

УДК 622.691.4

Г.С. РАТУШНЯК, О.І. ОБОДЯНСЬКА

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

### ЛІНГВІСТИЧНА ЛОГІКО-ЙМОВІРНА ОЦІНКА РИЗИКІВ АВАРІЙ В СИСТЕМАХ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

**Анотація:** Запропоновано метод оцінки ризику виникнення аварій в системах газопостачання на основі методів теорії надійності. Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між випадковими подіями, які приводять до аварії та оцінки ризику використовується ймовірнісний метод аналізу "дерева відмов" (Fault Tree Analysis).

**Ключові слова:** аварії, ризик, дерево відмов, ймовірність.

**Аннотация:** Предложен метод оценки риска возникновения аварий в системах газоснабжения на основе методов теории надежности. Для выявления причинно-следственных связей между случайными событиями какие приводят к аварии и оценке риска используется вероятностный метод анализа "дерева отказов" (Fault Tree Analysis).

**Ключевые слова:** аварии, риск, дерево отказов, вероятность.

**Abstract:** the method of estimation of risk of origin of accidents is Offered in the systems of gas-supplying on the basis of methods of theory of reliability. For the exposure of connections between random events what result the probabilistic method of analysis of "tree of refuses" (Fault Tree Analysis) is used in an accident and risk estimation.

**Keywords:** accidents, risk, otkazov tree, likelihood.

#### Вступ

На об'єктах системи газопостачання спостерігається певне зростання кількості надзвичайних ситуацій з негативними екологічними наслідками. Причинами аварії є те, що близько 29% газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін, майже 60% експлуатуються від 10 до 33 років. Крім того, кожен третій агрегат із перекачування газу відпрацював моторесурс і потребує реконструкції, 11,6 тис. км газових мереж (близько 7%) і 4,9 тис. газорегуляторних пунктів (близько 14%) експлуатуються більше відведеного амортизаційного терміну [1]. Точні числові величини надійності параметрів елементів системи газопостачання відсутні або параметри мають велику невизначеність. Існуючі методи оцінки ризиків аварій в системах газопостачання [2], не дозволяють оцінити негативні впливи на систему в цілому, так як ґрунтуються на використанні параметрів з великою невизначеністю.

#### Постановка задачі дослідження

Однією із задач оцінки ризику аварії є отримання достовірних кількісних показників, які були б корисними для ефективного керування процесом забезпечення безпеки на об'єктах системи газопостачання. Це дозволить більш об'єктивно оцінювати ризик аварії і відповідно пропонувати обґрунтовані організаційно-технологічні рекомендації, які будуть направлені на запобігання техногенних аварій на газорозподільних мережах. Замість факторів з великою невизначеністю доцільно використовувати експертно-лінгвістичну логіко-ймовірну оцінку параметрів небезпечного об'єкту [3]. Результати моделювання оцінки ризиків аварій з використанням теорії нечітких множин [4] в поєднанні з лінгвістичною логіко-ймовірною експертною оцінкою параметрів досліджуваної системи в ряді випадків дозволяють отримати оцінку ризику майже з такою ж невизначеністю, як і при використанні точних числових даних [5].

#### Мета дослідження

Метою статті є розроблення моделі експертної лінгвістично-ймовірної оцінки ризиків аварії в системах газопостачання з врахуванням вихідної інформації про виникнення події.

#### Структурна ідентифікація об'єкту моделювання

В якості об'єкту для побудови моделі з оцінки ризиків в системах газопостачання вибрана газорозподільна система. Структура газорозподільної системи представляє собою газопроводи і споруди на них (включаючи міжселищні), газове обладнання житлових і громадських будинків, промислових і сільськогосподарських підприємств, підприємств комунально-побутового обслуговування населення виробничого характеру, газонасосні станції, газонаповнювальні пункти [6]. Потенційно можливі аварійні ситуації в системах газопостачання з викидом сильнодіючих токсичних речовин представляють значну загрозу як для навколишнього середовища, так і для життя населення. Розробка структурних схем розвитку можливих аварій на елементах газорозподільної системи ґрунтується на детальній вивченні об'єкта дослідження з врахуванням всіх факторів, що впливають на надійність системи в цілому. Узагальнену схему розвитку можливої аварії в системах газопостачання наведено на рис.1.

