

## ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 622.691.4

### МОДЕЛЬ БАГАТОФАКТОРНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська

*Запропоновано методику комплексного інструменту для експерта проекту з оцінювання технічного стану системи газопостачання, що дає змогу отримати незалежні управлінські рішення з врахуванням кількісних та якісних збуджуючих факторів, які впливають на надійність системи газопостачання.*

*Предложена методика комплексного инструмента для эксперта проекта с оценивания технического состояния системы газоснабжения что дает возможность получить независимые управленческие решения с учетом количественных и качественных возбуждающих факторов, которые влияют на надежность системы газоснабжения.*

*The method of complex instrument is offered for the expert of project from the evaluation of the technical state of the system of gas-supplying that enables to get the independent administrative decisions taking into account quantitative and high-quality excitant factors which influence on reliability of the system of gas-supplying.*

#### Вступ

Одним з найголовніших стратегічних завдань забезпечення надійності поставок природного газу на європейський ринок та забезпечення власних споживачів є підтримання на високому технічному рівні і подальше розширення газотранспортної системи України. Обстеження газопроводів і їхніх споруд необхідне для визначення їх технічного стану, а також можливостей й умов подальшої експлуатації. Позитивні показники технічного стану характеризують безпечну й надійну експлуатацію газопроводів і споруд на них [1].

В роботі [2] розглянуто ієрархічну класифікацію факторів, які впливають на технічний стан системи газопостачання. Представлено лінгвістичні змінні, що описують надійність системи газопостачання на системному рівні. Наведено оціночні терми відповідно до експертної оцінки для кожної з лінгвістичних змінних і виконано фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу.

Сучасний технічний стан засобів системи газопостачання потребує ретельного планування робіт з підтримки їх працездатності та відновлення первісних характеристик, оскільки знаходяться під впливом ряду збуджуючих кількісних та якісних чинників зовнішнього і внутрішнього характеру. Теорія нечітких множин і оснований на ній логіка дозволяють описувати неточні категорії, уявлення і знання, оперувати ними і робити відповідні висновки. Наявність таких можливостей для формування моделей різноманітних об'єктів, процесів і явищ на якісному рівні визначає інтерес до організації інтелектуального управління на основі використання методів нечіткої логіки [3, 4]. Однією із особливостей системи газопостачання є великий ступінь невизначеності зміни великої кількості збуджуючих факторів впливу і постійно мінливими параметрами її функціонування. Тому розробка моделі інтегрованої оцінки технічного стану системи газопостачання з врахуванням невизначеності для підвищення ефективності управлінських процесів є метою даної статті.

#### Основна частина

Нечіткі системи керування ефективно використовуються там, де об'єкт керування достатньо складний для його точного опису та існує дефіцит апріорної інформації про поведінку системи. Даним об'єктом керування є система газопостачання.

Нечіткі системи керування мають базу знань і елементи штучного інтелекту та можуть бути реалізовані спеціальними нечіткими контролерами, в яких нечіткі висновки виконуються шляхом обчислення характеристичних значень вихідної лінгвістичної змінної через

характеристичні значення вхідних лінгвістичних змінних за логічними формулами, що використовують логічні операції „І” та „АБО”.

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що встановлює зв'язок між факторами, що впливають на технічний стан системи газопостачання ( $A_{СП}$ ) з проектними рішеннями ( $X$ ), будівельно-монтажними роботами ( $Y$ ) та експлуатацією системи ( $Z$ ), виконується з використанням системи терм-множини

$T(A_{СП}) = \langle \text{низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий} \rangle$ ;

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

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

$T(Z) = \langle \text{низька, нижче середнього, середня, вище середнього, висока} \rangle$ .

