

УДК 697.33

## Логіко-ймовірнісна оцінка ризиків аварій на трубопроводах теплових мереж

Г. С. Ратушняк<sup>1</sup>, М. В. Свідеревич<sup>2</sup><sup>1</sup>к.т.н., проф. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, ratusnag@gmail.com<sup>2</sup>асп. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, maryna.bt09@i.ua

*Анотація.* Для багатофакторного аналізу впливу різних факторів на експлуатаційну надійність теплових мереж потрібно застосовувати теорію нечіткої логіки та теорію ймовірностей. Методика логіко-ймовірнісної оцінки ризиків аварій дозволяє виконувати вибір рішення щодо підвищення ефективності систем теплопостачання та впровадження новітніх енергоефективних технологій при їхній реконструкції. За результатами аналізу експертних оцінок виникнення небезпечних ситуацій на трубопровідній частині системи теплопостачання розроблено узагальнену схему розвитку можливої аварії з урахуванням факторів, що впливають на надійність системи в цілому. Отримано значення нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на трубопроводах теплових мереж  $P^*=(0,178;0,657;0,304;0,400)$ . Оцінка дерева відмов дозволяє визначити появу події, яка може призвести до небажаного порушення роботи системи теплопостачання. Експериментальні дані спостереження за змінами вихідного показника (характеристик теплової мережі) при варіації факторів впливу за розробленою методикою дає можливість уточнювати обґрунтування прийняття рішень при управлінні надійністю системи централізованого теплопостачання з урахуванням кількісних і якісних параметрів об'єкта.

*Ключові слова:* надійність теплових мереж, нечітка логіка, теорія ймовірностей, дерево відмов, схема розвитку аварії.

**Вступ.** Безпечна експлуатація трубопроводів теплових мереж залежить від середовища, в якому вони працюють, величини тиску та температури перегрітої пари й гарячої води. Аварії трубопроводів теплових мереж виникають через низьку якість металу, незадовільне виконання монтажних і зварювальних робіт, фланцевого з'єднання або несправність арматури, контрольно-вимірювальних приладів, низьку кваліфікацію персоналу, який обслуговує обладнання теплової мережі. Складність забезпечення надійності при експлуатації трубопроводів полягає в тому, що вони мають різноманітну конфігурацію та велику кількість з'єднань трубопровідної арматури [1, 2].

Основними причинами високої аварійності при експлуатації трубопроводів є скорочення ремонтних потужностей, низькі темпи робіт із заміни трубопроводів, строк експлуатації яких вичерпано, на трубопроводи з антикорозійними покриттями, а також старіння мереж [3]. Особливо велика кількість аварій відбувається в містах у результаті витоків води із зношених комунікацій. Із зруйнованих трубопроводів вода просочується до ґрунту, підвищується рівень ґрунтових вод, виникають провали й осідання ґрунту, що веде до затоплення фундаментів. При загальній динаміці аварійності, за оцінками експертів, причинами розриву трубопроводів є: 60% випадків – гідроудари, перепади тиску та вібрації; 25% – корозійні процеси; 15% – приро-

дні явища та форс-мажорні обставини. Основними причинами аварій на магістральних трубопроводах протягом 2001...2016 рр. стали: зовнішні впливи – 4,3 % від їхньої загальної кількості); брак при будівництві – 23,2 %; зовнішня корозія – 22,5 %; брак при виготовленні труб і обладнання на заводах – 14,1 %; помилкові дії персоналу – 3%. Основна причина аварій на внутрішньопромислових трубопроводах – розриви труб, викликані внутрішньою корозією [4].

**Актуальність досліджень.** Технічний стан експлуатованих 20...30 років трубопровідних систем залишає бажати кращого. Заміна зношеного обладнання та трубопроводів арматури ведеться низькими темпами. Тому спостерігається тенденція збільшення аварійності на трубопроводному транспорті щороку на 7...9 %. Це свідчить про зменшення надійності системи теплопостачання в цілому. У зв'язку з цим виникає необхідність вчасного достовірного прогнозування виникнення небезпечних ситуацій на трубопроводах систем теплопостачання.

**Останні дослідження та публікації.** Проблеми підвищення надійності та строку служби трубопроводів досліджували І. Р. Малахова та Б. С. Федосєєв [5]. Питанням подовження строку функціонування мереж теплопостачання присвячені роботи українських та іноземних вчених О. О. Іоніна, М. К. Громова, М. М. Зингера, Е. В. Сазонова, Є. Є. Нікітіна, І. І. Капцова та С. Й. Ткаченка [6].

