

УДК 533.1:620.93:658.56  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/34>

**Предун К.М.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

**Франчук Ю.Й.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

**Ободьянська О.І.**

Вінницький національний технічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ МЕТОДОМ ПАРНИХ ПОРІВНЯНЬ

*Природний газ згідно з положеннями «Енергетичної стратегії України на період до 2035 р.», попри суттєвий розвиток «зеленої» енергетики, залишається основним енергоносієм у державі. У зв'язку з долученням до єдиного Європейського простору регулювання торгівлі природним газом у країні всі розрахунки за спожите паливо слід виконувати в одиницях енергії. Відповідно, визначальними постають питання щодо якості природного газу. Однією з особливостей системи газопостачання є значний ступінь невизначеності зміни великої кількості збурюючих факторів впливу і постійно мінливих параметрів її функціонування. З-поміж інших для оцінки якості вибрано математичну модель, засновану на теорії нечіткої логіки. Адекватність запропонованої математичної моделі та алгоритму інтелектуальної підтримки прийняття управлінського рішення для реалізації проєкту оцінювання якості природного газу із застосуванням нечіткої логіки та лінгвістичних змінних потребує перевірки одним із відомих незалежних методів. Для розв'язання цього завдання запропоновано метод парних порівнянь Т. Сааті, який дає змогу враховувати кількісні та якісні збуджувальні параметри, що впливають на якість природного газу. Під час розроблення моделі складено матрицю для порівняння відносної важливості фізико-хімічних властивостей видобутого з родовища природного газу, якості підготовки (очищення) природного газу для транспортування і технічних умов експлуатації газорозподільної системи населеного пункту на другому рівні щодо загальної мети на першому рівні – якості природного газу. Подібні матриці побудовані для парних порівнянь кожної альтернативи на третьому рівні щодо критеріїв другого рівня. Для чисельного експерименту розглянуто природні гази українського і російського родовищ. Отримано кількісні оціночні критерії якості природного газу. В результаті досліджень встановлено питому вагу кожного фактора впливу на формування кінцевих незалежних висновків і пропозицій щодо якості природного газу.*

**Ключові слова:** природний газ, фізико-хімічні властивості, якість, математична модель, нечітка логіка, метод парних порівнянь, матриця, фактор впливу, пріоритет.

**Постановка проблеми.** Природний газ сьогодні продовжує залишатись основним енергоносієм у промисловості та житлово-комунальному господарстві України. За підсумками 2018 р. його частка у загальному постачанні первинної енергії становила 27,4% [1]. Якщо розглянути виключно житлово-комунальне господарство, то на потреби теплопостачання і задоволення господарсько-побутових потреб мешканців використано 15,4 зі всього обсягу – 32,3 млрд м<sup>3</sup> – спожитого газу [2]. Згідно з прогнозами розвитку держави домінуюча роль природного газу залишиться і надалі [3].

Незважаючи на високу цінність природного газу для потреб економіки держави в Україні прак-

тично відсутній системний підхід до оцінювання його якості. Якість газу – це ступінь відповідності показників природного газу встановленим вимогам, яка визначається його складом і фізичними властивостями. Вимоги щодо фізико-хімічних властивостей природного газу встановлені низкою нормативно-технічних документів [4; 5], причому вказані у них деякі характеристики суперечать одна одній.

Відповідно до Закону України «Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства» [6] наша держава приєдналась до єдиного європейського простору регулювання торгівлі

газом і взяла на себе зобов'язання виконувати всі рішення та процедурні акти, прийняті під час застосування Договору. Тобто кількість природного газу, що приймається-передається, повинна виражатись не у метричних, а в одиницях енергії.

Варто зазначити, що інформація щодо фізико-хімічних властивостей газу, зокрема, теплоти згоряння, в Україні вже доводиться до кінцевого споживача в тій, чи іншій формі – як власника вузла комерційного обліку, так і абонента житлового будинку. Наприклад, щомісяця по регіонах України публікується карта [7] із середньозваженими значеннями теплоти згоряння, що має різні значення в залежності від: магістрального газопроводу, родовища газу, технологічного режиму його підготовки до транспортування або конкретної країни-експортера газу. На підставі даної інформації визначається кількість спожитого газу як в метричних, так і в енергетичних одиницях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Із виконаного аналізу результатів наукових досліджень [8–11], вимог чинних нормативно-технічних документів [4] випливає висновок, що визначенню якості природного газу приділяється значна увага, передусім перед подачею з родовища в газотранспортну систему. Водночас фізико-хімічні властивості газу, визначені в точках прийому-передачі, наприклад на газорозподільних станціях (ГРС) населених пунктів, можуть зазнавати змін під час його транспортування газорозподільними мережами кінцевим споживачам [12].