Задача розроблення моделі прогнозування виникнення аварії зводиться до ідентифікації об'єкта з одним виходом і багатьма входами, що характеризуються чинниками виникнення та розвитку аварії відповідно узагальненій структурній схемі (рис.1). Особливістю лінгвістичної оцінки ризиків аварій являється те, що взаємозв'язок змінних "вхід-вихід" задається у вигляді експертних висновків: ЯКЩО "входи", ТО "вихід", які представляють собою нечіткі бази знань [5, 7]. Для розроблення моделі оцінки ризиків аварій

визначають базові характеристики об'єкта, які можуть привести до аварії. За вхідні змінні прийнято фактори, які впливають на технічний стан системи газопостачання з подальшим виникненням аварії. Вихідна змінна – це ймовірність виникнення аварії. Фактори впливу на технічний стан системи газопостачання об'єднано в три групи в залежності від ключових характеристик [3]. Так на вихід робочих параметрів, що впливають на технічний стан системи газопостачання, за критичні значення (група А) впливають фактори  $x_1$  – помилки у гідравлічних розрахунках,  $x_2$  – помилки у динамічних розрахунках та  $x_3$  – механічна надійність труб. На механічний знос елементів системи газопостачання (група В) впливають  $x_4$  – механічні пошкодження при транспортуванні та монтажу газопроводів,  $x_5$  – якість зварних стиків газопроводу,  $x_6$  – стан антикорозійного ізоляційного покриття газопроводу та  $x_7$  – відхилення фактичних значень від проектних. Антропогенні пошкодження елементів системи газопостачання (група С) виникають під впливом таких факторів, як:  $x_8$  – стан металу газопроводу,  $x_9$  – технічне зношення елементів газопроводу,  $x_{10}$  – технічний рівень обслуговуючого персоналу та  $x_{11}$  – планово-запобіжні огляди і ремонти газопроводів. Оцінка значень лінгвістичних змінних, якими є фактори впливу на технічний стан системи газопостачання, 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 [3]. З допомогою вхідної інформації та їх лінгвістичних змінних на основі логічних операцій виконується структурна ідентифікація об'єкта "вхід-вихід". Для визначення нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації використано логіко-ймовірну модель представлення вихідної інформації. Ця оцінка представлення нечіткої інформації являється найбільш прийнятною, оскільки дозволяє в зручній і простій формі формалізувати знання експертів, які виражаються у формі лінгвістичної оцінки.