Артамонов Є. Б. розглядає підвищення надійності роботи теплових мереж за рахунок дистанційного визначення несправних ділянок в умовах невизначеності або нечіткості параметрів теплових мереж [7]. Кононовою М. С. у роботі [8] на основі обраної моделі процесу руйнування металу теплопроводів розроблена методика обробки статистичної інформації про пошкоджуваність теплопроводів теплових мереж.

У роботах [9-11] наведені результати визначення показників надійності теплопроводів з використанням методів статистичного моделювання. Авторами досліджуються залежності параметру потоку відмов, час напрацювання на відмову й імовірність безвідмовної роботи залежно від строку експлуатації теплопроводів теплопостачання: подавального, зворотного і теплопроводів гарячого водопостачання.

У [12-15] одержано залежності часу напрацювання на відмову для теплопроводів теплових мереж та побудовано графіки залежності часу напрацювання на відмову видів пошкоджень: свищів, поривів, засувок та інших пошкоджень теплопроводу від строку експлуатації теплових мереж. У [16] уточнено фізико-математичну модель формування параметра потоку відмов теплопроводів з урахуванням впливу окремих руйнівних факторів і їхньої сукупності та розроблено інженерну методику прогнозування параметра потоку відмов.

Більшість розроблених методик прогнозування відмов тепломереж визначають рівень надійності теплопроводів на стадії проектування. Це дозволяє використовувати їх при експлуатації мереж для розробки графіків планово-попереджувальних ремонтів. Однак, відсутність даних щодо пошкоджень теплопроводів за значний період їхньої експлуатації не дозволяє використовувати вказані методики для розрахунку показників надійності теплопроводів на значний період їхньої експлуатації. При прогнозуванні виникнення аварійної ситуації на тепломережі необхідно враховувати не тільки проектну, а й експлуатаційну надійність теплопроводів.

**Формування мети дослідження.** Метою роботи є розроблення логіко-ймовірнісної оцінки ризиків аварій на теплопроводах теплових мереж з використанням нечіткої логіки лінгвістичних змінних та теорії ймовірностей. Це дозволить більш об'єктивно оцінювати ризик аварії і, відповідно, пропонувати рішення, які будуть направлені на запобігання аварій та підвищення надійності теплопроводів теплових мереж.

**Основна частина.** Оскільки об'єктом дослідження обрано теплопровідну частину системи

теплопостачання, то узагальнену схему розвитку можливої аварії з урахуванням усіх факторів, що впливають на надійність системи в цілому, наведено на рис. 1.

Відповідно до узагальненої структурної схеми причин і наслідків розвитку аварій на теплопроводах теплових мереж (рис. 1), розроблення моделі прогнозування надійності системи визначається ідентифікацією об'єкта з одним виходом і багатьма входами. Для лінгвістичної оцінки ризиків взаємозв'язок змінних вхід-вихід задається у вигляді експертних висновків: ЯКЩО «входи», ТО «вихід», які утворюють нечіткі бази знань [17].

Для заданої системи теплопостачання вхідними є фактори, які впливають на надійність теплових мереж [18]. Вихідна змінна – імовірність виникнення аварії на теплопровідній частині системи теплопостачання в результаті зменшення її надійності. Фактори впливу на надійність теплових мереж об'єднано в три групи залежно від основних характеристик (рис.1). До групи факторів, які найбільше піддаються впливу несприятливих зовнішніх умов (група А) віднесено:  $x_1$  – товщина стінки теплопроводу;  $x_2$  – тип ізоляції;  $x_3$  – корозія;  $x_4$  – зміна електрохімічного захисту. До групи факторів, які найбільше піддаються впливу зовнішніх пошкоджень (група В), віднесено:  $x_5$  – діаметр теплопроводу,  $x_6$  – спосіб прокладання теплопроводу,  $x_7$  – приховані дефекти. До групи факторів, які найбільше піддаються динамічним навантаженням (група С), віднесено:  $x_8$  – термін експлуатації 5...26 років,  $x_9$  – подавальні теплопроводи,  $x_{10}$  – зворотні теплопроводи,  $x_{11}$  – вплив тиску теплоносія. Оцінку значень функцій належностей лінгвістичних змінних, якими є фактори впливу на надійність теплових мереж, проводимо за допомогою системи якісних термів: Н – низька; нС – нижче середнього; С – середня; вС – вище середнього; В – висока. За допомогою вхідної інформації та її лінгвістичних змінних на основі логічних операцій виконується структурна ідентифікація об'єкта "вхід-вихід".

Через велику кількість вхідних змінних побудова нечіткої бази знань ускладнюється. Для спрощення задачі використано дерево відмов, яке дає чітке уявлення про причинно-наслідкові зв'язки ризиків зниження надійності на теплопроводах теплових мереж [19]. Також використання дерева відмов дозволяє при аналізі виділити й обмежитися елементами систем і подій, що призводять до даної конкретної відмови. Узагальнене дерево відмов для теплопроводів теплових мереж наведено на рис. 2.

