

# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 697.9

Г. С. Ратушняк  
М. В. Свідеревич

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ НА ЇХ НАДІЙНІСТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Вінницький національний технічний університет

*Виконано аналіз та синтез факторів, що впливають на надійність теплових мереж. З метою створення експертно-моделювальної системи для багатофакторного аналізу впливу на надійність теплових мереж застосовано теорію нечіткої логіки. За результатами аналізу ієрархічної сукупності співвідношень побудовано дерево логічного висновку. Запропоновані нечіткі матриці знань про співвідношення на системному рівні впливу конструктивних характеристик теплових мереж на їх надійність. Отримано модель нечіткого логічного висновку для оцінювання впливу конструктивних характеристик трубопроводів теплових мереж на надійність систем централізованого теплопостачання, яка дозволить в подальшому виконати чисельне моделювання, що забезпечить можливість оптимізації конструктивних характеристик на мережах теплопостачання.*

**Ключові слова:** нечітка логіка, надійність теплових мереж, лінгвістична змінна.

### Вступ

Підвищення енергоощадності систем централізованого теплопостачання потребує аналізу та синтезу факторів, що впливають на їх надійність [1-5]. В зв'язку з цим, для підвищення довговічності мереж і забезпечення якісного теплопостачання необхідним є розроблення математичних моделей з прогнозуванням надійності теплових мереж [6]. Саме тому з метою створення експертно-моделювальної системи для багатофакторного аналізу впливу різних факторів на надійність теплових мереж є потреба застосувати теорію нечіткої логіки [7]. Цей метод дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для вибору рішення щодо підвищення ефективності систем теплопостачання та впровадження новітніх енергозберігаючих технологій при їх реконструкції.

Оцінювання впливу конструктивних характеристик теплових мереж на їх надійність з використанням нечіткої логіки дозволяє забезпечити можливість спостереження за змінами вихідного показника (конструктивних характеристик теплової мережі) при варіації факторів впливу [8-9].

Метою роботи є визначення впливу конструктивних характеристик теплових мереж на їх надійність, що дозволить з використанням теорії нечіткої логіки виявити найбільш важливі з них для підвищення ефективності систем теплопостачання та оптимізувати їх.

### Основна частина

Використання теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних дозволяє на основі віртуального експерименту розробити методику інтелектуальної підтримки прийняття рішень при управлінні надійністю систем централізованого теплопостачання з врахуванням кількісних й якісних параметрів об'єкта. Цей метод як взаємозв'язана сукупність математичних моделей дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для прогнозування технічного стану теплових мереж в залежності від факторів, що його обумовлюють. Для встановлення ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на надійність теплових мереж, виконана їх класифікація за параметрами: термін експлуатації, призначення, конструктивні характеристики, руйнуючі фактори [10].

На рис.1 наведена класифікація факторів, що впливають на надійність теплових мереж.

Розглядаючи цей процес на системному рівні, лінгвістичну змінну  $Y_{TM}$ , що характеризує вплив певних факторів на надійність теплових мереж, можна представити у вигляді співвідношення

$$Y_{TM} = f_y(X_1; X_2; X_3; X_4), \quad (1)$$

де  $X_1$  – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує термін експлуатації теплових мереж;

$X_2$  – ЛЗ, що описує призначення теплових мереж;

$X_3$  – ЛЗ, що описує конструктивні характеристики теплових мереж;

$X_4$  – ЛЗ, що описує руйнуючі фактори.

Лінгвістичну змінну, що описує конструктивні характеристики теплових мереж, можна розгорнути в співвідношення

$$X_3 = f_x(x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}), \quad (2)$$

де  $x_{31}$  –ЛЗ «діаметр трубопроводу»;

$x_{32}$  –ЛЗ «товщина стінки трубопроводу»;

$x_{33}$  –ЛЗ «технологія прокладання»;

$x_{34}$  –ЛЗ «тип ізоляції».