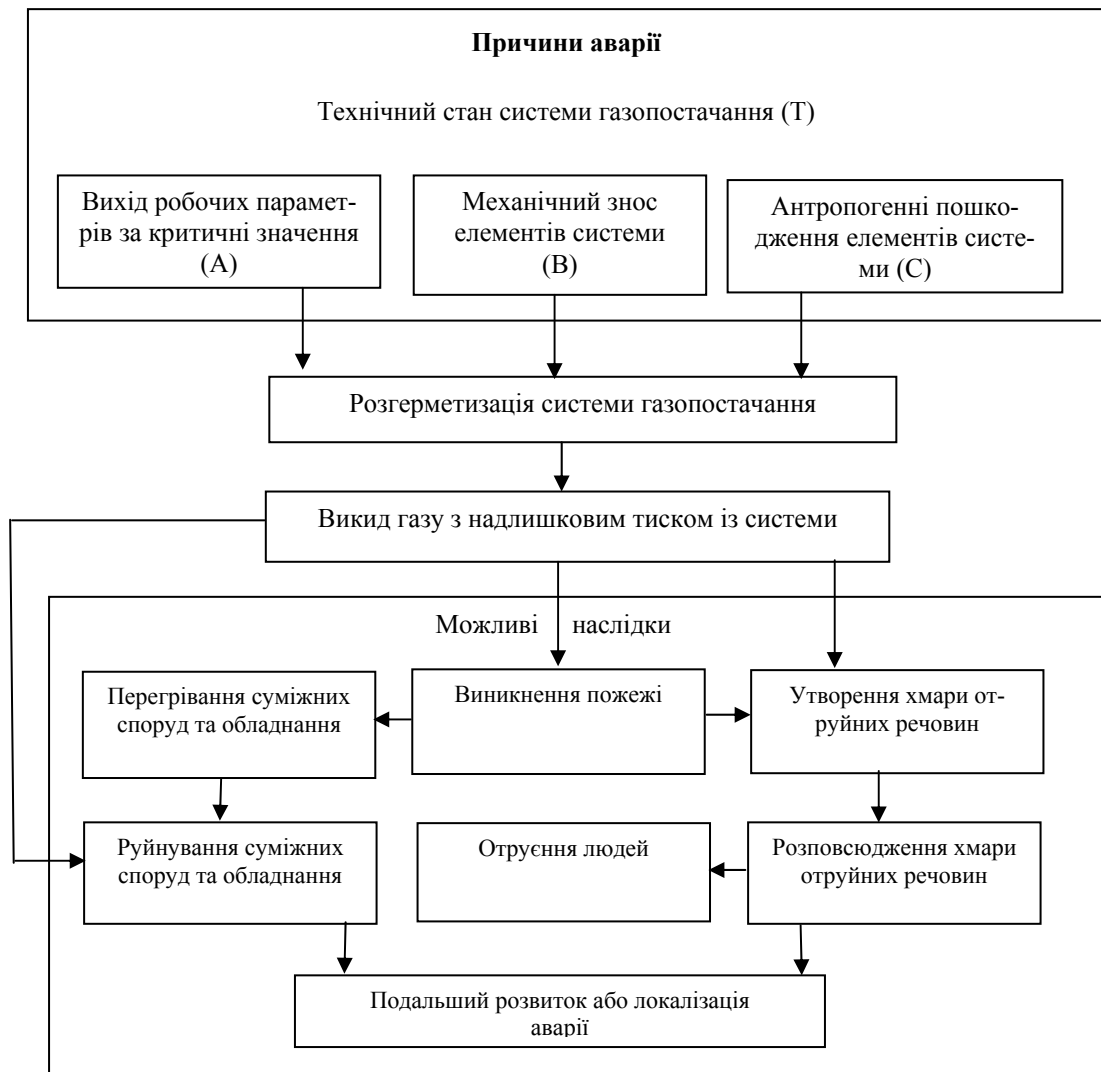


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема розвитку аварії в системі газопостачання

### Лінгвістична апроксимація

Для формалізації причинно-наслідкових зв'язків між змінними "вхід-вихід", які описуються за допомогою лінгвістичних змінних, для оцінки ризиків аварій в системах газопостачання використовується аналітико-лінгвістична апроксимація [8]. Для цього невизначений параметр (q), який може відповідати ймовірності, надійності або іншому показнику, перетворюється на нечітке число  $\tilde{q}$ , тобто задається його функція належності. Маючи експертну інформацію про параметр:

- назву параметру q;
- діапазон [q, q] зміни значень параметра q;
- кількість лінгвістичних термів, за допомогою яких оцінюється параметр q;
- назва кожного лінгвістичного терму;

будується його функція належності. Для трапецеїдальної форми нечіткого числа q, вони представлені як

$$\tilde{q} = \langle \underline{q}_0, \overline{q}_0, \underline{q}_1, \overline{q}_1 \rangle, \quad (1)$$

де:  $\underline{q}_0$  ( $\overline{q}_0$ ) – нижня (верхня) границя нечіткого числа  $\tilde{q}$  на нульовому рівні;

$\underline{q}_1$  ( $\overline{q}_1$ ) – нижня (верхня) границя нечіткого числа  $\tilde{q}$  на одиничному рівні.

При великій кількості вхідних змінних побудова нечіткої бази знань стає складною. Тому доцільно за виконаною класифікацією змінних [3] побудувати дерево відмов, яке визначає систему вкладених одне в одне зв'язаних причинно-наслідковими зв'язками нечітких баз знань. Покрокову інформацію про логічні зв'язки між подіями, які впливають на кінцевий результат і формули розрахунку ймовірності цих подій наведено у табл. 1.

Ієрархічний взаємозв'язок між вхідними змінними, класами вхідних змінних і вихідною змінною представляється у вигляді узагальненого дерева відмов (рис. 2). Отримана логічна структура описується математичною моделлю, яка враховує логічну структуру дерева і кількість його рівнів:

$$\tilde{P}_n = \left[ \left( \begin{matrix} K \\ Y \end{matrix} \tilde{P}_{n-1}^i \right) V \left( \begin{matrix} K \\ I \end{matrix} \tilde{P}_{n-1}^i \right) \right], \quad (2)$$

де  $\tilde{P}_n$  – нечітка ймовірність виникнення події на n-ому рівні;

$\tilde{P}_{n-1}^i$  – нечітка ймовірність виникнення i-ої події на n-1 рівні;

Y, I – знаки об'єднання і перетину множин;

V – знак логічної операції «АБО»;

n – номер рівня визначення ймовірності;

i=1...k – кількість подій даного рівня.