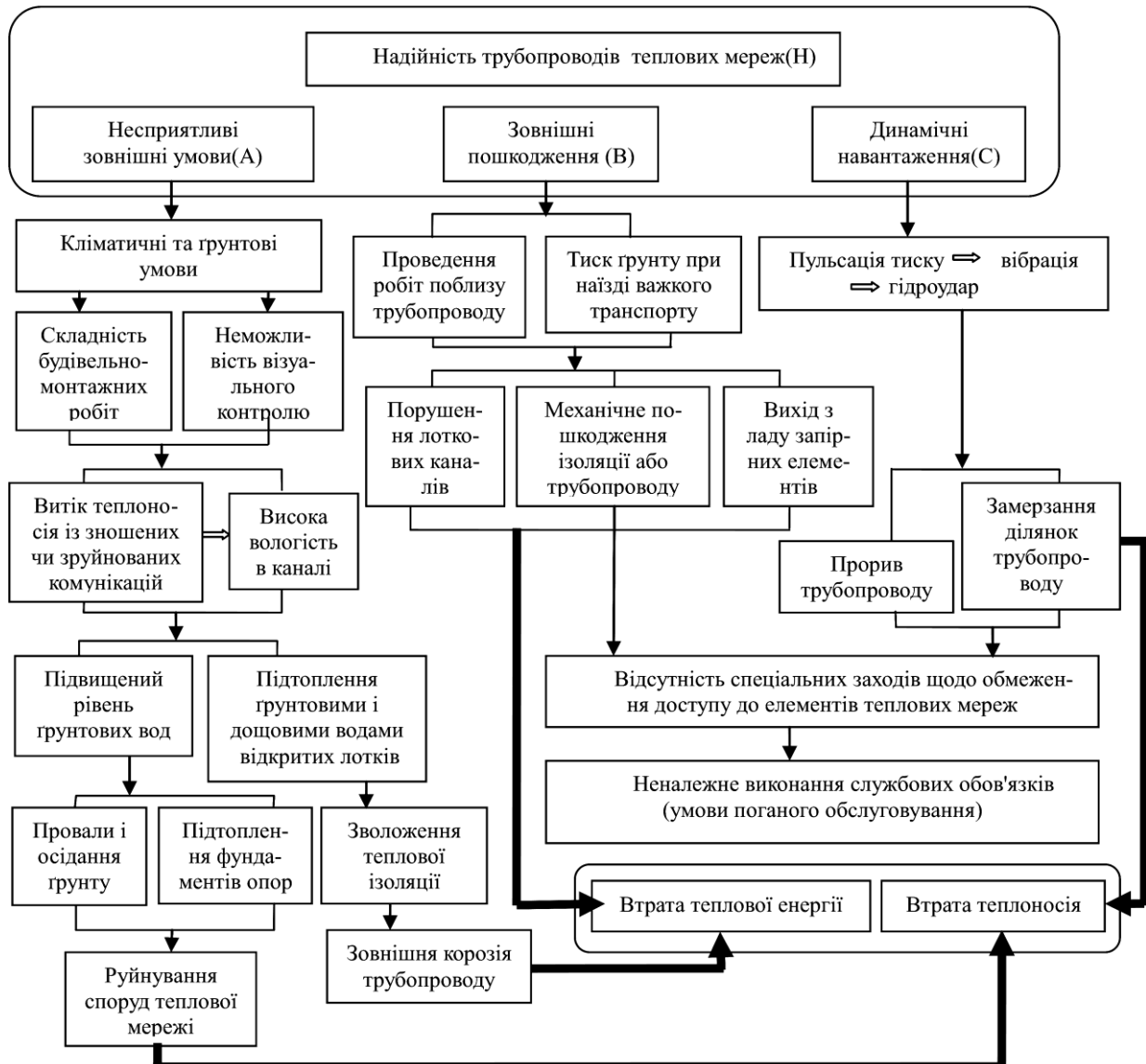


Рис. 1. Узагальнена структурна схема причин та наслідків розвитку аварії на трубопроводах теплових мереж

При побудові узагальненого дерева відмов імовірнісного аналізу ризиків, що сприяють виникненню аварій на трубопроводах теплових мереж, прийнято позначення факторів відповідно до структурної схеми причин та наслідків розвитку аварій на трубопроводах теплових мереж (рис. 1).

Імовірність відмови трубопроводів теплових мереж  $P(t)$  на будь-якому рівні для входів АБО дерева відмов може бути розраховано за допомогою наступного рівняння [20]:

$$P_n = \left[ \left( \prod_{i=1}^L P_{n-1}^i \right) \vee \left( \prod_{i=1}^L P_{n-1}^i \right) \right], \quad (1)$$

де  $P_n$  – нечітка ймовірність виникнення події на  $n$ -му рівні;  $P_{n-1}^i$  – нечітка ймовірність виникнення  $i$ -ої події на  $n-1$  рівні;  $i=1 \dots L$  – кількість подій даного рівня.