Лінгвістичну змінну  $A_{СП}$ , що характеризує вплив на технічний стан газопроводів на системному рівні, можна подати у вигляді співвідношення

$$A_{СП} = f(X; Y; Z), \quad (1)$$

де  $X$  – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує науково-технічний рівень проектних рішень;

$Y$  – ЛЗ, що описує якість будівельно-монтажних робіт;

$Z$  – ЛЗ, що описує технічні умови експлуатації системи.

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

Таблиця 1

Матриця знань для залежності (1)

ЯКЩО			ТО
Проектні рішення ( $X$ )	Будівельно-монтажні роботи ( $Y$ )	Експлуатація системи ( $Z$ )	Технічний стан системи газопостачання ( $A_{СП}$ )
Низькі (Н)	Низькі (Н)	Низька (Н)	Низький (Н)
Низькі (Н)	Нижчі середніх (нС)	Низька (Н)	
Низькі (Н)	Низькі (Н)	Нижча середньої (нС)	
Низькі (Н)	Середні (С)	Середня (С)	Нижчий середнього (нС)
Нижчі середніх (нС)	Нижчі середніх (нС)	Низька (Н)	
Середні (С)	Низькі (Н)	Нижча середньої (нС)	
Нижчі середніх (нС)	Середні (С)	Середня (С)	Середній (С)
Середні (С)	Нижчі середніх (нС)	Середня (С)	
Середні (С)	Середні (С)	Нижча середньої (нС)	
Вищі середніх (вС)	Вищі середніх (вС)	Вища середньої (вС)	Вищий середнього (вС)
Середні (С)	Вищі середніх (вС)	Висока (В)	
Вищі середніх (вС)	Високі (В)	Вища середньої (вС)	
Високі (В)	Високі (В)	Вища середньої (вС)	Високий (В)
Високі (В)	Вищі середніх (вС)	Висока (В)	
Високі (В)	Високі (В)	Висока (В)	

Лінгвістичним висловлюванням, що наведено в табл. 1, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом

$$\begin{aligned} \mu_H(A_{СП}) = & \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_H(X) \wedge \mu_{нС}(Y) \wedge \\ & \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{нС}(Z); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu_{nC}(A_{CГП}) = & \mu_H(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_{nC}(X) \wedge \mu_{nC}(Y) \wedge \\ & \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{nC}(Z); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(A_{CГП}) = & \mu_{nC}(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_{nC}(Y) \wedge \\ & \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_{nC}(Z); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu_{eC}(A_{CГП}) = & \mu_{eC}(X) \wedge \mu_{eC}(Y) \wedge \mu_{eC}(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_{eC}(Y) \wedge \\ & \wedge \mu_B(Z) \vee \mu_{eC}(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_{eC}(Z); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_B(A_{CГП}) = & \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_{eC}(Z) \vee \mu_B(X) \wedge \mu_{eC}(Y) \wedge \\ & \wedge \mu_B(Z) \vee \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_B(Z). \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином розробляються лінгвістичні висловлювання і відповідні системи нечітких логічних рівнянь для кожної змінної на всіх рівнях. Використання нечітких логічних рівнянь передбачає визначення функції належності  $\mu_t(u)$  всіх нечітких термів. Функції належності не можуть бути використанні, якщо вхідна змінна змінюється безперервно. Вхідна змінна може приймати значення не тільки  $u_i$  ( $i = \overline{1,5}$ ), але й проміжні. Використання лінійної інтерполяції дозволяє знехтувати цим обмеженням.

Якщо відомо, що  $\mu_t(u_i) = \mu_i$  та  $\mu_t(u_{i+1}) = \mu_{i+1}$ , то значення  $\mu_t(u^*)$ , де  $u^* \in (U_i, U_{i+1})$ , знаходиться з співвідношення [4]

$$\mu_t(u^*) = \frac{u^*(\mu_{i+1} - \mu_i) + \mu_i(u_{i+1} - u_i) - u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)}{u_{i+1} - u_i}. \quad (7)$$

Аналіз змінних (X, Y, Z) тільки на дискретній універсальній множині не дозволяє враховувати випадки, коли на технічний стан системи газопостачання впливають змішані фактори. З метою уникнення цього обмеження задаємо в якості області визначення змінної умовний інтервал, на якому кожному елементу множини відповідають відповідні значення.