В рівняння (4) входять змінні  $x_{33}$ ,  $x_{34}$ , які в свою чергу залежать від інших змінних

$$x_{33} = f_{x_{33}}(z_1, z_2); \quad (3)$$

$$x_{34} = f_{x_{34}}(c_1, c_2), \quad (4)$$

де  $z_1$  – ЛЗ «безлоткове прокладання»;

$z_2$  – ЛЗ «лоткове прокладання»;

$c_1$  – ЛЗ «попередня ізоляція»;

$c_2$  – ЛЗ «звичайна ізоляція».

За результатами аналізу ієрархічної сукупності співвідношень (1)-(4) побудовано дерево логічного висновку (рис. 2) у вузлах якого позначені номери формул (1)-(4). Оцінка значень лінгвістичних змінних, які наведені в співвідношеннях (1)-(4), проводяться 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 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Вплив конструктивних характеристик на надійність теплових мереж як лінгвістичні змінні**

Позначення та назва змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
$x_{31}$ – діаметр трубопроводу	від 50 до 500 мм	Малий, середній, великий
$x_{32}$ – товщина стінки трубопроводу	від 3 до 15 мм	Мала, середня, велика
$z_1$ – безлоткове прокладання	1-5 бали	Присутнє, частково присутнє, відсутнє
$z_2$ – лоткове прокладання	1-3 бали	Присутнє, частково присутнє, відсутнє
$c_1$ – попередня ізоляція	0,019-0,033 Вт/(м <sup>2</sup> К)	Повна, часткова, відсутня
$c_2$ – звичайна ізоляція	0,033-0,058 Вт/(м <sup>2</sup> К)	Повна, часткова, відсутня