Для оцінки адекватності отриманих результатів визначено ймовірності виникнення ситуації, що призведе до зниження надійності трубопроводу та в подальшому може спровокувати виникнення аварії.

Одержані в результаті розрахунків функції належностей факторів впливу на надійність трубопроводів теплових мереж є оцінкою ймовірності базових подій дерева відмов і позначено як  $P_{x1}, \dots, P_{x11}$  (табл. 1).

Імовірності для головної події в дереві відмов визначаються із співвідношень (2-5) (табл. 2):

$$P_A = 1 - (1 - 0,102) \cdot (1 - 0,154) \times (1 - 0,184) \cdot (1 - 0,033) = 0,4;$$

$$P_B = 1 - (1 - 0,121) \cdot (1 - 0,032) \cdot (1 - 0,034) = 0,178;$$

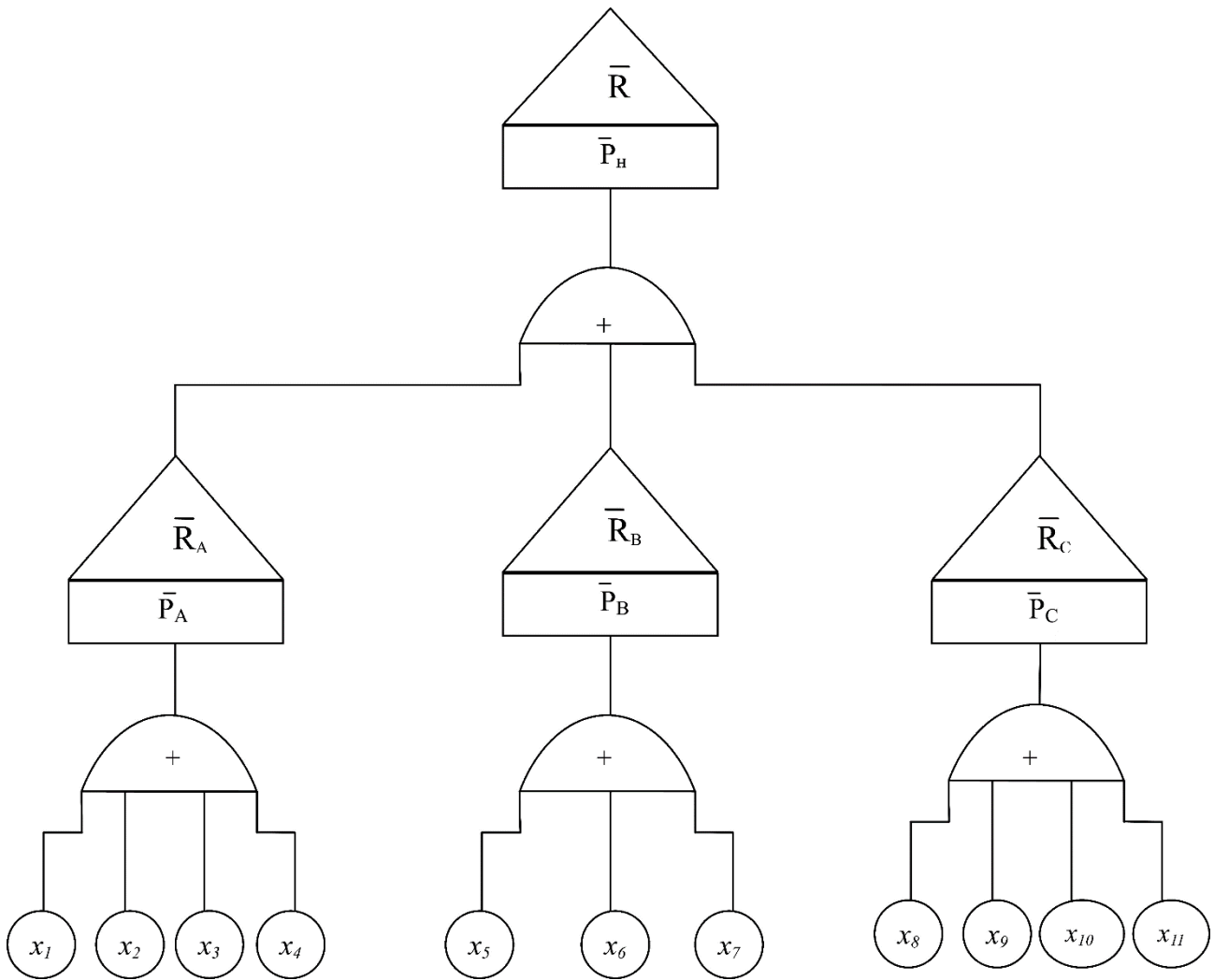


Рис. 2. Узагальнене дерево відмов, що сприяють виникненню аварій на трубопроводах теплових мереж