Використовуючи функції належності та формулу (7) знаходимо аналітичні моделі функції належності оцінок вхідних змінних для всіх термів, які описуються системою рівнянь вигляду

$$\mu_t(u^*) = \frac{au^* + b}{c}, \quad (8)$$

де  $a = \mu_{i+1} - \mu_i$ ;  
 $b = \mu_i(u_{i+1} - u_i) - u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)$ ;  
 $c = u_{i+1} - u_i$ .

Щоб перейти від отриманих нечітких множин до кількісної оцінки, необхідно виконати процедуру дефазифікації, тобто перетворення нечіткої інформації в чітку форму. Серед різних методів дефазифікації найбільш поширеним є знаходження “центра ваги” 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 (технічного стану системи газопостачання) при варіації факторів впливу.

Дефазифікація нечітких множин за принципом “центра ваги” дає кількісну оцінку технічному стану системи газопостачання  $CR^*$  при заданих значеннях факторів впливу [4]

**Значення функції належності факторів, що впливають  
на технічний стан системи газопостачання**

Фактор (U*)		Значення	Значення функції належності термів для оцінки фактора U*		Значення функції належності змінної (X, Y, Z)	
x <sub>1</sub> – помилки у гідравлічних розрахунках		1 бал	μ <sub>Г</sub> (x <sub>1</sub> )=0,56			
			μ <sub>вс</sub> (x <sub>1</sub> )=0,78			
			μ <sub>с</sub> (x <sub>1</sub> )=0,89			
			μ <sub>нс</sub> (x <sub>1</sub> )=0,25			
			μ <sub>в</sub> (x <sub>1</sub> )=0,11			
x <sub>2</sub> – помилки у динамічних розрахунках	s <sub>1</sub> – глибина прокладання	1 м	μ <sub>н</sub> (s <sub>1</sub> )=0,49	μ <sub>Г</sub> (x <sub>2</sub> )=0,77	μ <sub>н</sub> (X)=0,78 μ <sub>нс</sub> (X)=0,71 μ <sub>с</sub> (X)=0,78 μ <sub>вс</sub> (X)=1 μ <sub>в</sub> (X)=0,71	
			μ <sub>с</sub> (s <sub>1</sub> )=1			μ <sub>вс</sub> (x <sub>2</sub> )=0,49
			μ <sub>в</sub> (s <sub>1</sub> )=0,72			μ <sub>с</sub> (x <sub>2</sub> )=0,77
	s <sub>2</sub> – використання захисних пристроїв	50 %	μ <sub>в</sub> (s <sub>2</sub> )=0,77	μ <sub>нс</sub> (x <sub>2</sub> )=1		
			μ <sub>чв</sub> (s <sub>2</sub> )=1	μ <sub>в</sub> (x <sub>2</sub> )=0,22		
			μ <sub>п</sub> (s <sub>2</sub> )=0,22			
x <sub>3</sub> – механічна надійність труб	b <sub>1</sub> – герметичність труб	1,5 МПа	μ <sub>н</sub> (b <sub>1</sub> )=0,22	μ <sub>н</sub> (x <sub>3</sub> )=0,22		
