

К. М. Предун¹
О. І. Ободянська²
Ю. Й. Франчук¹

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ БАЗ ЗНАНЬ

¹Київський національний університет будівництва та архітектури
²Вінницький національний технічний університет

Для транспортування природного газу та використання його, як енергоносія, в комунально-побутових та промислових масштабах необхідною умовою є його якісна підготовка та очищення, тому що в первинному природному газі міститься велика кількість крапельної вологи, важких вуглеводнів та механічних домішок, що може призвести до утворення гідратів, корозії, пошкодження технологічного обладнання, зменшення життєвого циклу газотранспортної системи та найстрашніше – виникнення аварійних ситуацій на газопроводах.

В роботі представлено дослідження впливу чинників на якість природного газу на етапі підготовки (очищення) його для транспортування до споживачів. Встановлено, що такими факторами впливу є число Воббе вище, теплота згоряння вища, відносна густина природного газу очистка від сірководню, азоту, вуглекислого газу, кисню, механічних домішок та вологи. Запропоновано математичну модель прийняття управлінських рішень експертом проекту з оцінювання та прогнозування якості природного газу з врахуванням якісних та кількісних збуджуючих факторів впливу на неї, що базується на теорії нечіткої логіки на лінгвістичній змінній. Виконано фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу, що дало можливість побудувати функції належності для лінгвістичних змінних, що описують процес підготовки природного газу на системному рівні. Для визначення якості палива на базі експертно-лінгвістичної інформації у вигляді правил “ЯКЩО – ТО” створено нечітку матрицю знань та отримано систему нечітких логічних рівнянь, що дозволить прогнозувати процес очищення природного газу для транспортування та його склад при різних умовах експлуатації газотранспортної системи для забезпечення споживачів природним газом нормованої якості. Проведено оцінку та прогнозування якості газу, що призведе до підвищення експлуатаційної надійності газотранспортної системи та зменшення ймовірності виникнення аварій на ній та в кінцевому рахунку позначиться на своєчасному постачанні газу та зменшенні витрат на ремонт газопроводів.

Ключові слова: природний газ, якість газу, нечітка логіка, лінгвістична змінна, матриця знань, функція належності.

Вступ

Природний газ, що поступає із свердловин, містить в собі велику кількість механічних домішок: вуглеводневий конденсат, пари води та вільну вологу з розчиненими в ній солями. Наявність парів води в концентраціях, що вище допустимого, може створити аварійні ситуації при транспортуванні газу по газотранспортній системі. Термін служби трубопроводів визначається стійкістю до корозії, яка приводить до утворення різних виїмок, каверн, свищів в стінці труби та до зменшення її товщини. Корозія безпосередньо пов'язана з присутністю вологи в газі, так як вона сприяє окисленню металу. Крім того, вода в пароподібному стані в природному газі, утворює з етаном, метаном та пропаном гідрати вуглеводнів, які в подальшому осідають в газопроводах у твердій фазі. Утворюючи відкладення на стінках труб, гідрати різко зменшують їх пропускну здатність, що, в свою чергу, може спричинити створення закупорок та пошкодження технологічного обладнання. Тому для попередження гідратуутворення при експлуатації газопромислового обладнання особлива увага приділяється питанням якісної організації підготовки природного газу для транспортування до споживачів [1].

Основною вимогою до якості підготовки природного газу є відсутність конденсації води і вуглеводнів при тисках, відповідних режимам роботи газотранспортної системи. Дані вимоги обумовлені тим, що природний газ, який видобувається з підземних джерел, насичений крапельною вологою, важкими вуглеводнями та механічними домішками (пісок, залишки тампонажного розчину). Таким чином, осушення природного газу має найважливіше значення для успішної роботи всієї системи підготовки газу і його транспортуванні до кінцевого споживача. Підготовка природного газу проводиться на установках комплексної підготовки газу (УКПГ), які входять в єдину систему збору газу [2].

Метою роботи є створення математичної моделі прийняття управлінських рішень з використанням нечітких баз знань для оцінки якості природного газу.

Основна частина

Існуючі методи, засоби та способи оцінки та прогнозування якості природного газу потребують свого удосконалення та модифікації. Для розробки методики інтелектуальної підтримки прийняття рішень під час прогнозування та оцінювання якості природного газу з врахуванням кількісних та якісних параметрів об'єкта застосовано теорію нечітких множин та лінгвістичних змінних на основі віртуального експерименту. Цей метод як взаємозв'язана сукупність математичних моделей дозволяє використовувати експерто-лінгвістичну інформацію для прогнозування та оцінки якості природного газу в залежності від факторів, що його обумовлюють. Моделювання оцінки якості природного газу розглянуто на прикладі лінгвістичних змінних, що входять в групу з підготовки (очищення) природного газу для транспортування до споживачів. Розглядаючи цей процес на системному рівні, лінгвістична змінна, що описує якість очищення природного газу, може бути представлена виразом [3, 4]:

$$Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4; y_5; y_6; y_7; y_8; y_9), \tag{1}$$

де y_1 – лінгвістична змінна «очистка від сірководню (H_2S)»; y_2 – лінгвістична змінна «очистка від азоту (N_2)»; y_3 – лінгвістична змінна «очистка від вуглекислого газу (CO_2)»; y_4 – лінгвістична змінна «очистка від кисню (O_2)»; y_5 – лінгвістична змінна «очистка від механічних домішок»; y_6 – лінгвістична змінна «очистка від вологи»; y_7 – лінгвістична змінна «число Воббе вище (стандартні умови)»; y_8 – лінгвістична змінна «теплота згоряння вища (стандартні умови)»; y_9 – лінгвістична змінна «відносна густина природного газу».