Таблиця 1 – Формули розрахунку ймовірності подій

Номер рівня	Вихідна подія	Логічна операція	Формула розрахунку
1	A	Або	$\tilde{P}_A = 1 - (1 - \tilde{P}_{x_1}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_2}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_3})$ (3)
1	B	Або	$\tilde{P}_B = 1 - (1 - \tilde{P}_{x_4}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_5}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_6}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_7})$ (4)
1	C	Або	$\tilde{P}_C = 1 - (1 - \tilde{P}_{x_8}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_9}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_{10}}) \cdot (1 - \tilde{P}_{x_{11}})$ (5)
2	T	Або	$\tilde{P}_T = 1 - (1 - \tilde{P}_A) \cdot (1 - \tilde{P}_B) \cdot (1 - \tilde{P}_C)$ (6)

Узагальнене дерево відмов [8, 10] дозволяє відстежити причинно-наслідковий зв'язок розвитку аварійної ситуації та аналізувати різні сценарії розвитку аварії й оцінювати ймовірність виникнення тих чи інших аварійних ситуацій (рис.2). Однак для прийняття рішення, наприклад про закриття аварійно небезпечного об'єкту або про дії щодо зменшення ризику аварії, необхідно оцінити найбільший ризик і пов'язаний з цим сценарій розвитку аварії. Узагальнене дерево відмов не дозволяє отримати рішення, для якого сценарію розвитку аварії необхідно розрахувати ризик. Наприклад, для сценарію, який має найбільшу ймовірність і незначні втрати, або для сценарію, який має малу ймовірність і значні втрати. Тому запропоновано ввести додаткову вершину ризику, яка накладається на всі базові проміжні і вершинні події. Отриману структуру запропоновано називати метод ризику-подій [8, 10].

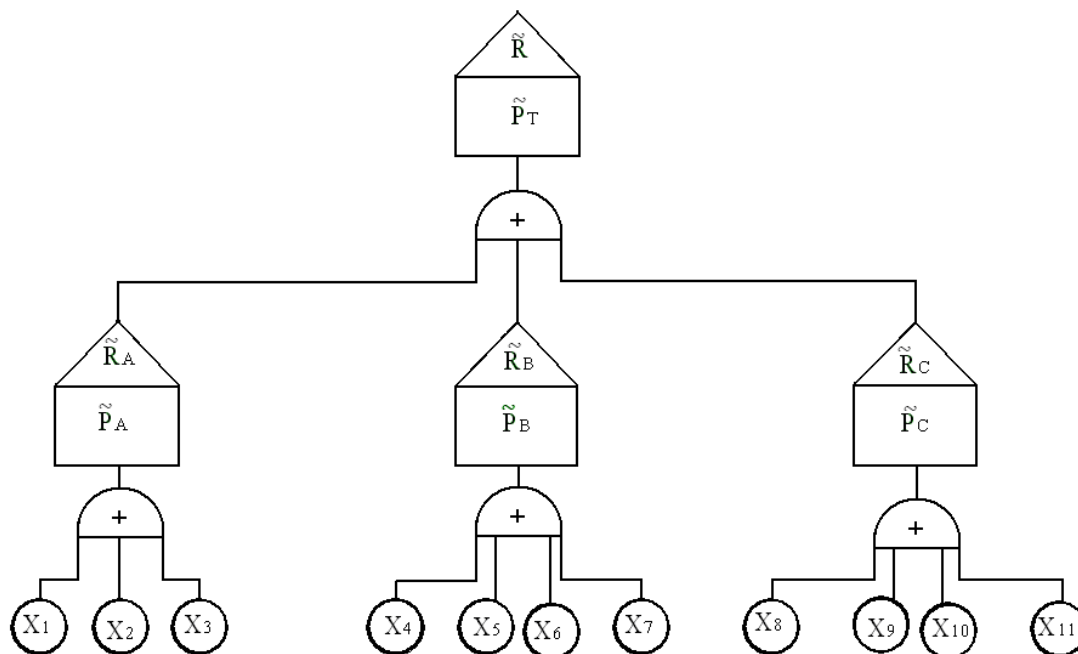


Рисунок 2 – Узагальнене дерево відмов

Перевагою запропонованої методики є те, що вона дозволяє на кожному етапі розвитку аварії на рівні з ймовірністю виникнення події отримати характеристику ризику події. В результаті:

- можна визначити подію, яка характеризується найбільшим ризиком, і прийняти по ній відповідні рішення;
- знаючи максимальний ризик на кожному ієрархічному рівні зразу можна визначити сценарій, який призводить до події, яка визначає найбільший ризик, і запропонувати заходи з її ліквідації;
- знання сценарію найбільшого ризику дозволяє значно зменшити об'єми розрахунків, а відповідно час і вартість, які необхідні для прийняття організаційно-технологічного управлінського рішення.