			μ <sub>с</sub> (b <sub>1</sub> )=0,89			μ <sub>нс</sub> (x <sub>3</sub> )=0,71
			μ <sub>в</sub> (b <sub>1</sub> )=0,77			μ <sub>с</sub> (x <sub>3</sub> )=0,77
	b <sub>2</sub> – міцність труб	1,7 МПа	μ <sub>м</sub> (b <sub>2</sub> )=0,15	μ <sub>вс</sub> (x <sub>3</sub> )=0,77		
			μ <sub>с</sub> (b <sub>2</sub> )=0,59	μ <sub>в</sub> (x <sub>3</sub> )=0,71		
			μ <sub>в</sub> (b <sub>2</sub> )=0,71			
y <sub>1</sub> – механічні пошкодження при транспортуванні та монтажу газопроводів		10 %	μ <sub>в</sub> (y <sub>1</sub> )=0,35			
			μ <sub>чв</sub> (y <sub>1</sub> )=0,84			
			μ <sub>п</sub> (y <sub>1</sub> )=0,64			
y <sub>2</sub> – якість зварних стиків	c <sub>1</sub> – тріщини любых розмірів і напрямків	5 %	μ <sub>в</sub> (c <sub>1</sub> )=0,5	μ <sub>н</sub> (y <sub>2</sub> )=0,42	μ <sub>нс</sub> (Y)=0,84 μ <sub>с</sub> (Y)=1 μ <sub>вс</sub> (Y)=1 μ <sub>в</sub> (Y)=0,99	
			μ <sub>чв</sub> (c <sub>1</sub> )=1			μ <sub>нс</sub> (y <sub>2</sub> )=0,66
			μ <sub>п</sub> (c <sub>1</sub> )=0,42			μ <sub>с</sub> (y <sub>2</sub> )=1
	c <sub>2</sub> – нещільність зварних стиків	5 %	μ <sub>в</sub> (c <sub>2</sub> )=0,4	μ <sub>вс</sub> (y <sub>2</sub> )=1		
			μ <sub>чв</sub> (c <sub>2</sub> )=1	μ <sub>в</sub> (y <sub>2</sub> )=0,66		
			μ <sub>п</sub> (c <sub>2</sub> )=0,29			
	c <sub>3</sub> – газові пори і зашлакованість зварного шва	5 %	μ <sub>в</sub> (c <sub>3</sub> )=0,66			
			μ <sub>чв</sub> (c <sub>3</sub> )=1			
			μ <sub>п</sub> (c <sub>3</sub> )=0,37			
y <sub>3</sub> – стан антикорозійного ізоляційного покриття	d <sub>1</sub> – порушення технології при приготуванні і нанесенні ізоляційного покриття	2 у.о.	μ <sub>м</sub> (d <sub>1</sub> )=0,76	μ <sub>н</sub> (y <sub>3</sub> )=0,76		
			μ <sub>ч</sub> (d <sub>1</sub> )=1			μ <sub>нс</sub> (y <sub>3</sub> )=0,84
			μ <sub>нм</sub> (d <sub>1</sub> )=0,84			μ <sub>с</sub> (y <sub>3</sub> )=0,88
	d <sub>2</sub> – неякісна підготовка подушки під газопровід	2 у.о.	μ <sub>м</sub> (d <sub>2</sub> )=0,29	μ <sub>вс</sub> (y <sub>3</sub> )=1		
			μ <sub>ч</sub> (d <sub>2</sub> )=1	μ <sub>в</sub> (y <sub>3</sub> )=0,84		
			μ <sub>нм</sub> (d <sub>2</sub> )=0,88			

