованих вершин

При підході до описання несправності в ІМ використовуємо наступне визначення: несправність – це порушення функціональності. Основною функцією ІМ є поставка ЦП споживачу, отже несправність в межах ІМ визначається як припинення поставки чи поставка не в повному обсязі ЦП споживачу.

Для всіх типів ІМ можна виділити 3 групи проблем, які викликають несправність [2, 3]:

- 1) проблеми в комунікаціях (лініях передач, трубопроводах, інше);
- 2) проблеми на центральних пунктах (трансформаторні підстанції, теплові пункти, інше);
- 3) проблеми на стороні споживачів.

Однією з найголовніших задач технічного діагностування ІМ є виявлення місця і причини виникнення несправності або дефекту. При цьому основна доля втрат ЦП і аварій припадає на проблеми у комунікаціях – близько 75% [3].

Тому під діагностуванням несправності у комунікаціях ІМ будемо розуміти задачу виявлення місця і причини припинення поставки чи поставка не в повному обсязі ЦП споживачу, яка виникла у зв'язку з проблемами в лініях комунікації.

### Виділення в інженерній мережі несправної гілки

За наданим вище визначенням несправність в ІМ обумовлюється перевищенням допустимого відхилення між контрольованими вершинами одного з контрольованих параметрів (в залежності від типу ІМ можуть бути використані декілька контролюючих пристроїв, так для діагностики стану теплових мереж використовуються датчики температури і тиску). У разі наявності факту означеного перевищення гілка ІМ відмічається, як несправна.

Алгоритм визначення несправних гілок ІМ за даними контролюючих пристроїв  $T_i^l, i = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$ , де  $N$  – кількість вершин ІМ,  $L=2$  – передбачає наявність зворотної ланки ІМ (у випадку теплової мережі – наявність зворотного трубопроводу). Для неконтрольованих вершин  $T_i^l = -\infty$  (при комп'ютерній реалізації для неконтрольованих вершин достатньо присвоїти даному параметру одне з значень з області недопустимості для даного контролюючого пристрою, наприклад, для стандартних датчиків температури  $T_i^l = -100$ ).

На рис. 2 представлено алгоритм виділення несправної гілки ІМ  $L=2$ .