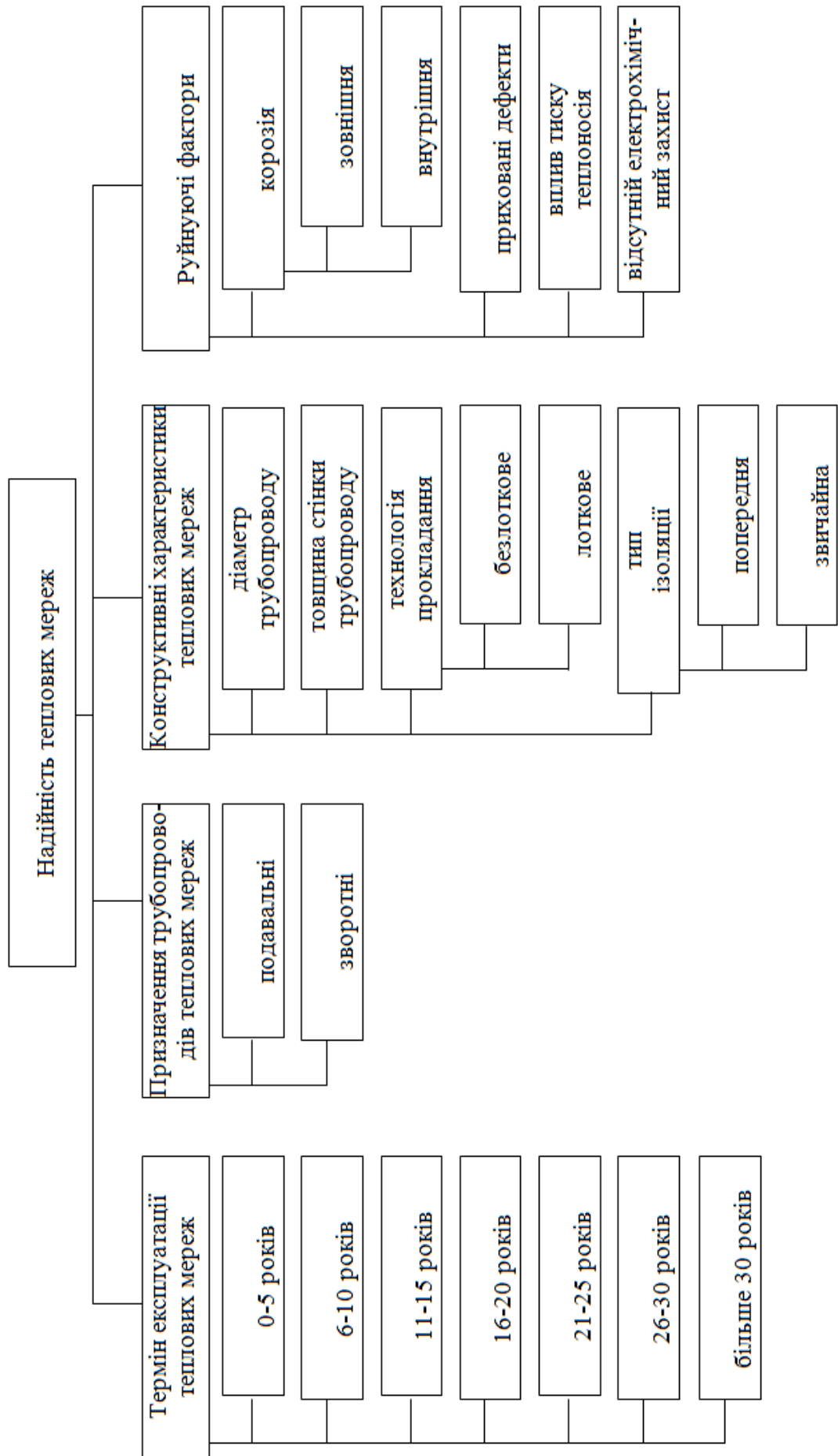


Рис. 1. Класифікація факторів, що впливають на надійність теплових мереж

Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків конструктивних характеристик теплових мереж як факторів, що впливають на оцінку надійності теплових мереж наведено на рис. 2.