Фактор (U*)		Значення	Значення функції належності термів для оцінки фактора U*		Значення функції належності змінної (X, Y, Z)
U <sub>4</sub> – відхилення фактичних значень від проектних	p <sub>1</sub> – утворення монтажного напруження	75 Нм	$\mu_M(p_1)=0,12$	$\mu_M(y_4)=0,12$	
			$\mu_C(p_1)=0,64$	$\mu_C(y_4)=0,64$	
			$\mu_B(p_1)=0,99$	$\mu_{NM}(y_4)=0,99$	
z <sub>1</sub> – стан металу	n <sub>1</sub> – ступінь корозії металу	2 у.о.	$\mu_B(n_1)=0,37$	$\mu_H(z_1)=0,82$ $\mu_{NC}(z_1)=1$ $\mu_C(z_1)=0,91$ $\mu_{BC}(z_1)=1$ $\mu_B(z_1)=0,74$	$\mu_H(Z)=0,82$ $\mu_{NC}(Z)=1$ $\mu_C(Z)=0,91$ $\mu_{BC}(Z)=1$ $\mu_B(Z)=0,74$
			$\mu_C(n_1)=1$		
			$\mu_{II}(n_1)=0,68$		
	n <sub>2</sub> – корозійна активність ґрунту	75 %	$\mu_B(n_2)=0,36$		
			$\mu_M(n_2)=0,91$		
			$\mu_{II}(n_2)=0,82$		
	n <sub>3</sub> – наявність анодних і знакозмінних зон, які викликані блукаючими струмами	50 %	$\mu_B(n_3)=0,74$		
			$\mu_{CB}(n_3)=1$		
			$\mu_{II}(n_3)=0,6$		
z <sub>2</sub> – технічне зношення елементів		25 %	$\mu_B(z_2)=0,71$		
			$\mu_C(z_2)=1$		
			$\mu_{II}(z_2)=0,42$		
z <sub>3</sub> – технічний рівень обслуговуючого персоналу	t <sub>1</sub> – підтримка газопроводів у доброму стані	2 у.о.	$\mu_B(t_1)=0,66$	$\mu_H(z_3)=0,5$	
			$\mu_C(t_1)=1$	$\mu_C(z_3)=1$	
			$\mu_H(t_1)=0,5$	$\mu_B(z_3)=0,66$	
z <sub>4</sub> – планово-запобіжні огляди і ремонти газопроводів		100 %	$\mu_B(z_4)=0,11$		
			$\mu_{CB}(z_4)=0,67$		
			$\mu_{II}(z_4)=0,1$		

$$C_R^* = (X^*, Y^*, Z^*, W^*, P^*, S^*) = \frac{\sum_{i=1}^l A_{CPI}^{d_i} \cdot \mu_{d_i}(A_{CPI})}{\sum_{i=1}^l \mu_{d_i}(A_{CPI})}, \quad (9)$$

де  $l$  – кількість нечітких термів для оцінки змінної  $C_R$ ;  
 $d_i$  – назва  $i$ -го терму,  $i = \overline{1, l}$ ;  
 $\mu_{d_i}(A_{CPI})$  – ступінь належності  $A_{CPI}$  до терму  $d_i$ .

Використовуючи аналітичні формули (2) – (6) та значення функцій належності і змінних  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (табл. 2) отримані значення функцій належності терм-оцінок змінної  $A_{CPI}$

$$\mu_H(A_{CГП}) = 0,78 \cdot 0,76 \cdot 0,82 \vee 0,78 \cdot 0,84 \cdot 0,82 \vee 0,78 \cdot 0,76 \cdot 1 = 0,82 \cdot 0,84 \cdot 1 = 0,82;$$

$$\mu_{HC}(A_{CГП}) = 0,78 \cdot 1 \cdot 0,91 \vee 0,71 \cdot 0,84 \cdot 0,82 \vee 0,78 \cdot 0,76 \cdot 1 = 1 \cdot 0,84 \cdot 1 = 0,84;$$

$$\mu_C(A_{CГП}) = 0,71 \cdot 1 \cdot 0,91 \vee 0,71 \cdot 0,84 \cdot 0,91 \vee 0,78 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \cdot 0,91 \cdot 1 = 0,91;$$

$$\mu_{eC}(A_{CГП}) = 1 \cdot 1 \cdot 1 \vee 0,78 \cdot 1 \cdot 0,74 \vee 1 \cdot 0,99 \cdot 1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1;$$

$$\mu_B(A_{CГП}) = 0,71 \cdot 0,99 \cdot 1 \vee 0,71 \cdot 1 \cdot 0,74 \vee 0,71 \cdot 0,99 \cdot 0,74 = 1 \cdot 1 \cdot 0,99 = 0,99.$$