У роботі [13] висвітлено ієрархічну класифікацію факторів, які впливають на якість природного газу. При визначенні змісту інтелектуальної підтримки прийняття рішення було враховано фізико-хімічні властивості видобутого з родовища природного газу, якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування та технічні умови експлуатації газорозподільної системи населеного пункту. Також запропоновано математичну модель прийняття управлінських рішень щодо оцінки якості природного газу, розробленої з використанням теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних [14].

Адекватність запропонованої математичної моделі та алгоритму інтелектуальної підтримки прийняття управлінського рішення для реалізації проекту оцінювання якості природного газу із застосуванням нечіткої логіки та лінгвістичних змінних потребує перевірки одним із відомих незалежних методів. Розв'язання цієї задачі можливе з використанням математичної моделі прийняття управлінських рішень, розробленої з використан-

ням методу парних порівнянь Т. Сааті. Цей метод дозволяє при моделюванні враховувати кількісні та якісні збуджувальні параметри, які впливають на якість природного газу, оскільки він є одним з методів аналітичного моделювання ієрархічних процесів і аналітичних мережевих процесів підтримки прийняття управлінських рішень [15–18].

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення моделі інтелектуальної підтримки прийняття управлінських рішень щодо оцінки та прогнозування якості природного газу з врахуванням кількісних та якісних збуджуючих параметрів впливу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час застосування методу Сааті для оцінки якості природного газу різноманітні фактори впливу зрівнюються попарно по відношенню до їх дії на загальну для них характеристику. Метод аналізу ієрархій (далі – МАІ) використовується для прийняття рішень у важко формалізованих ситуаціях і є замкненою логічною конструкцією, що забезпечується простими правилами аналізу складних проблем, які призводять до найкращої відповіді. МАІ є обґрунтованішим порівняно з методами, що базуються на лінійній логіці методом розв'язання багатокритеріальних завдань у складній обстановці з ієрархічними структурами, які вмщують помітні та непомітні фактори. Застосування цього методу дозволяє включати в ієрархії усі наявні при оцінці якості природного газу знання та факти. Збіжність результатів, отриманих з використанням однакових вхідних даних двома незалежними методами, дозволить перевірити достовірність запропонованої математичної моделі інтелектуальної підтримки прийняття рішення, щодо оцінки якості природного газу [14].

Принцип ідентичності та декомпозиції передбачає структурування проблеми оцінювання якості природного газу у вигляді ієрархії. Ієрархія сприймається як певний тип системи, де фактори впливу на якість природного газу групуються у множини. Елементи кожної групи знаходяться під впливом елементів деякої групи  $I_i$ , у свою чергу, впливають на елементи іншої групи. Вважається, що елементи кожної групи (рівня) ієрархії незалежні, а ієрархія будується з вершини. Її загальна структура, множина її елементів і різні ієрархічні рівні щодо оцінки якості природного газу наведені на рис. 1.

Експерту проекту з оцінки якості природного газу послідовно пред'являються пари альтернатив  $(X_i, X_j)$  і пропонують визначити ступінь  $d_{ij}$  переваги альтернативи  $X_i$  над альтернативою  $X_j$ .



Рис. 1. Ієрархічна модель прийняття рішення з оцінки якості природного газу

відносно деякого якісного фактору впливу на якість природного газу. При цьому, якщо експерту була представлена пара  $(X_p, X_j)$  і він визначив ступінь переваги  $d_{ij}$ , то пара  $(X_p, X_j)$  вже не пропонується, а ступінь переваги  $d_{ij}$  визначається, виходячи із залежності (1).