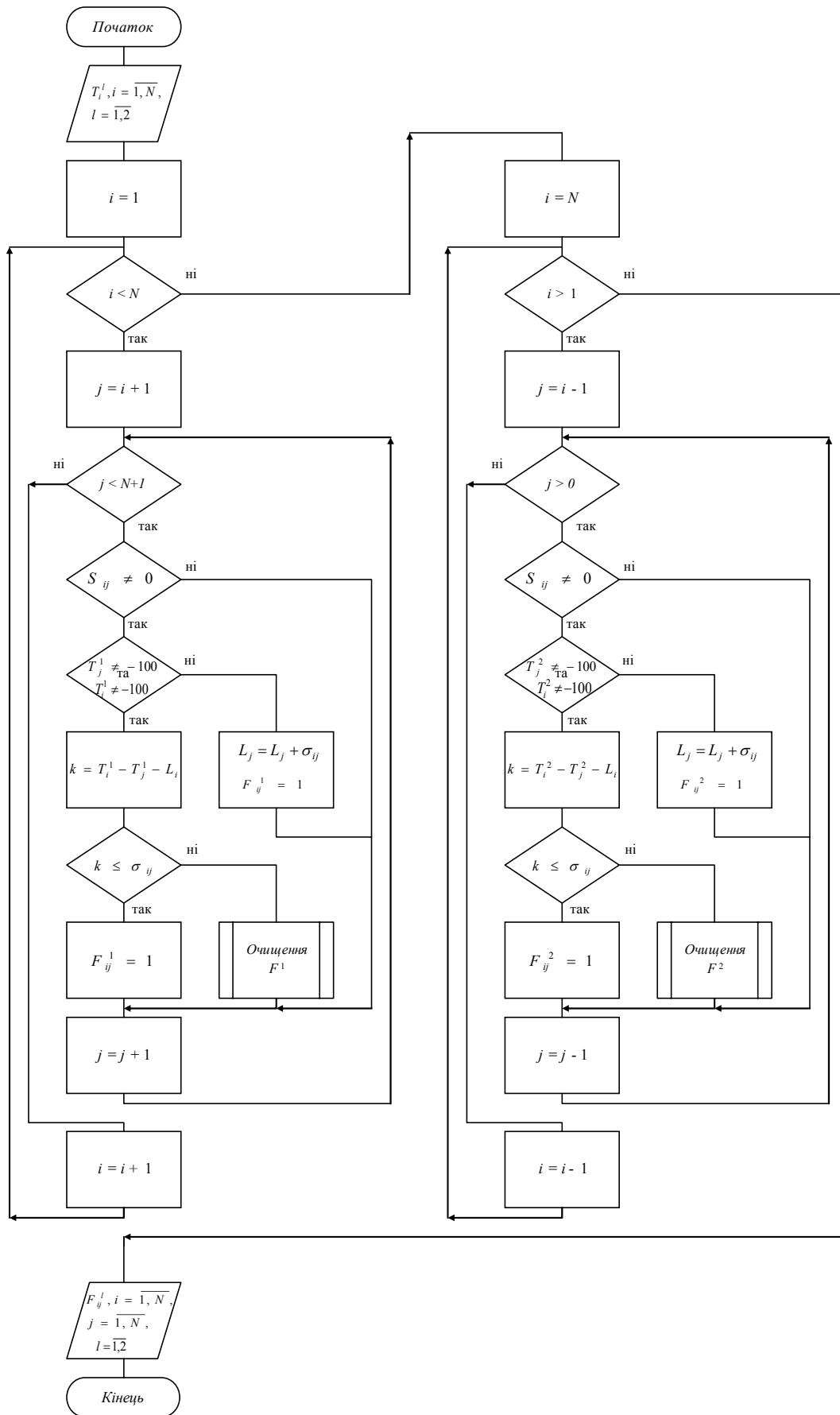


Рис. 2. Алгоритм виділення несправної гілки графу

Основні позначення у даному алгоритмі мають наступний зміст:

$S_{ij}$  – значення матриці суміжності:  $S_{ij}=1$  – за умови наявності ланки з вершини  $i$  до вершини  $j$ ,  $S_{ij}=0$  – за умови відсутності ланки з вершини  $i$  до вершини  $j$  ( $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}$ );  $T_i^1, T_i^2$  – показники контролюючих пристроїв у прямому і зворотному каналі;  $\sigma_{ij}$  – допустимі втрати параметра, який контролюється, для ланки між вершинами  $i$  та  $j$ ;  $L_i$  – скоригований показник параметру, який контролюється, для неконтрольованих вершин;  $F_{ij}^l$  – загальна ознака несправності ланки  $ij$  – визначається за рівністю 1 хоча б одного з параметрів  $F_{ij}^l, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$ .

Даний алгоритм оснований на аналізі значень контролюючих пристроїв всіх гілок ІМ. Під час функціонування ІМ опитування контролюючих пристроїв відбувається періодично, при цьому за умови неотримання даних можливе утворення нових гілок ІМ, що вимагає від алгоритму проводити аналіз структури ІМ для кожного нового опитування контролюючих пристроїв. Для неконтрольованих вершин використовується скоригований показник параметру  $L_i$ , який обраховується на основі врахування допустимих втрат параметра у суміжних ланках ІМ.

Результатом роботи алгоритму буде відмітка одиницями всіх несправних ланок ІМ. Деякі з них будуть утворювати гілки, які в подальшому будуть позначатись, як несправні гілки ІМ.

Використання декількох контролюючих пристроїв або контролювання декількох параметрів передбачає окреме виконання даного алгоритму для кожного параметру, який контролюється.