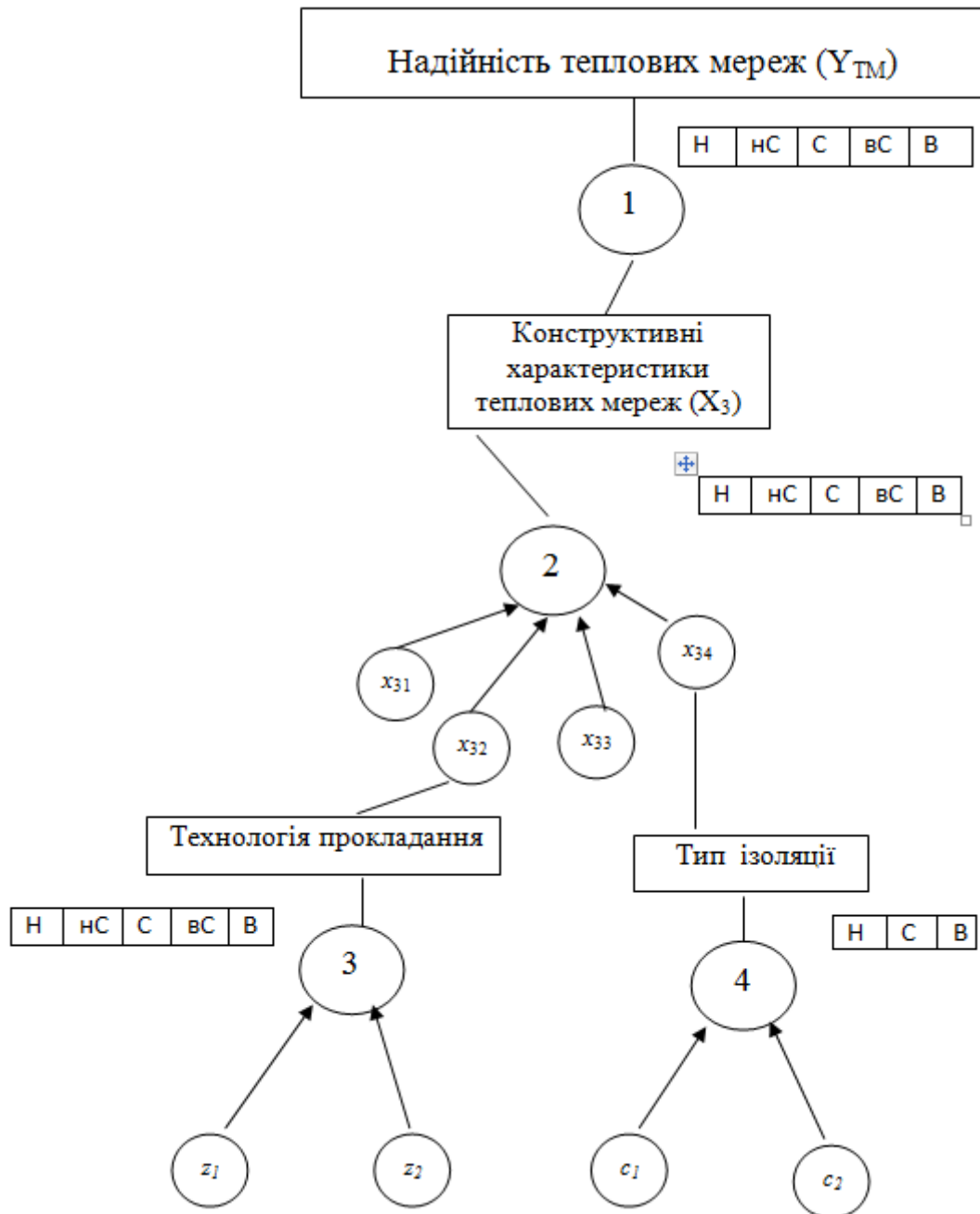


Рис. 2. Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків конструктивних характеристик теплових мереж як факторів, що впливають на оцінку надійності теплових мереж

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що зв'яє конструктивні характеристики ( $X_3$ ) з діаметром трубопроводу ( $x_{31}$ ), товщиною стінки трубопроводу ( $x_{32}$ ), технологією прокладання ( $x_{33}$ ), типом ізоляції ( $x_{34}$ ) виконується з використанням системи терм-множини:

$T(X_3) = \langle \text{низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі} \rangle;$

$T(x_{31}) = \langle \text{малий, середній, високий} \rangle;$

$T(x_{32}) = \langle \text{мала, середня, висока} \rangle;$

$T(x_{33}) = \langle \text{низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі} \rangle;$

$T(x_{34}) = \langle \text{низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі} \rangle.$

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

Матриця знань для залежності (2)

ЯКЩО				ТО
Діаметр трубопроводу (x <sub>31</sub> )	Товщина стінки трубопроводу (x <sub>32</sub> )	Технологія прокладання (x <sub>33</sub> )	Тип ізоляції (x <sub>34</sub> )	Конструктивні характеристики теплових мереж (X <sub>3</sub> )
Малий (М)	Мала (М)	Низька(Н)	Низька(Н)	Низькі (Н)
Середній (С)	Мала (М)	Низька(Н)	Низька(Н)	
Середній (С)	Середня (С)	Низька(Н)	Низька(Н)	Нижче середнього (нС)
Середній (С)	Мала (М)	Нижче середнього (нС)	Середня (С)	
Середній (С)	Середня (С)	Нижче середнього (нС)	Середня (С)	Середні (С)
Середній (С)	Середня (С)	Середня (С)	Середня (С)	
Середній (С)	Середня (С)	Середня (С)	Висока (В)	Вище середнього (вС)
Великий (В)	Середня (С)	Вище середнього (вС)	Висока (В)	
Великий (В)	Велика (В)	Вище середнього (вС)	Висока (В)	Високі (В)
Великий (В)	Середня (С)	Висока (В)	Висока (В)	