Таким чином, за наявності  $n$  альтернатив експерт повинен виконати  $n(n - 1)/2$  порівнянь. Оскільки матриця має властивість оберненої симетричності тому

$$d_{ij} = 1/d_{ji} \quad (1)$$

Для аналізу відібраний природний газ Південно-Російського нафтогазового родовища (склад Г1) ВАТ «Севернефтегазпром» Російської Федерації [19], який проходячи транзитом в Європу територією України, використовується споживачами нашої держави. За даними статистики за 2018 р. в паливно-енергетичному балансі країни частка імпортного газу (як правило – з Російської Федерації) становить близько третини [2]. У подальшому відібране паливо заміщують шляхом купівлі аналогічної кількості на Європейському ринку природного газу. Як газ (склад Г2) розглядається паливо українського походження, що передається споживачам ПАТ «Київгаз» і ПАТ «Київоблгаз». Фізико-хімічні властивості газу вказані у сертифікаті [20].

Елементи  $d_{ij}$ ,  $i, j = (1, n)$ , утворюють квадратну матрицю парних порівнянь  $D$  [15]. При цьому елемент  $d_{ij}$  можна трактувати як відношення вагів альтернатив  $X_i$  і  $X_j$ , тобто  $w_i/w_j$

$$D = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

Якщо значення  $w_1, w_2, \dots, w_n$  невідомі, тоді парне порівняння здійснюється з використанням суб'єктивних суджень експертів, чисельно оцінене за шкалою парних порівнянь Т. Сааті, запропонованою в [15] та наведеною у табл. 1.

Під час розроблення моделі інтелектуальної підтримки рішення щодо оцінювання якості природного газу складається матриця для порівняння відносної важливості фізико-хімічних властивостей видобутого з родовища природного газу ( $X_{11}$  – вміст вуглеводнів у складі природного газу,  $X_{12}$  – вміст шкідливих компонентів у складі газу); якості підготовки (очищення) природного газу для транспортування ( $X_{21}$  – очистка від сірководню  $H_2S$ ,  $X_{22}$  – очистка від азоту  $N_2$ ,  $X_{23}$  – очистка від вуглекислого газу  $CO_2$ ,  $X_{24}$  – очистка від кисню  $O_2$ ,  $X_{25}$  – очистка від механічних домішок,  $X_{26}$  – осушка,  $X_{27}$  – число Воббе вище (стандартні умови),  $X_{28}$  – теплота згоряння вища (стандартні умови),  $X_{29}$  – відносна густина природного газу); технічних умов експлуатації газорозподільної системи населеного пункту ( $X_{31}$  – вміст сірководню  $H_2S$ ,  $X_{32}$  – вміст азоту  $N_2$ ,  $X_{33}$  – вміст вуглекислого газу  $CO_2$ ,  $X_{34}$  – вміст кисню  $O_2$ ,  $X_{35}$  – вміст механічних домішок,  $X_{36}$  – вміст вологи,  $X_{37}$  – вміст меркаптанової сірки) на другому рівні по відношенню до загальної мети на першому рівні (якість природного газу). Подібні матриці будуються для парних порівнянь кожної альтернативи на третьому рівні по відношенню до критеріїв другого рівня [15].

Для моделювання інтелектуальної підтримки управлінського рішення щодо визначення якості природного газу, який характеризується фізико-хімічними властивостями, якістю очищення та технічними умовами експлуатації, будується дев'ятнадцять матриць, одна для другого рівня ієрархії (табл. 2) і вісімнадцять – для третього рівня (табл. 3). В табл. 3 наведено парне

Шкала парних порівнянь Т. Сааті

Відносна важливість (бали $w_1, w_2, \dots, w_n$ )	Визначення	Пояснення
1	Однакова важливість	Обидва елементи вносять однаковий вклад
3	Один елемент трохи важливіший за другий	Досвід дозволяє поставити один елемент трохи вище за другий
5	Суттєва перевага	Досвід дозволяє встановити безумовну перевагу одного над другим
7	Значна перевага	Один елемент настільки важливіший за другий, що є практично значимим
9	Абсолютна перевага одного над другим	Очевидність переваги підтверджується більшістю
2, 4, 6, 8	Проміжні оцінки між сусідніми твердженнями	Компромісне рішення
Обернені величини чисел, наведених вище	Якщо при порівнянні одного елемента з другим отримано одне з вищевказаних чисел (1–9), то при порівнянні другого з першим матимемо обернену величину	