### **Метод визначення несправних ділянок інженерної мережі**

Як було зазначено вище, у зв'язку з обмеженою кількістю контролюючих пристроїв для прийняття рішення щодо несправності однієї з ділянок гілки ІМ, необхідно використовувати додатковий набір параметрів. Особливість методу, який використовується, полягає в тому,

що при діагностуванні ділянки ІМ виділяються два класи параметрів: стаціонарні і динамічні.

Стаціонарні параметри змінюються лише під час перепроєктування ІМ. Під перепроєктуванням ІМ розуміється формування у гілках ІМ нових ланцюгів ділянок чи коригування значень параметрів вже існуючих ділянок. Формування нових ланцюгів проводиться у випадках неоднорідності значень параметрів на будь-якій з ділянок. Стаціонарні параметри передбачається отримувати не з контрольних пристроїв, а на основі аналізу відомостей щодо експлуатації ІМ (технічна документація, звіти про ремонти і заміни устаткування, інформація про події на ІМ, т.і.).

Динамічні параметри змінюються при кожному опитуванні системи контролюючих пристроїв і вони є однаковими для всіх ділянок гілки, яка діагностується.

Кожна ділянка має дві основних групи станів – ті, що характеризують ділянку, як справну, і ті, що характеризують її, як несправну. Групу “справних” станів можна розділити за оцінкою можливості виходу з ладу, групу “несправних” – за ознакою причини несправності.

Діагностування ІМ можна проводити у двох режимах: при виявленні несправності ІМ (відхилення контрольних параметрів) і за умови її відсутності.

Діагностування несправної ІМ відбувається за наступним алгоритмом:

Крок 1: Визначається несправна гілка ІМ;  
Крок 2: Проводиться діагностування кожної ділянки несправної гілки ІМ.

Крок 3: Проводиться аналіз отриманих станів кожної ділянки, особлива увага приділяється ділянкам, стан яких належить до групи несправних.

В алгоритмі діагностування ІМ при відсутності фактів несправностей Крок 1 з попереднього алгоритму не виконується.

Даний підхід можна віднести до систем експертної діагностики, які вимагають застосування методів експертних систем для контролю традиційних і адаптивних регуляторів. В процесі функціонування системи характер поведінки об'єкту

фіксується класифікатором образів. Підсистема виведення використовує правила настроювання і класифіковані образи для настроювання параметрів регуляторів.

### Приклад діагностування ділянок теплової мережі

Як приклад, представимо аналіз гілки теплової мережі, на кінцях якої була виявлена розбіжність у значенні тиску (втрата теплоносія).

Для реалізації автоматичної системи діагностування ділянок ІМ відносно втрати теплоносія необхідно описати основні причини подібних втрат в комунікаціях теплових мереж:

- 1) витоки теплоносія у системі;
- 2) розбір води споживачами;
- 3) витоки води в котельній;
- 4) фізично зношені трубопроводи.

На основі даних причин виділяємо можливі стани ділянки теплової мережі:

- втрата теплоносія неможлива ( $d_{00}$ );
- втрата теплоносія в системі (в колодязях, теплообмінних пунктах, ін.) ( $d_{01}$ );
- розбирання води споживачами ( $d_{02}$ );
- втрата теплоносія через фізично зношені труби чи їх зовнішнє пошкодження ( $d_{03}$ ).

Така класифікація причин втрати теплоносія є максимально можливою для дистанційного діагностування. Для більш детального діагностування необхідні додаткові обстеження (які в окремих випадках просто не можливі без великих грошових і фізичних витрат), розрахунки та вимірювання.

На основі знань експертів [1, 2, 5, 7] можна виділити основні параметри ділянки теплової мережі і їх вплив на стан. На основі даних правил можна побудувати дерево логічного висновку (рис. 3).

Вершини дерева інтерпретуються наступним чином:

- корінь дерева – показник, який діагностується;
- термінальні вершини – частинні параметри стану;
- нетермінальні вершини – згортка частинних параметрів стану в укрупненні.