Отримана якісна оцінка технічного стану системи газопостачання у вигляді нечіткої множини

$$A_{CГП} = \left\{ \frac{\mu_{q_1}(A_{CГП})}{d_1}, \frac{\mu_{q_2}(A_{CГП})}{d_2}, \dots, \frac{\mu_{q_m}(A_{CГП})}{d_m} \right\}, \quad (10)$$

де  $m$  – число нечітких термів для змінної  $A_{CГП}$ ;  
 $q_i$  – назва  $i$ -го терму,  $i = \overline{1, m}$ ;  
 $\mu_{q_i}(A_{CГП})$  – ступінь належності змінної  $A_{CГП}$  до терму  $q_i$ ;  
 $d_i$  – кількісне значення, яке відповідає терму  $q_i$ .

Ця нечітка множина визначає технічний стан системи газопостачання для фіксованого вектора впливаючих факторів. Відповідно до методу дефазифікації – "центр ваги" нечіткої множини відповідає така кількісна оцінка

$$A_{CГП}^* = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{CГП}) \cdot d_i}{\sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{CГП})}. \quad (11)$$

Підставивши у 11 формулу  $d_i$  для  $i$ -го терму  $q_i$

$$d_i = \left[ \frac{A_{CГП}}{m-1} + \frac{\overline{A_{CГП}} - A_{CГП}}{m-1} \cdot (i-1) \right], \quad (12)$$

де  $\frac{A_{CГП}}{m-1} (\overline{A_{CГП}})$  – найменше (найбільше) значення змінної  $A_{CГП}$ , рівняння (11) буде мати вигляд

$$A_{CГП}^* = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{CГП}) \cdot \left[ \frac{A_{CГП}}{m-1} + \frac{\overline{A_{CГП}} - A_{CГП}}{m-1} \cdot (i-1) \right]}{\sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{CГП})}. \quad (13)$$

Для прикладу, наведеного в табл. 2, за умови що  $\frac{A_{CГП}}{m-1} = 1$  бал,  $\overline{A_{CГП}} = 5$  бали, дефазифікація за формулою (13) дає такий прогноз технічного стану системи газопостачання

$$A_{\text{СП}}^* = \frac{0,82 \cdot 1 + 0,84 \cdot 2 + 0,91 \cdot 3 + 1 \cdot 4 + 0,99 \cdot 5}{0,82 + 0,84 + 0,91 + 1 + 0,99} = 3,11 \text{ балів.}$$

Технічний стан системи газопостачання з параметрами, що були вибрані для прикладу, становить 3,11 балів. Використовуючи даний метод в комплексі можна отримати прогнозовану оцінку технічного стану системи газопостачання. При цьому отримане рішення приймається за результатами віртуального експерименту, який базується на експертній базі знань.

#### Висновки

- Моделювання оцінювання технічного стану систем газопостачання виконано з використанням доступної експертно-лінгвістичної інформації у вигляді правил “ЯКЩО – ТО”, що пов’язують логічні терми вхідних і вихідних змінних.
- Отримано аналітичні моделі функцій належності експертних нечітких баз знань, що впливають на оцінювання і прогнозування технічного стану системи газопостачання.
- Запропонована методика служить комплексним інструментом для експерта проекту з оцінювання технічного стану системи газопостачання та дає змогу отримати незалежні управлінські рішення з врахуванням кількісних та якісних збуджуючих факторів, що впливають на надійність системи газопостачання.

#### Список використаної літератури

1. Сідак В. С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання / В. С. Сідак. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 227 с.
2. Ратушняк Г. С. / Моделювання надійності систем газопостачання на основі лінгвістичної інформації / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – №1. – С. 97-103.
3. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А. П. – В.: Универсум-Вінниця, 2002. – 145 с. – ISBN 966-641-051-6.
4. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

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

**Ободянська Ольга Ігорівна** – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.