Таблиця 2

Парне порівняння факторів впливу на якість природного газу:  
матриця парних порівнянь для рівня 2

Фактори впливу	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$	$X_{28}$	$X_{29}$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$X_{11}$	1	9	7	8	6	7	8	5	4	6	3	7	8	6	7	8	5	9
$X_{12}$	1/9	1	7	6	8	7	5	3	1/7	1/8	1/4	6	7	8	5	9	3	5
$X_{21}$	1/7	1/7	1	5	4	1/3	2	1/5	1/7	1/9	1/6	3	4	3	1/3	2	1/5	5
$X_{22}$	1/8	1/6	1/5	1	6	5	7	1/7	1/8	1/8	1/7	6	5	6	5	3	1/6	6
$X_{23}$	1/6	1/8	1/4	1/6	1	1/4	5	1/8	1/9	1/9	1/7	3	4	5	3	4	1/7	5
$X_{24}$	1/7	1/7	3	1/5	4	1	6	1/7	1/8	1/9	1/7	5	3	6	5	6	1/6	5
$X_{25}$	1/8	1/5	1/2	1/7	1/5	1/6	1	1/8	1/7	1/8	1/6	3	4	5	4	2	1/5	4
$X_{26}$	1/5	1/3	5	7	8	7	8	1	5	4	7	6	7	5	6	5	2	9
$X_{27}$	1/4	7	7	8	9	8	7	1/5	1	1/2	4	7	8	7	8	9	4	9
$X_{28}$	1/6	8	9	8	9	9	8	1/4	2	1	3	8	7	9	8	9	5	8
$X_{29}$	1/3	4	6	7	7	7	6	1/7	1/4	1/3	1	4	5	4	3	6	1/3	7
$X_{31}$	1/7	1/6	1/3	1/6	1/3	1/5	1/3	1/6	1/7	1/8	1/4	1	1/3	3	1/4	2	1/7	5
$X_{32}$	1/8	1/7	1/4	1/5	1/4	1/3	1/4	1/7	1/8	1/7	1/5	3	1	6	5	7	1/6	8
$X_{33}$	1/6	1/8	1/3	1/5	1/5	1/6	1/5	1/5	1/7	1/9	1/4	1/3	1/6	1	1/3	4	1/5	7
$X_{34}$	1/7	1/5	3	1/5	1/3	1/5	1/4	1/6	1/8	1/8	1/3	4	1/5	3	1	5	1/6	6
$X_{35}$	1/8	1/9	1/2	1/3	1/4	1/6	1/2	1/5	1/9	1/9	1/6	1/2	1/7	1/4	1/5	1	1/7	5
$X_{36}$	1/5	1/3	5	6	7	6	5	1/2	1/4	1/5	3	7	6	5	6	7	1	8
$X_{37}$	1/9	1/5	1/5	1/6	1/5	1/5	1/4	1/9	1/9	1/8	1/7	1/5	1/8	1/7	1/6	1/5	1/8	1

порівняння можливих варіантів організаційно-управлінських рішень щодо вибору важливості факторів впливу на якість природного газу.

Отримано вісімнадцять матриць суджень розмірністю  $2 \times 2$ , оскільки є 18 критеріїв на другому рівні і два склади горючого природного газу, які

досліджуються і парно порівнюються по кожному з критеріїв. З групи матриць парних порівнянь формується набір локальних пріоритетів, які виражають відносний вплив елементів ( $X_{11} \dots X_{37}$ ) на елемент, який межує з верхнім рівнем. Знаходимо цінність кожного окремого об'єкта через «розв'язання» матриць. Для цього визначаються власні вектори для кожної матриці, а потім нормалізується результат до одиниці, отримуючи цим сам вектор пріоритетів.