#### Оцінка адекватності отриманих результатів

Для оцінки адекватності отриманих результатів визначимо нечіткі ймовірності виникнення аварійної ситуації. Ймовірності базових подій позначені  $P_{x_1}, P_{x_2}, \dots, P_{x_{11}}$ , які були обраховані за допомогою методу парних порівнянь [9] (див. табл. 2). Ймовірності для головної події в дереві відмов, що розглядається визначаються зі співвідношень (3)-(6) і можуть бути представлені

$$\tilde{P}_A = 1 - (1 - 0,27) \cdot (1 - 0,156) \cdot (1 - 0,138) = 0,47,$$

$$\tilde{P}_B = 1 - (1 - 0,031) \cdot (1 - 0,115) \cdot (1 - 0,12) \cdot (1 - 0,05) = 0,28,$$

$$\tilde{P}_C = 1 - (1 - 0,05) \cdot (1 - 0,04) \cdot (1 - 0,02) \cdot (1 - 0,017) = 0,12,$$

$$\tilde{P}_T = 1 - (1 - 0,47) \cdot (1 - 0,28) \cdot (1 - 0,12) = 0,66.$$

Отримані числові значення ймовірностей виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання використовуються для побудови функції належності трапецеїдальної форми за допомогою співвідношення (1). В цьому співвідношенні ймовірність впливу групи факторів А на виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання ( $\tilde{P}_A$ ) виступає верхньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання на одиничному рівні ( $\bar{q}_1$ ).  $\tilde{P}_B$  – ймовірність впливу групи факторів В на виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання є нижньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання на одиничному рівні ( $\underline{q}_1$ ). Ймовірність впливу групи факторів С на виникнення аварійної ситуації ( $\tilde{P}_C$ ) виступає нижньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання на нульовому рівні ( $\underline{q}_0$ ), а  $\tilde{P}_T$  – ймовірність впливу технічного стану систем газопостачання на виникнення аварійної

ситуації в них є верхньою границею нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання на нульовому рівні ( $\bar{q}_0$ ).

Таблиця 2 – Вихідні події дерева відмови в системі газопостачання

№ п/п	Найменування події	Ймовірність події $P_{x_i}$
1	$x_1$ – помилки у гідравлічних розрахунках	0,27
2	$x_2$ – помилки у динамічних розрахунках	0,156
3	$x_3$ – механічна надійність труб	0,138
4	$x_4$ – механічні пошкодження при транспортуванні та монтажу газопроводів	0,031
5	$x_5$ – якість зварних стиків газопроводу	0,115
6	$x_6$ – стан антикорозійного ізоляційного покриття газопроводу	0,12
7	$x_7$ – відхилення фактичних значень від проектних	0,05
8	$x_8$ – стан металу газопроводу	0,05
9	$x_9$ – технічне зношення елементів газопроводу	0,04
10	$x_{10}$ – технічний рівень обслуговуючого персоналу	0,02
11	$x_{11}$ – планово-запобіжні огляди і ремонти газопроводів	0,017

Обчислення нечіткої ймовірності виникнення аварійної ситуації привело до наступного результату  $\tilde{P}_T = (0,12; 0,66; 0,28; 0,47)$ . Функцію належності –  $\mu$ , яка відображає отриманий результат, представлено на рисунку 3.