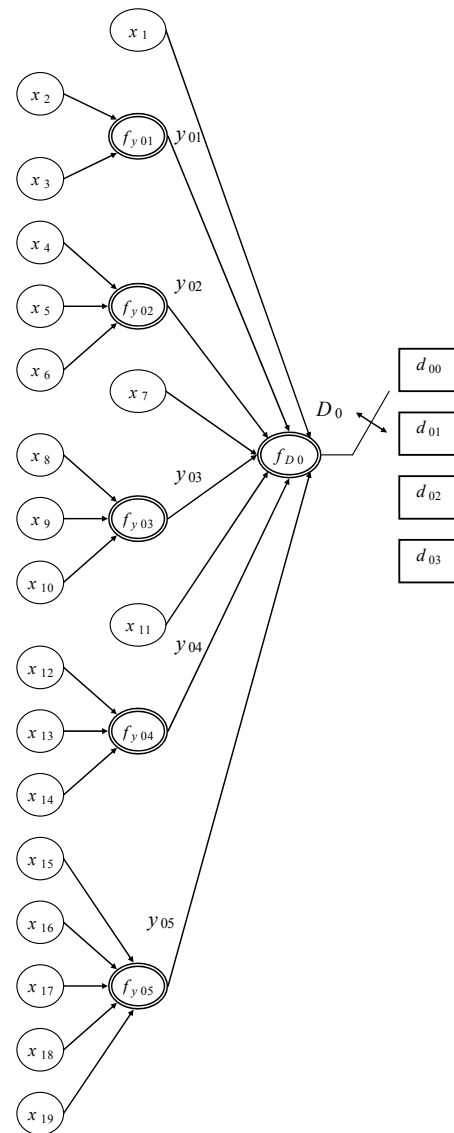


Рис. 3. Дерево логічного висновку для діагностування причин втрати теплоносія

Даному дереву висновку відповідає наступна система співвідношень:

$$D_0 = f_{D_0}(x_1, x_7, x_{11}, y_{01}, y_{02}, y_{03}, y_{04}, y_{05}), \quad (1)$$

$$y_{01} = f_{y_{01}}(x_2, x_3), \quad (2)$$

$$y_{02} = f_{y_{02}}(x_4, x_5, x_6), \quad (3)$$

$$y_{03} = f_{y_{03}}(x_8, x_9, x_{10}), \quad (4)$$

$$y_{04} = f_{y_{04}}(x_{12}, x_{13}, x_{14}), \quad (5)$$

$$y_{05} = f_{y_{05}}(x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}). \quad (6)$$

Взаємозв'язки між укрупненими і частинними параметрами стану можна описати наступним чином:

1) можливість втрати теплоносія має залежність від ряду частинних параметрів стану (1):

а) фактів руйнування теплосистеми (зовнішня корозія, порушення ізоляції, зношені запираючі елементи і т.і.), які виявляються при зовнішньому огляді стану теплосистеми ( $x_1$ );

б) обсягу втрат теплоносія на гільці теплопроводу, який отримують з показників лічильників ( $x_7$ ), є одним з основних при визначенні причини втрати теплоносія, тому що малі значення даного параметру унеможливають причину  $d_{02}$  (розбирання води споживачами) та обмежують причину  $d_{03}$  (втрата теплоносія через фізично зношені труби чи їх зовнішнє пошкодження);

в) наявності запорних елементів ( $x_{11}$ ), які за умови поганого обслуговування можуть привести до значних втрат теплоносія у системі;

2) можливість втрати теплоносія має залежність від ряду укрупнених параметрів стану:

г) надійності роботи всієї теплосистеми (2), яка дає апіорну оцінку надійності на основі таких параметрів, як час введення в експлуатацію ( $x_2$ ) та наявність виявлених на протязі останнього півріччя несправностей у теплосистемі ( $x_3$ );