Лінгвістичним висловлюванням, що наведені в табл. 2, відповідає система нечіких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних по відповідному терму:

$$\mu_H(X_3) = \mu_M(x_{31}) \wedge \mu_M(x_{32}) \wedge \mu_H(x_{33}) \wedge \mu_H(x_{34}) \vee \mu_C(x_{31}) \wedge \mu_M(x_{32}) \wedge \mu_H(x_{33}) \wedge \mu_H(x_{34}); \quad (5)$$

$$\mu_{nC}(X_3) = \mu_C(x_{31}) \wedge \mu_C(x_{32}) \wedge \mu_H(x_{33}) \wedge \mu_H(x_{34}) \vee \mu_C(x_{31}) \wedge \mu_M(x_{32}) \wedge \mu_{nC}(x_{33}) \wedge \mu_C(x_{34}); \quad (6)$$

$$\mu_C(X_3) = \mu_C(x_{31}) \wedge \mu_C(x_{32}) \wedge \mu_{nC}(x_{33}) \wedge \mu_C(x_{34}) \vee \mu_C(x_{31}) \wedge \mu_C(x_{32}) \wedge \mu_C(x_{33}) \wedge \mu_C(x_{34}); \quad (7)$$

$$\mu_{vC}(X_3) = \mu_C(x_{31}) \wedge \mu_C(x_{32}) \wedge \mu_C(x_{33}) \wedge \mu_B(x_{34}) \vee \mu_B(x_{31}) \wedge \mu_C(x_{32}) \wedge \mu_{vC}(x_{33}) \wedge \mu_B(x_{34}); \quad (8)$$

$$\mu_B(X_3) = \mu_B(x_{31}) \wedge \mu_B(x_{32}) \wedge \mu_{vC}(x_{33}) \wedge \mu_B(x_{34}) \vee \mu_B(x_{31}) \wedge \mu_C(x_{32}) \wedge \mu_B(x_{33}) \wedge \mu_B(x_{34}). \quad (9)$$

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

$$\mu_H(x_{33}) = \mu_{Bo}(z_1) \wedge \mu_{Bo}(z_2) \vee \mu_{чПр}(z_1) \wedge \mu_{Bo}(z_2); \quad (10)$$

$$\mu_{nC}(x_{33}) = \mu_{Пр}(z_1) \wedge \mu_{Bo}(z_2) \vee \mu_{чПр}(z_1) \wedge \mu_{Bo}(z_2); \quad (11)$$

$$\mu_C(x_{33}) = \mu_{чПр}(z_1) \wedge \mu_{чПр}(z_2) \vee \mu_{Вд}(z_1) \wedge \mu_{Пр}(z_2); \quad (12)$$

$$\mu_{вС}(x_{33}) = \mu_{чПр}(z_1) \wedge \mu_{Пр}(z_2) \vee \mu_{Пр}(z_1) \wedge \mu_{чПр}(z_2); \quad (13)$$

$$\mu_B(x_{33}) = \mu_{Пр}(z_1) \wedge \mu_{Пр}(z_2) . \quad (14)$$

Таблиця 3

Матриця знань для залежності (3)

ЯКЩО		ТО
Безлоткове прокладання (z <sub>1</sub> )	Лоткове прокладання (z <sub>2</sub> )	Технологія прокладання (x <sub>33</sub> )
Відсутнє(Вд)	Відсутнє(Вд)	Низька (Н)
Частково присутнє (чПр)	Відсутнє(Вд)	
Присутнє (Пр)	Відсутнє(Вд)	Нижче середнього (нС)
Частково присутнє (чПр)	Відсутнє(Вд)	
Частково присутнє (чПр)	Частково присутнє (чПр)	Середня (С)
Відсутнє(Вд)	Присутнє (Пр)	
Частково присутнє (чПр)	Присутнє (Пр)	Вище середнього (вС)
Присутнє (Пр)	Частково присутнє (чПр)	
Присутнє (Пр)	Присутнє (Пр)	Висока (В)