$$P_C = 1 - (1 - 0,187) \cdot (1 - 0,043) \times (1 - 0,03) \cdot (1 - 0,078) = 0,304;$$

$$P_H = 1 - (1 - 0,4) \cdot (1 - 0,178) \cdot (1 - 0,304) = 0,657.$$

Значення границь нечітких імовірностей прийнято:

- ймовірність впливу групи факторів  $A$  на виникнення аварійної ситуації на трубопроводах теплових мереж ( $P_A$ ) виступає верхньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на першому рівні ( $q_1^{верх}$ );
- ймовірність впливу групи факторів  $C$  на виникнення аварійної ситуації ( $P_C$ ) виступає нижньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на одиничному рівні ( $q_1^{нижн}$ );

- $P_H$  є верхньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на нульовому рівні ( $q_0^{верх}$ );
- $P_B$  - ймовірність впливу групи факторів  $B$  на виникнення аварійної ситуації на трубопроводах теплових мереж – є нижньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на нульовому рівні ( $q_0^{нижн}$ ) [21].

Таким чином, маємо наступне значення нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на трубопроводах теплових мереж

$$P^- = (0,178; 0,657; 0,304; 0,400).$$

Функцію належності для нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на трубопроводах теплових мереж  $P_H$  наведено на рис.3.

Таблиця 1

Власні вектори та вектори пріоритетів матриці для порівняння відносної ваги елементів на другому рівні по відношенню до загальної мети на першому рівні

	Власний вектор	Вектор пріоритету ( $\sum P \leq 1$ )
Рядок 1 ( $x_1$ - товщина стінки трубопроводу)	$m_1 = 2,43$	$P_1 = 0,187$
Рядок 2 ( $x_2$ - тип ізоляції)	$m_2 = 0,56$	$P_2 = 0,043$
Рядок 3 ( $x_3$ - корозія)	$m_3 = 0,40$	$P_3 = 0,03$
Рядок 4 ( $x_4$ - зміна електрохімічного захисту)	$m_4 = 1,57$	$P_4 = 0,121$
Рядок 5 ( $x_5$ - діаметр трубопроводу)	$m_5 = 1,33$	$P_5 = 0,102$
Рядок 6 ( $x_6$ - спосіб прокладання трубопроводу)	$m_6 = 0,41$	$P_6 = 0,032$
Рядок 7 ( $x_7$ - приховані дефекти)	$m_7 = 2,0$	$P_7 = 0,154$
Рядок 8 ( $x_8$ - термін експлуатації 5-26 років)	$m_8 = 2,39$	$P_8 = 0,184$
Рядок 9 ( $x_9$ - подавальні трубопроводи)	$m_9 = 0,44$	$P_9 = 0,034$
Рядок 10 ( $x_{10}$ - зворотні трубопроводи)	$m_{10} = 1,01$	$P_{10} = 0,078$
Рядок 11 ( $x_{11}$ - вплив тиску теплоносія)	$m_{11} = 0,43$	$P_{11} = 0,033$
	$\sum m = 12,97$	$\sum P = 0,998$

Таблиця 2

Формули розрахунку ймовірностей подій

Номер рівня	Вихідна подія	Логічна операція	Формула розрахунку
1	A	АБО	$P_A = 1 - (1 - P_{x1}) \cdot (1 - P_{x2}) \cdot (1 - P_{x3}) \cdot (1 - P_{x4})$ (2)
1	B		$P_B = 1 - (1 - P_{x5}) \cdot (1 - P_{x6}) \cdot (1 - P_{x7})$ (3)
1	C		$P_C = 1 - (1 - P_{x8}) \cdot (1 - P_{x9}) \cdot (1 - P_{x10}) \cdot (1 - P_{x11})$ (4)
2	H		$P_H = 1 - (1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_C)$ (5)