д) простоти доступу до елементів теплової мережі сторонніми (3), яка враховує кількість виявлених фактів розкрадання елементів теплових мереж, який набагато більше у місцях, розташованих недалеко від жилих приміщень ( $x_5$ ), та у випадках відсутності спеціальних заходів щодо обмеження доступу сторонніх до елементів теплових мереж (залежить від типу прокладання теплопроводу ( $x_4$ ) і наявність неконтрольованих виходів ( $x_6$ ));

е) наявності визначених зовнішніх ознак втрати теплоносія (4) передбачає аналіз інформації від споживачів, яка надходить до диспетчерського пункту: наявність просідання ґрунту ( $x_8$ ), парування ( $x_9$ ), можливість отримання даних про цілісність ділянки теплопроводу за інформаційним каналом ( $x_{10}$ );

ж) можливості виникнення внутрішньої корозії (5) – впливає використання неаерованої води ( $x_{13}$ ) у відкритих теплосистемах ( $x_{12}$ ) та товщина стінок труб ( $x_{14}$ );

з) можливості виникнення зовнішньої корозії (6), яка обумовлена помилками персоналу при поєднанні труб різних типів, недостатньою якістю матеріалів корпусу, які призводять до механічного пошкодження ізоляції ( $x_{15}$ ), можливістю намочання теплової ізоляції ( $x_{16}$ ,  $x_{17}$ ) (вплив на всі трубопроводи з ізоляцією АПБ, які експлуатуються понад 3 роки, і на ППУ з самого початку експлуатації ( $x_{19}$ )), типом труб ( $x_{18}$ ).

Формалізоване представлення параметрів стану лінгвістичними змінними представлено в табл. 1. Для зменшення розміру таблиці представлені лише укрупнені параметри і термінальні параметри, які безпосередньо впливають на визначення стану (1).

Для подальшої обробки параметрів необхідно використовувати нечітку базу знань про вплив факторів  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  на значення параметра  $D$ , яка подається у наступному форматі:

якщо  $x_1 = a_1^{j1}$  та ... та  $x_n = a_n^{j1}$ , або

$x_1 = a_1^{j2}$  та ... та  $x_n = a_n^{j2}$ , або

...

$x_1 = a_1^{jk_j}$  та ... та  $x_n = a_n^{jk_j}$ ,

тоді  $D = d_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,

де  $a_i^{jp}$  – лінгвістичний терм, що оцінює значення фактора  $x_i$  в  $p$ -ій диз'юнкції  $j$ -го логічного висловлювання ( $j = \overline{1, m}$ ,  $p = \overline{1, k_j}$ ,  $i = \overline{1, n}$ );

$k_j$  – число диз'юнкції (або) в  $j$ -му логічному висловлюванні;

$d_j$  – лінгвістичний терм, що оцінює значення вихідного параметра  $D$  ( $j = \overline{1, m}$ );

$m$  – кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки вихідного параметра  $D$ .

Частина бази знань про співвідношення (1) для стану  $d_{00}$  представлено у табл. 2.

Таблиця 1. Формалізація параметрів стану лінгвістичними змінними

Параметр стану	Терми для лінгвістичної оцінки
$x_1$	нещодавно – до 1 тижня (нд), давно – до місяця (д), дуже давно – до півроку (дд), не було – строк більше півроку виходить за межі опалювального сезону (нб)
$x_7$	відсутній (в), незначний (нз), середній (с), вище середнього (вс), значний (з)
$x_{11}$	є (є), немає (нм)
$y_{01}$	ненадійна (нн), проблематична (п), надійність в межах норми (н)
$y_{02}$	простий доступ (пд), доступ з ускладненнями (ду), доступ неможливий (дн)
$y_{03}$	відсутні (в), наявні у неявній формі (нн), наявні у явній формі (ня)
$y_{04}$	практично неможлива (пн), малоймовірна (м), можлива з середньою вірогідністю (мж), можлива з високою вірогідністю (мв), можлива з дуже високою вірогідністю (двв)
$y_{05}$	практично неможлива (пн), малоймовірна (м), можлива з середньою вірогідністю (мж), можлива з високою вірогідністю (мв), можлива з дуже високою вірогідністю (двв)