Таблиця 4

Матриця знань для залежності (4)

ЯКЩО		ТО
Попередня ізоляція (c <sub>1</sub> )	Звичайна ізоляція (c <sub>2</sub> )	Тип ізоляції (x <sub>34</sub> )
Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Низька (Н)
Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	
Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Середня (С)
Часткова (Ч)	Повна (П)	
Повна (П)	Повна (П)	Висока (В)
Повна (П)	Часткова (Ч)	

Лінгвістичним висловлюванням, що наведені в табл. 4, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних по відповідному терму:

$$\mu_H(x_{34}) = \mu_{Вд}(c_1) \wedge \mu_{Вд}(c_2) \vee \mu_{Вд}(c_1) \wedge \mu_{ч}(c_2); \quad (15)$$

$$\mu_C(x_{34}) = \mu_C(z_1) \wedge \mu_C(z_2) \vee \mu_C(z_1) \wedge \mu_{II}(z_2); \quad (16)$$

$$\mu_B(x_{34}) = \mu_{II}(z_1) \wedge \mu_{II}(z_2) \vee \mu_{II}(z_1) \wedge \mu_C(z_2). \quad (17)$$

Системи нечітких логічних рівнянь (1)-(17) дають змогу уявити поверхню належності змінних  $(x_{31}), (x_{32}), (x_{33}), (x_{34})$  по відповідним термам, щодо кожного лінгвістичного висловлювання.

Щоб перейти від отриманих нечітких множин до кількісної оцінки, необхідно виконати процедуру дефазифікації, тобто перетворення нечіткої інформації в чітку форму, використавши один із відомих методів дефазифікації. Модель нечіткого логічного висновку разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника (конструктивних характеристик теплової мережі) при варіації факторів впливу.

### Висновки

- Виконано аналіз та синтез факторів, що впливають на надійність теплових мереж.
- З метою створення експертно-моделювальної системи для багатофакторного аналізу впливу різних факторів на надійність теплових мереж застосовано теорію нечіткої логіки.
- За результатами аналізу ієрархічної сукупності співвідношень (1)-(4) побудовано дерево логічного висновку для визначення впливу конструктивних характеристик теплових мереж на їх надійність.
- Запропоновані нечіткі матриці знань про співвідношення на системному рівні впливу конструктивних характеристик теплових мереж на їх надійність.
- Отримано модель нечіткого логічного висновку для оцінювання впливу конструктивних характеристик трубопроводів теплових мереж на надійність систем централізованого теплопостачання, яка дозволяє в подальшому виконати чисельне моделювання, що забезпечить можливість оптимізації конструктивних характеристик при проведенні відновлювальних робіт на мережах теплопостачання. Системи нечітких логічних рівнянь (1)-(17) дають змогу уявити поверхню належності змінних  $(x_{31}), (x_{32}), (x_{33}), (x_{34})$  по відповідним термам, щодо кожного лінгвістичного висловлювання, і їх можна буде використати для здійснення нейронного настроювання нечіткої моделі на основі експериментальних даних.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малявіна О. М. Дослідження показників надійності теплових мереж методами статистичного моделювання. Науковий вісник будівництва: Наук.-техн. сб. Вип.61.: ХДТУБА, 2010. – с. 286–291.
2. Межинський О. М. Методи організаційно технологічного проектування зовнішніх мереж трубопроводів із врахуванням параметрів надійності і технологічності. – Харків.: Слобода, 2011. – 125 с.
3. Науменко І. І. Оцінка надійності водогосподарських об'єктів / І. І. Науменко – Рівне : НУВГП, 2006 – 182 с.
4. Малахов Д. В. Качественное прогнозирование состояния участков тепловых сетей: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук: спец. 05.23.03 – вентиляция, освещение и теплогазоснабжение / Д. В. Малахов. – Волгоград, 2006. – 19 с.
5. Плавич А. Ю. Оценка и обеспечение уровня надежности водяных тепловых сетей : автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук : спец. 05.23.03 – «вентиляция, освещение и теплогазоснабжение» / А. Ю Плавич – М. – РГБ, 2005. – 17 с.
6. Ратушняк Г. С. Методи прогнозування із забезпечення надійності розподільчих мереж систем теплопостачання / Г. С. Ратушняк, М. В. Поліщук // Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення: збірник наукових праць . – Рівне: НУВГП. – 2015.– С.77-78.
7. Ротштейн О. П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика: Монографія/ О. П. Ротштейн, Є. П. Ларюшкін, Ю. І. Мітюшкін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144с.
8. Ратушняк Г. С., Попова Г. С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції.– Вінниця: ВДТУ, 2001. – 122 с.
9. Ратушняк Г. С. Управління проектами енергозбереження шляхом термореновації будівель: навч. посібник. / Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 106с.
10. Поліщук М. В. Фактори впливу на надійність мереж систем теплопостачання / М. В. Поліщук, Г. С. Ратушняк. – Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи. – Вінниця: ВНТУ, 16-17 квітня 2015 року.– 77 с.