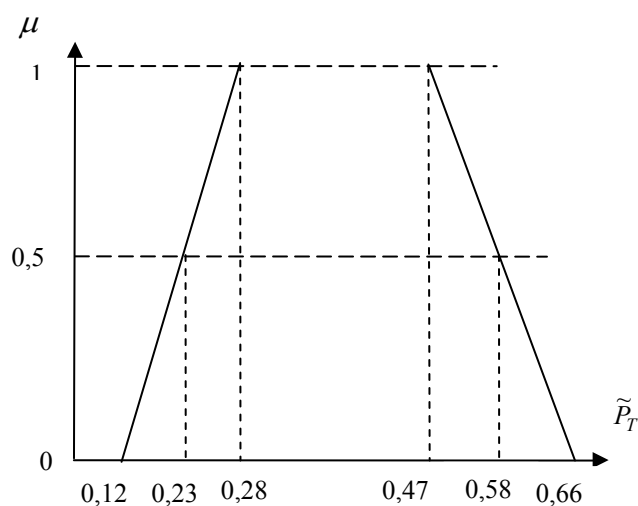


Рисунок 3 – Функція належності для  $\tilde{P}_T$

Отриманий результат має наступну інтерпретацію: нижня оцінка виникнення аварії  $\tilde{P}_T = 0,12$ , верхня оцінка  $\tilde{P}_T = 0,66$ , найбільш ймовірний діапазон оцінок виникнення аварії в системах газопостачання відповідно до вихідної події дерева відмов знаходиться в межах від 0,23 до 0,58. Якщо ймовірність виникнення аварії являється неприйнятною, то виконується аналіз дерева відмов і відшукуються рішення відносно її зниження.

### Висновки

Для ідентифікації об'єкту дослідження запропоновано узагальнену структурну схему розвитку аварії в системі газопостачання з врахуванням основних чинників, якими є вихід робочих параметрів за критичні значення, механічний знос елементів системи та антропогенні пошкодження її складових.

При оцінці ризику аварії об'єктів з великою невизначеністю вихідних даних запропоновано використовувати експертну лінгвістичну логіко-ймовірну оцінку параметрів газорозподільної системи. Використання теорії нечітких множин разом з лінгвістичною логіко-ймовірною експертною оцінкою параметрів газорозподільної системи в ряду випадків дозволяє отримати оцінку ризику аварії практично з такою ж невизначеністю, як і при використанні точних цифрових даних.

З метою знаходження територіального та індивідуального ризиків аварії запропоновано обрахування ймовірностей виникнення аварій виконувати на основі аналізу "дерева відмов". Реалізація стратегій

керування ризиком аварій з метою прийняття організаційно-технологічних управлінських рішень повинна базуватися на сучасних інформаційних технологіях.

#### Список використаної літератури

1. Сідак В.С. / Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання / В.С. Сідак. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 227 с.
2. Повышение эффективности работы трубопроводных магистралей / [Иванов В.А., Яковлев Е.И., Пушкин А.А. и др]. – М.: ВНИИОЭНГ, 1993. – 510 с.
3. 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. – №6. – с. 97-103.
4. Ратушняк Г.С. / Модель багатофакторної оцінки технічного стану системи газопостачання / Г. С. Ратушняк, О.І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – №1. – с. 125-131.
5. Ротштейн А.П. / Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997. – 142 с
6. Ратушняк Г.С. / Розроблення моделі оцінювання технічного стану розподільчих газопроводів для створення муніципальної гіс підсистеми газопостачання / Г. С. Ратушняк, О.І. Ободянська // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку. Київ – 2010. – №4. – с. 234-237.
7. Митюшкин Ю.И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Митюшкин Ю.И., Мокин Б.И., Ротштейн А.П. – В.: Универсум, 2002. – 145с. – ISBN 966-641-051-6.
8. Ветошкин А.Г. / Надежность и безопасность технических систем / А. Ветошкин, В. Марунин. – Пенза, 2002. – 125 с.
9. Ратушняк Г.С. / Моделювання процесу інтелектуальної підтримки прийняття рішення щодо оцінки стану системи газопостачання методом парних порівнянь / Г.С. Ратушняк, О.І. Ободянська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – №1(17). – с. 52-55.
10. Кузьмин И.В. Элементы вероятностных моделей АСУ / Кузьмин И.В., Явка А.А., Ключко В.И. – М.: Сов. радио, 1975. – 335 с.

#### Відомості про авторів

**Ратушняк Георгій Сергійович** – к.т.н., професор, директор інституту будівництва теплоенергетики та газопостачання, завідувач кафедри теплогазопостачання; вул. Воїнів Інтернаціоналістів, 7, м. Вінниця, 21021; тел. 46-52-04; e-mail: ratushnyak@inbtegr.vstu.vinnica.ua, Вінницький національний технічний університет;

**Ободянська Ольга Ігорівна** – аспірант кафедри теплогазопостачання; вул. Воїнів Інтернаціоналістів, 7, м. Вінниця, 21021; тел. +380674304208; e-mail: olha.obodyanska@i.ua, Вінницький національний технічний університет.