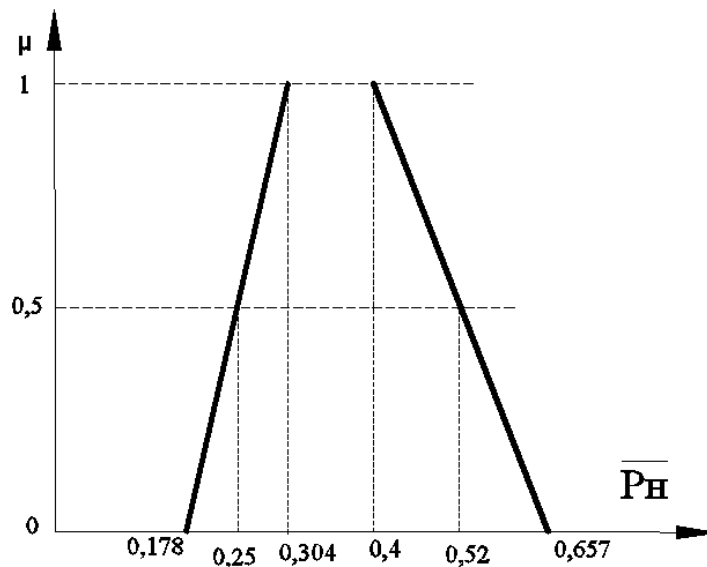


Рис. 3. Функція належності для нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації на трубопроводах теплових мереж  $P_H$

**Висновки.** Аналіз функції належності (рис. 3) свідчить, що нижня оцінка виникнення аварійної ситуації на трубопроводах теплових мереж при відповідних вхідних даних про їх технічний стан  $P_{\text{нижн}} = 0,178$  та верхня  $P_{\text{верх}} = 0,657$ . Найбільш ймовірний діапазон оцінок виникнення аварій на трубопроводах відповідно до узагальненого дерева відмов (рис. 2) становить в межах від 0,25 до 0,52. Запропонована модель оцінки ризиків дозволяє

розробляти організаційно-технічні рішення щодо зменшення ймовірності виникнення аварійної ситуації.

**Перспективи подальших досліджень.** Доцільним є проведення натурного експерименту для уточнення експертних значень лінгвістичних змінних, що впливають на параметри функціонування теплових мереж і виникнення аварійних ситуацій на трубо-провідній частині системи теплопостачання.



### Література

1. Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води: НПАОП 0.00-1.11-98. – Чинний від 2007-10-01. – Комітет з нагляду за охороною праці М-ва праці та соц. політики України: із змінами від 2007-10-01. – Харків: Індустрія, 2008. – 128 с.
2. ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. – Чинний від 2009-07-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 149 с.
3. Євтухова Т. О. Сучасний стан комунальної енергетики України / Т. О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №17. – С. 31-36.
4. Кулик М. М. Аналіз стану розвитку систем теплопостачання в Україні / М. М. Кулик, Г. О. Куц, В. Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – №14. – С. 13-24.
5. Федосеев Б. С. О нормах водно-химического режима для теплосети / Б. С. Федосеев // Теплоэнергетика. – 1994. – №8. – С. 76-80.
6. Капцов І. І. Аналіз пошкоджуваності теплопроводів і трубопроводів гарячого водопостачання теплових мереж / І. І. Капцо, О. М. Лобко / Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2010. – Вип. 14. – С. 61-65.
7. Артамонов Є. Б. Методи і алгоритми діагностування стану ділянок теплових мереж: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Артамонов Є. Б.; Інститут проблем математичних машин і систем НАН України. – Київ, 2011. – 20 с.
8. Кононова М. С. Прогнозирование состояния трубопроводов тепловых сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Кононова М. С.; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2000. – 22 с.
9. Умеркин Г. Х. Определение остаточного ресурса тепловых сетей по статистическим данным об авариях / Г. Х. Умерки, С. А. Дроздов, А. М. Гончаров, Н. Н. Демиденко // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 11. – С. 42-46.
10. Соколов Е. Я. Количественный расчет надежности систем теплоснабжения / Е. Я. Соколов, А. В. Извеков // Теплоэнергетика. – 1990. – № 9. – С. 14-15.
11. Соколов Е. Я. Нормирование надежности систем централизованного теплоснабжения / Е. Я. Соколов, А. В. Извеков, В. А. Малофеев // Электрические станции. – 1993. – № 12. – С. 20-24.
12. Малявіна О. М. Дослідження показників надійності теплових мереж методами статистичного моделювання / О. М. Малявіна // Науковий вісник будівництва: наук.-техн. зб./ ХДТУБА. – Харків, 2010. – Вип. 61. – С. 286-291.
13. Лобко О. М. Методика вибору шагу експлуатації теплопроводів при дослідженні їх пошкоджуваності / О. М. Лобко // Науковий вісник будівництва: наук.-техн. зб. / ХДТУБА. – Харків, 2010. – Вип.58. – С. 196-202.
14. Сазонов Э. В. Сравнительный анализ эмпирических функций распределения отказов городских теплопроводов / Э. В. Сазонов, М. С. Кононова // Известия вузов: Строительство. – 2000. – № 7-8. – С. 85-87.
15. Сазонов Э. В. Реализация метода прогнозирования состояния трубопроводов тепловых сетей на ЭВМ // Э. В. Сазонов, А. А. Кононов, М. С. Кононова // Изв. вузов: Строительство. – 2001. – № 7. – С. 68-70.
16. Плавич А. Ю. Оценка и обеспечение уровня надежности водяных тепловых сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Плавич А. Ю.; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород. – РГБ, 2005. – 17 с.
17. Ротштейн О. П. Интеллектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі / О.П. Ротштейн. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 1999. – 320 с.
18. Ратушняк Г. С. Оцінювання впливу конструктивних характеристик теплових мереж на їх надійність з використанням нечіткої логіки / Г. С. Ратушняк, М. В. Свідеревич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2017. – №1 (22). – С. 41-48.
19. Копей Б. В. Використання “дерева відмов” як методу структурного аналізу штангової насосної установки / Б. В. Копей, В. Б. Копей, О. Р. Мартинець, О. І. Стефанишин, А. Б. Стефанишин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 2(47). – С. 62-71.
20. Хобта В. М. Оптимізація вибору технології будівництва як засобу підвищення конкурентоспроможності будівельних підприємств / В. М. Хобта, О. І. Кісельова // Теоретичні і прикладні питання економіки: зб. наук. пр. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. – Вип. 16. – С. 36-46.
21. Кравець В. О. Аналіз методів побудови функцій приналежності при обробці експертних знань / В. О. Кравець, В. В. Шевцова, А. В. Савченко / Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 126-132.