**Ратушняк Георгій Сергійович** – к.т.н., професор, декан факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання Вінницького національного технічного університету.

**Свідеревич Марина Володимирівна** – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

**G. Ratushnyak**  
**M. Sviderevych**

## **ASSESSING THE IMPACT OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS HEAT NETWORKS ON THEIR RELIABILITY OF USING FUZZY LOGIC**

Vinnitsia National Technical University

*The analysis and synthesis of factors affecting the reliability of heat networks. In order to create expert-modeling systems for multivariate analysis of the reliability of heating systems applied the theory of fuzzy logic. According to the results-ter analysis hierarchical set of relationships built wood logical conclusions-ku. The proposed matrix vague knowledge of the relationship at the system level impact of design characteristics on their heating systems nadiynist. Otrymano model nechit someone inference to evaluate the impact of design characteristics of adhesive-ing heating systems for district heating systems reliability that Allow-lyat subsequently perform numerical simulation which will provide an opportunity optimism-tion of structural characteristics of networks heat.*

**Keywords:** fuzzy logic, reliable heating systems, linguistic variables.

**Ratushnyak Georgiy** - Candidate of Engineering Sciences, Professor, Dean of the Faculty building, heating and gas supply in Vinnitsia National Technical University.

**Sviderevych Maryna** - Postgraduate student of the department of heat and gas supply in Vinnitsia National Technical University.

**Г. С. Ратушняк**  
**М. В. Свидеревич**

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Винницкий национальный технический университет

*Выполнен анализ и синтез факторов, влияющих на надежность тепловых сетей. С целью создания экспертно-моделирующие системы для многофакторного анализа влияния на надежность тепловых сетей применено теорию нечеткой логики. По результатам анализа иерархической совокупности соотношений построено дерево логического вывода. Предложенные нечеткие матрицы знаний о соотношении на системном уровне влияния конструктивных характеристик тепловых сетей на их надежность. Получено модель нечеткого логического вывода для оценки влияния конструктивных характеристик трубопроводов тепловых сетей на надежность систем централизованного теплоснабжения, которая позволит в дальнейшем выполнить численное моделирование, что обеспечит возможность оптимизма ции конструктивных характеристик на сетях теплоснабжения.*

**Ключевые слова:** нечеткая логика, надежность тепловых сетей, лингвистическая переменная.

**Ратушняк Георгий Сергеевич** – к.т.н., профессор, декан факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения Винницкого национального технического университета.

**Свидеревич Марина Владимировна** – аспирант кафедры теплогазоснабжения Винницкого национального технического университета.