Таблиця 2. Частина бази знань для стану  $d_{00}$ 

п/п	$x_1$	$x_7$	$x_{11}$	$y_{01}$	$y_{02}$	$y_{03}$	$y_{04}$	$y_{05}$	$D_0$
1	нд	нз	є	н	дн	в	пн	пн	$d_{00}$
2	нб	нз	є	н	дн	в	пн	дв	$d_{00}$
3	нб	нз	н	н	дн	в	пн	дв	$d_{00}$
4	дд	нз	н	п	ду	дв	мж	пн	$d_{00}$
5	дд	з	н	н	ду	дв	мж	пн	$d_{00}$
6	д	з	н	п	ду	дв	двв	пн	$d_{00}$

Для переходу від нечіткої бази знань до системи нечітких логічних рівнянь введемо такі позначення:  $\mu^{a_i^p}(x_i)$  – функція належності змінної  $x_i$  до лінгвістичного терма  $a_i^p$  ( $j = \overline{1, m}$ ,  $p = \overline{1, k_j}$ ,  $i = \overline{1, n}$ );  $\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – функція належності вектора параметрів  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  до діагнозу  $d_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ).

Згідно до [6] зв'язок між цими функціями може бути представленим ізоморфною до нечіткої бази знань системою нечітких логічних рівнянь.

$$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max_{p=1, k_j} \left\{ w_{pj} \cdot \min_{i=1, n} \left\{ \mu^{a_i^p}(x_i) \right\} \right\}, \quad (7)$$

$$j = \overline{1, m},$$

де  $\max(\min)$  – операція максимуму (мінімуму).

Відповідно до 7 ізоморфна до нечіткої бази знань (табл. 1) система нечітких логічних рівнянь для діагностування стану  $d_{00}$  буде представлена наступним чином:

$$\begin{aligned} \mu^{d_{00}}(D_0) = & \text{MAX}\{\text{MIN}\{\mu^{\text{нд}}(x_1), \mu^{\text{нз}}(x_7), \mu^{\text{є}}(x_{11}), \\ & \mu^{\text{н}}(y_{01}), \mu^{\text{дн}}(y_{02}), \mu^{\text{в}}(y_{03}), \mu^{\text{пн}}(y_{04}), \mu^{\text{пн}}(y_{05})\}, \\ & \text{MIN}\{\mu^{\text{нб}}(x_1), \mu^{\text{нз}}(x_7), \mu^{\text{є}}(x_{11}), \mu^{\text{н}}(y_{01}), \mu^{\text{дн}}(y_{02}), \\ & \mu^{\text{в}}(y_{03}), \mu^{\text{пн}}(y_{04}), \mu^{\text{дв}}(y_{05})\}, \\ & \text{MIN}\{\mu^{\text{нд}}(x_1), \mu^{\text{нз}}(x_7), \mu^{\text{н}}(x_{11}), \mu^{\text{н}}(y_{01}), \mu^{\text{дн}}(y_{02}), \\ & \mu^{\text{в}}(y_{03}), \mu^{\text{пн}}(y_{04}), \mu^{\text{дв}}(y_{05})\}, \\ & \text{MIN}\{\mu^{\text{дд}}(x_1), \mu^{\text{нз}}(x_7), \mu^{\text{н}}(x_{11}), \mu^{\text{п}}(y_{01}), \mu^{\text{ду}}(y_{02}), \\ & \mu^{\text{дв}}(y_{03}), \mu^{\text{мж}}(y_{04}), \mu^{\text{пн}}(y_{05})\}, \\ & \text{MIN}\{\mu^{\text{дд}}(x_1), \mu^{\text{з}}(x_7), \mu^{\text{н}}(x_{11}), \mu^{\text{н}}(y_{01}), \mu^{\text{ду}}(y_{02}), \\ & \mu^{\text{дв}}(y_{03}), \mu^{\text{мж}}(y_{04}), \mu^{\text{пн}}(y_{05})\}, \\ & \text{MIN}\{\mu^{\text{д}}(x_1), \mu^{\text{з}}(x_7), \mu^{\text{н}}(x_{11}), \mu^{\text{п}}(y_{01}), \\ & \mu^{\text{ду}}(y_{02}), \mu^{\text{дв}}(y_{03}), \mu^{\text{двв}}(y_{04}), \mu^{\text{пн}}(y_{05})\}\}. \quad (8) \end{aligned}$$