### References

1. Pravyła budovy i bezpechnoi ekspluatatsii truboprovodiv pary ta hariachoi vody. NPAOP 0.00-1.11-98, Industriia, 2008.
2. Inzhenerne obladnannya budynkiv i sporud. Zovnishni merezhi ta sporudy. Teplovi merezhi. DBN V.2.5-39:2008, Minrehionbud Ukrainy, 2008.
3. Yevtukhova T. O. "Suchasnyi stan komunalnoi enerhetyky Ukrainy." Problemy zahalnoi enerhetyky, no. 17, 2008.
4. Kulyk M. M. "Analiz stanu rozvytku system teplopостachannya v Ukraini." Problemy zahalnoi enerhetyky, no. 14, 2006.
5. Fedoseev B. S. "O normakh vodno-khymycheskoho rezhyma dlia teplosety." Teploenerhetyka, no. 8, 1994.
6. Kaptsov I. I. "Analiz poskodzhuvanosti teploprovodiv i truboprovodiv hariachoho vodopostachannia teplovymerezhyh." Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohapostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Iss. 14, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2010, pp. 61-65.
7. Artamonov Ye. B. Metody i alhorytmy diahnostuvannya stanu dilyanok teplovykh merezh. Diss. abstract. Instytut problem matematychnykh mashyn i system NAN Ukrainy, 2011.
8. Kononova M. S. Prognozirovanie sostoyaniya truboprovodov teplovykh setey. Diss. abstract. Voronezhskiy gosudarstvenniy arhitekturno-stroitelniy universitet, 2000.
9. Umerkin G. H. "Opredelenie ostatochnogo resursa teplovykh setey po statisticheskim dannim ob avariayah." Novosti teplosnabzheniya, no. 11, 2007.
10. Sokolov E. Ya. "Kolichestvenniy raschet nadezhnosti sistem teplosnabzheniya." Teploenergetika, no. 9, 1990.
11. Sokolov E. Ya., Izvekova A. V., Malofeev V. A. "Normirovanie nadezhnosti sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya." Elektricheskie stantsii, no. 12, 1993.
12. Maliavina O. M. "Doslidzhennia pokaznykiv nadiinosti teplovykh merezh metodamy statystychnoho modeliuвання." Naukovyi visnyk budivnytstva: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, KhDTUBA, Kharkiv, 2010, no. 61, pp. 286-291.
13. Lobko O. M. "Metodyka vyboru shahu ekspluatatsii teploprovodiv pry doslidzhenni yikh poskodzhuvanosti." Naukovyi visnyk budivnytstva: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Kharkiv, 2010, no. 58, pp. 196-202.
14. Sazonov E. V., Kononova M. S. "Sravnitelniy analiz empiricheskikh funktsiy raspredeleniya otkazov gorodskih teploprovodov." Izvestiya vuzov: Stroitelstvo, no. 7-8, 2000, pp. 85-87.
15. Sazonov E. V., Kononov A. A., Kononova M. S. "Realizatsiya metoda prognozirovaniya sostoyaniya truboprovodov teplovykh setey na EVM." Izvestiya vuzov: Stroitelstvo, no. 7, 2001, pp. 68-70.
16. Plavich A. Yu. Otsenka i obespechenie urovnya nadezhnosti vodyanykh teplovykh setey. Diss. abstract. Nizhegorodskiy gosudarstvenniy arhitekturno-stroitelniy universitet, 2005.
17. Rotshtein O.P. Intelektualni tekhnolohii identyfikatsii: nechitki mnozhyny, henetychni alhorytmy, neironni merezhi. Universum-Vinnytsia, 1999.
18. Ratushnyak H. S., Sviderevych M. V. "Otsinyuvannya vplyvu konstruktyvnykh kharakterystyk teplovykh merezh na yikh nadiinist z vykorystanniam nechitkoi lohiky." Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi, UNIVERSUM-Vinnytsia, no.1 (22), 2017, pp.41-48.
19. Kopei B. V. "Vykorystannia "dereva vidmov" yak metodu strukturnoho analizu shtanhovoi nasosnoi ustanovky." Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch, no. 2(47), 2013, pp. 62-71.
20. Khobta V. M., Kiseleva O. I. "Optimizatsiia vyboru tekhnolohii budivnytstva yak zasobu pidvyshchennia konkurentospromozhnosti budivelnykh pidpriemstv." Teoretichni i prykladni pytannia ekonomiky: zb. nauk. pr. vydavnycho-poligrafichnyi tsentr "Kyivskiy universytet", 2008, Iss. 16, pp. 36-46.
21. Kravets V. O., Shevtsova V. V., Savchenko A. V. "Analiz metodiv pobudovy funktsii prynalezhnosti pry obrobtsti ekspertnykh znan." Visnyk NTU «KhPI». Serii: Tekhnika ta elektrofizyka vysokykh napruh, no.52 (958), 2012..