Для отримання векторів пріоритетів виконано оцінювання компонентів власного вектора по рядках, яке здійснюється для першого рядка матриці за такою формулою:

$$\sqrt[n]{\frac{w_1}{w_1} \times \frac{w_1}{w_2} \times \frac{w_1}{w_3} \times \dots \times \frac{w_1}{w_n}} = m_1. \quad (3)$$

Наступним кроком є визначення вектора пріоритету для першого рядка матриці (див. табл. 2 та табл. 3) за формулою:

$$\frac{m_1}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = x_1. \quad (4)$$

Аналогічно розраховують компонент власного вектора та вектор пріоритету для інших  $m_n$  рядків.

Компоненти власного вектора використовуються як множина відносних вагів альтернатив, що відповідає максимальному характеристичному числу  $\lambda_{\max}$ . Якщо матриця неузгоджена  $\lambda_{\max} \geq n$  відповідно до методу Сааті, в якості показника ступеня узгодженості елементів матриці  $D$  використовується величина індексу узгодженості (consistency index –  $CI$ )

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / n - 1. \quad (5)$$

Відповідно до методу Сааті оцінювання достатності ступеня узгодженості представлено відношенням узгодженості (consistency ratio –  $CR$ )

$$CR = CI / CIS, \quad (6)$$

де  $CIS$  – середнє значення  $CR$ , яке обчислене для певної кількості матриць парних порівнянь, що зібрані у фундаментальній шкалі [ 15]. Якщо  $CR$  рівне 0,10 (але не перевищує 0,20), результуючий вектор щодо вагів вважати задовільним.

Таблиця 3

**Парне порівняння факторів впливу на якість природного газу:  
матриця парних порівнянь для рівня 3**

$X_{11}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{12}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{21}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{22}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{23}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$
$\Gamma_1$	1	7	$\Gamma_1$	1	5	$\Gamma_1$	1	4	$\Gamma_1$	1	1/3	$\Gamma_1$	1	1/7
$\Gamma_2$	1/7	1	$\Gamma_2$	1/5	1	$\Gamma_2$	1/4	1	$\Gamma_2$	3	1	$\Gamma_2$	7	1
$X_{24}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{25}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{26}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{27}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{28}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$
$\Gamma_1$	1	2	$\Gamma_1$	1	1/5	$\Gamma_1$	1	1/9	$\Gamma_1$	1	1/3	$\Gamma_1$	1	4
$\Gamma_2$	1/2	1	$\Gamma_2$	5	1	$\Gamma_2$	9	1	$\Gamma_2$	3	1	$\Gamma_2$	1/4	1
$X_{29}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{31}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{32}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{33}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{34}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$
$\Gamma_1$	1	1/3	$\Gamma_1$	1	5	$\Gamma_1$	1	1/4	$\Gamma_1$	1	1/6	$\Gamma_1$	1	3
$\Gamma_2$	3	1	$\Gamma_2$	1/5	1	$\Gamma_2$	4	1	$\Gamma_2$	6	1	$\Gamma_2$	1/3	1
$X_{35}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{36}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$X_{37}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$						
$\Gamma_1$	1	1/4	$\Gamma_1$	1	1/8	$\Gamma_1$	1	1/7						
$\Gamma_2$	4	1	$\Gamma_2$	8	1	$\Gamma_2$	7	1						