Аналогічним чином отримуємо системи нечітких логічних рівнянь для станів  $d_{01}$ ,  $d_{02}$ ,  $d_{03}$ .

На основі отриманих систем рівнянь можна діагностувати стан кожної ділянки шляхом підстановки значень вектору параметрів  $X$  до кожного рівняння (8). В якості рішення обирається стан з найбільшим ступенем належності.

### Висновки

Розглянутий метод діагностування ІМ не тільки дає можливість визначити несправну гілку (з розбіжностями значень контролюючих пристроїв), а також знайти місце пошкодження, за рахунок отримання значення станів всіх ділянок, з яких складається несправна гілка ІМ.

Даний підхід передбачає можливість роботи за умови часткової невизначеності або нечіткості вхідних параметрів за рахунок ведення бази знань, яка пов'язує параметри ділянок ІМ з їх станами.

У вигляді прикладу в статті було представлено основні етапи діагностування для випадку теплових мереж. Даний приклад містив у собі:

1) аналіз причин несправності ділянок теплової мережі, які призводять до втрати теплоносія;

2) виділення основних параметрів, за якими можна провести діагностування стану ділянки теплової мережі;

3) побудову дерева логічного висновку для діагностування причин втрати теплоносія;

4) визначення системи рівнянь, які описують взаємозв'язок між станом ділянки теплової мережі і її параметрами;

5) описання правил збереження даних у базі знань і їх перетворення для організації нечіткого логічного висновку;

6) приклад бази знань для одного із можливих станів ділянки теплової мережі;

7) отримана система нечітких логічних рівнянь для діагностування одного із можливих станів ділянки теплової мережі.

Для реалізації даного підходу на будь-якому іншому типі інженерної мережі необхідно побудувати дерево логічного висновку і наповнити базу знань, яка відповідає ІМ, що діагностується, після чого за правилом (7) побудувати систему

рівнянь і обчислити їх за параметрами ділянки ІМ, що аналізується.

В якості рішення для кожної ділянки ІМ обирається стан з найбільшим ступенем належності.

### Список літератури

1. Артамонов Є.Б. Підхід до моделювання систем теплопостачання через аналіз причин виникнення втрат теплової енергії і теплоносія в системі. – К.: Математичні машини і системи. – 2007. – № 3,4. – С. 203–210.

2. Гафаров А.Х. Анализ эффективной и надежной работы системы теплоснабжения // "Новости теплоснабжения" 2003. – №5. – С. 25–30.

3. Евдокимов А.Г., Петросов В.А. Информационно-аналитические системы управления инженерными сетями жизнеобеспечения населения. – Харьков: ХТУ-РЭ, 1998. – 412 с.

4. Слюсаренко С.Г., Рожков В.П., Субботин С.А. и др. Современные информационные технологии в эксплуатации инженерных сетей // Труды Международ. науч.-практич. конф. «Геоинформатика-2000» 15-18 сентября 2000 г. – Томск: Изд-во Томского университета, 2000. – С. 219–224.

5. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

6. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. – Винница: Континент-ПРИМ, 1996. – 132 с.

7. Теплові мережі: Навчальний посібник За ред. М. О. Прядка. – К.: Алерта, 2005. – 227 с.

Подано до редакції 22.03.10