УДК 697.33

## Логико-вероятностная оценка рисков аварий на трубопроводах тепловых сетей

Г. С. Ратушняк<sup>1</sup>, М. В. Свідеревич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., проф. Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина, ratusnakg@gmail.com

<sup>2</sup>асп. Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина, maryna.bt09@i.ua

*Аннотация.* Для многофакторного анализа влияния различных факторов на эксплуатационную надёжность тепловых сетей необходимо применять теорию нечёткой логики и теории вероятностей. Методика логико-вероятностной оценки рисков аварий позволяет выполнять выбор решения по повышению эффективности систем теплоснабжения и внедрением новейших энергосберегающих технологий при их реконструкции. По результатам анализа экспертных оценок возникновения опасных ситуаций на трубопроводной части системы теплоснабжения разработана обобщённая схема развития возможной аварии с учётом факторов, влияющих на надёжность системы в целом. Получено значение нечёткой вероятности возникновения аварийной ситуации на трубопроводах тепловых сетей  $P^* = (0,178; 0,657; 0,304; 0,400)$ . Оценка дерева отказов позволяет определить появление события, которое может привести к нежелательному нарушению работы системы теплоснабжения. Экспериментальные данные наблюдения за изменениями исходного показателя (характеристик тепловой сети) при вариации факторов влияния по разработанной методике даёт возможность уточнять обоснования принятия решений при управлении надёжностью системы централизованного теплоснабжения с учётом количественных и качественных параметров объекта.

*Ключевые слова:* надёжность тепловых сетей, нечёткая логика, теория вероятностей, дерево отказов, схема развития аварии.

UDC 697.33

## Logical-Probabilistic Assessment of the Risks of Accidents on the Pipelines of Heating Networks

G. Ratushnyak<sup>1</sup>, M. Sviderevych<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D, professor. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ratusnakg@gmail.com

<sup>2</sup>Post-graduate student. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, maryna.bt09@i.ua

*Abstract.* For multi-factor analysis of the influence of various factors on the operational reliability of thermal networks, there is a need to apply the theory of fuzzy logic and probability theory. The methodology of logical-probabilistic accident risk assessment allows making choices regarding the efficiency of heat supply systems and the introduction of the latest energy-saving technologies during their reconstruction. Based on the analysis of expert assessments of the emergence of hazardous situations on the pipeline part of the heat supply system, a generalized scheme for the development of a possible accident, taking into account the factors affecting the reliability of the system in general, has been developed. The value of the fuzzy probability of emergency occurrence on the pipelines of heat networks  $P^* = (0,178; 0,657; 0,304; 0,400)$  was obtained. The evaluation of the bounce tree allows determining the occurrence of an event that can lead to an unwanted violation of the heat supply system. Experimental data on the monitoring of changes in the initial indicator (characteristics of the thermal network) in the variation of the factors of influence on the developed method makes it possible to specify the justification of decision-making in the management of the reliability of the district heating system, taking into account the quantitative and qualitative parameters of the object.

*Key words:* reliability of heating networks, fuzzy logic, probability theory, tree of failures, scheme of development of an accident.

Надійшла до редакції / Received 12.12.2017