**Фактори впливу на якість природного газу:  
матриця для другого рівня, рішення та узгодженість**

<b>Показники</b>	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$
Вектор переваг ( $\Gamma_1$ )	0,875	0,834	0,8	0,25	0,125	0,667	0,166	0,1	0,25
Вектор переваг ( $\Gamma_2$ )	0,125	0,166	0,2	0,75	0,875	0,333	0,834	0,9	0,75
$\lambda_{\max}$	3,024	2,683	2,5	2,307	3,024	2,117	2,683	3,333	2,307
$CI$	1,024	0,683	0,5	0,307	1,024	0,117	0,683	1,333	0,307
$CR$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Показники</b>	$X_{28}$	$X_{29}$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$
Вектор переваг ( $\Gamma_1$ )	0,8	0,25	0,834	0,2	0,143	0,75	0,2	0,113	0,125
Вектор переваг ( $\Gamma_2$ )	0,2	0,75	0,166	0,8	0,857	0,25	0,8	0,887	0,875
$\lambda_{\max}$	2,5	2,307	2,683	2,5	2,858	2,307	2,5	3,128	3,024
$CI$	0,5	0,307	0,683	0,5	0,858	0,307	0,5	1,128	1,024
$CR$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Для матриці факторів впливу другого рівня (див. рис. 1) вектор пріоритетів складає:  $X_{11} = 0,193$ ;  $X_{12} = 0,078$ ;  $X_{21} = 0,024$ ;  $X_{22} = 0,033$ ;  $X_{23} = 0,021$ ;  $X_{24} = 0,031$ ;  $X_{25} = 0,017$ ;  $X_{26} = 0,124$ ;  $X_{27} = 0,125$ ;  $X_{28} = 0,138$ ;  $X_{29} = 0,071$ ;  $X_{31} = 0,012$ ;  $X_{32} = 0,017$ ;  $X_{33} = 0,01$ ;  $X_{34} = 0,016$ ;  $X_{35} = 0,009$ ;  $X_{36} = 0,075$ ;  $X_{37} = 0,006$  та  $\lambda_{\max} = 29,923$ , індекс узгодженості  $CI = 0,701$ , відношення узгодженості  $CR = 0,20$ , що задовольняє вимоги. Для матриці третього рівня ці показники наведено в табл. 4.

Наступним кроком попарних порівнянь є застосування принципу синтезу. Для виявлення глобальних пріоритетів якості природного газу в матриці локальні пріоритети розташовуються по відношенню до кожного критерію, кожний стовпець векторів множиться на пріоритет відповідного критерію і результат підсумовується для кожного рядка.

Отримані глобальні пріоритети якості природного газу: газ горючий природний (склад I) ( $\Gamma_1$ ) – 0,487; газ горючий природний (склад II) ( $\Gamma_2$ ) – 0,513. Газ горючий природний (склад II) отримав найвищу оцінку за глобальними пріоритетами і тому можна його вважати найбільш залежним від факторів впливу на якість природного газу в цілому.

**Висновки.** Грунтуючись на теоретичних засадах методів ієрархічних процесів та аналітичних мережевих процесів, ми запропонували математичну модель підтримки прийняття рішення щодо оцінки якості природного газу, яка дає змогу оцінити доцільність і достовірність експертно-моделюючої системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень на базі нечіткої логіки під час моделювання оцінки якості природного газу.

У результаті чисельного експерименту отримано кількісні оціночні критерії якості природного газу, а саме – 0,487 – для газу природного горючого (склад I) та 0,513 – для газу природного горючого (склад II). Отримані результати дозволяють оцінити питому вагу кожного фактора впливу на формування кінцевих незалежних управлінських висновків та пропозицій щодо якості природного газу. Це є підтвердженням адекватності моделі прогнозування якості природного газу з використанням теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних та достовірності й доцільності запропонованої експертно-моделювальної системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських рішень.

#### Список літератури:

1. Статистичні показники реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245351522> (дата звернення: 29.10.2019).
2. Використання природного газу в Україні, 2017–2018 рр., млрд м<sup>3</sup>. URL: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/00B62B682AA8CA37C22583900050DAF0> (дата звернення: 29.10.2019).
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвал. розпорядженням КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=245234085](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085) (дата звернення: 29.10.2019).
4. Кодекс газотранспортної системи. Затвердж. Постановою НКРЕКП № 2493 від 30 вересня 2015 р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z1378-15> (дата звернення: 29.10.2019).
5. Проект Постанови КМУ «Про затвердження Технічного регламенту природного газу». URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245366216&cat\\_id=167475](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245366216&cat_id=167475) (дата звернення: 29.10.2019).

6. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства : Закон України: станом 1 вересня 2019 р. № 2787-VI (2787-17) від 15 грудня 2010 р. Київ : ВВР, 2011. № 24. Ст. 170.
7. Якість газу. URL: [http://utg.ua/utg/business\\_info/yakist-gazu.html](http://utg.ua/utg/business_info/yakist-gazu.html) (дата звернення: 29.10.2019).
8. Височанський І., Гоцуляк В. Вплив компонентного складу природного газу на його якість. *Розробка та розвідка нафтових і газових родовищ* : всеукр. наук.-техн. журн. 2017. № 2 (63). С. 102–108.
9. Стадник Б., Мотало В., Мотало А. Методологія побудови системи оцінювання відповідності природного газу. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2008. № 2. С. 51–59.
10. Предун К. Аналіз фізико-хімічних властивостей природних газів. *Містобудування і територіальне планування* : наук.-техн. збірник / голов. ред. М. Осетрін. 2018. Вип. 66. С. 532–539.
11. Стадник Б., Мотало А., Мотало В., Петровська І. Теоретичні та практичні задачі кваліметрії природного газу. *Метрологія та вимірювальна техніка*. 2005. Вип. 65. С. 81–86.
12. Капцова Н. *Підвищення ефективності експлуатації та ремонту міських газопроводів* : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет будівництва і архітектури. Харків, 2018. 20 с.
13. Франчук Ю., Ободянська О., Предун К. Оцінка якості природного газу як енергоносія на основі лінгвістичної інформації. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 38. С. 143–150.
14. Предун К., Франчук Ю., Ободянська О. Модель багатофакторної оцінки якості природного газу. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання* : наук.-техн. збірник. 2019. Вип. 30. С. 20–28.
15. Саати Т., Керис К. Аналитическое планирование. Организация системы / пер. с англ. Москва : Радио и связь, 1991. 224 с.
16. Zadeh L. Knowledge representation in fuzzy logic. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 1989. № 1. P. 89–98.
17. Ратушняк Г., Ободянська О. Моделювання процесу інтелектуальної підтримки прийняття рішення щодо оцінки стану системи газопостачання методом парних порівнянь. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2010. № 1 (17). С. 52–56.
18. Ратушняк Г., Ободянська О. Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж : монографія. Вінниця, 2014. 128 с. ISBN 978-966-641-582-3.
19. Паспорт качества №4. Газ горючий природный. СТО Газпром 089-2010. – ОАО «Севернефтегазпром». Газовый промысел Южно-Русского нефтегазоконденсатного месторождения. Апрель 2019 г. URL: [.pdf](#) (дата звернення: 29.10.2019).
20. Протокол аналізування газу № 04-3. Боярське ЛВУМГ. Місце відбору – Хотів. 15–16 жовтня 2019 р. URL: [https://kyivgaz.ua/images/docs/pokaznyky/2019\\_10\\_17/X.pdf](https://kyivgaz.ua/images/docs/pokaznyky/2019_10_17/X.pdf) (дата звернення: 30.10.2019).

**Predun K.M., Franchuk Yu.Y., Obodyanska O.I. INTELLECTUAL SUPPORT SIMULATION TAKING OF DECISION ON QUALITY ASSESSMENT NATURAL GAS BY THE PARAMETER COMPARISONS**

*In accordance with the provisions of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035, despite the significant development of green energy, natural gas remains the main energy source in the country. In connection with the accession to the single European space of regulation of trade in natural gas in the country, all payments for fuel consumption should be made in units of energy. Thus, the decisive issue is the quality of natural gas. One of the peculiarities of the gas supply system is the considerable degree of uncertainty of the change of a large number of disturbing factors of influence and constantly changing parameters of its functioning. Among others, a mathematical model based on fuzzy logic theory was selected for quality assessment. The adequacy of the proposed mathematical model and the algorithm for intelligent support for the management decision making for the implementation of the project for the assessment of natural gas quality using fuzzy logic and linguistic variables requires verification by one of the known independent methods. To solve this problem, the method of pairwise comparisons of T. Saati is proposed, which allows taking into account quantitative and qualitative excitation parameters that affect the quality of natural gas. The model was developed to compare the relative importance of the physicochemical properties of natural gas extracted, the quality of preparation (purification) of natural gas for transportation and technical conditions of operation of the gas distribution system of the settlement at the second level in relation to the general purpose at the first level – the quality of natural gas. Similar matrices are constructed for pairwise comparisons of each alternative in the third tier against the second tier criteria. For the numerical experiment, natural gases of Ukrainian and Russian fields were considered. Quantitative evaluation criteria for the quality of natural gas were obtained. As a result of the research, the share of each factor influencing the final independent conclusions and proposals on the quality of natural gas was determined.*

**Key words:** natural gas, physico-chemical properties, quality, mathematical model, fuzzy logic, pairwise comparison method, matrix, influence factor, priority.