Для лінгвістичних змінних оціночні терми наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фактори впливу як лінгвістичні змінні

Позначення та назва змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
1	2	3
y_1 – очистка від сірководню (H_2S)	0...20 мг/м ³	відсутня (Вд), часткова (Ч), повна (Пв)
y_2 – очистка від азоту (N_2)	0...5 %	відсутня (Вд), часткова (Ч), повна (Пв)
y_3 – очистка від вуглекислого газу (CO_2)	0...6 %	відсутня (Вд), часткова (Ч), повна (Пв)
y_4 – очистка від кисню (O_2)	0...0,02 %	відсутня (Вд), часткова (Ч), повна (Пв)
y_5 – очистка від механічних домішок	0...1 мг/м ³	відсутня (Вд), часткова (Ч), повна (Пв)
y_6 – очистка від вологи	-8...0 °C	відсутня (Вд), часткова (Ч), повна (Пв)
y_7 – число Воббе вище (стандартні умови)	44,9...53,7 МДж/м ³	низьке (Н), нижче середнього (нС), середнє (С), вище середнього (вС), високе (В)
y_8 – теплота згоряння вища (стандартні умови)	35,4...38,3 МДж/м ³	низька (Н), середня (С), висока (В)
y_9 – відносна густина природного газу	0,55...0,75 кг/м ³	низька (Н), середня (С), висока (В)

Запропонований метод побудови функцій належності передбачає фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу. Етап фазифікації включає вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів впливу, що заданий на відповідних універсальних множинах [5-7]. Функції належності для лінгвістичної змінної, що описують якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування представлено на рисунках 1 та 2.

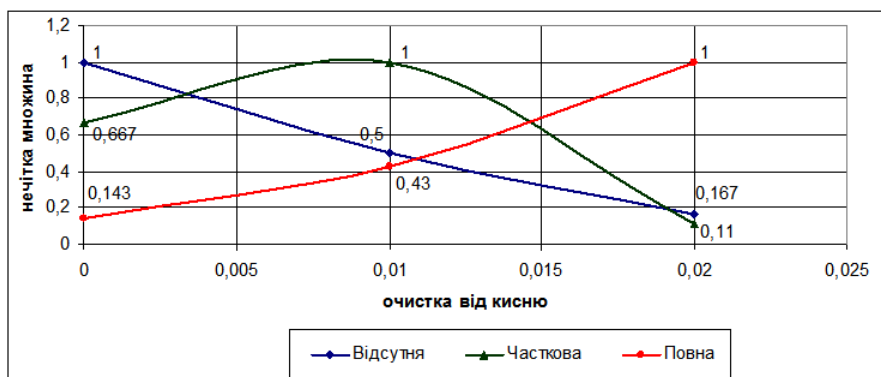
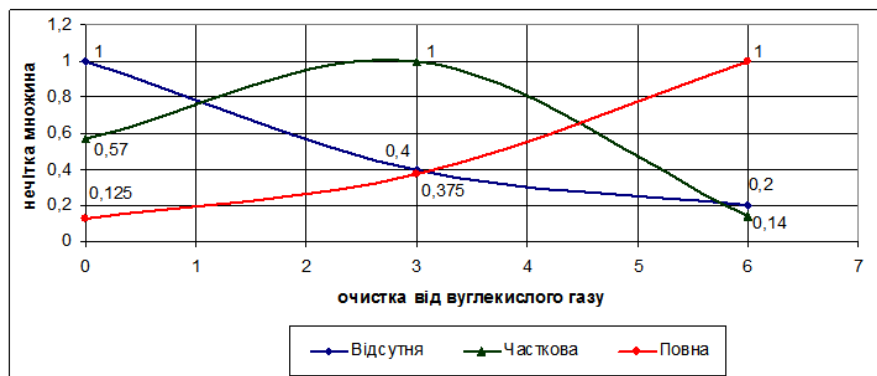
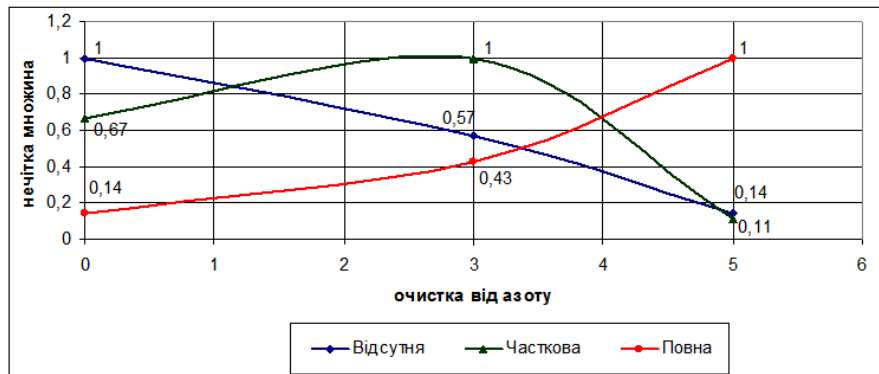
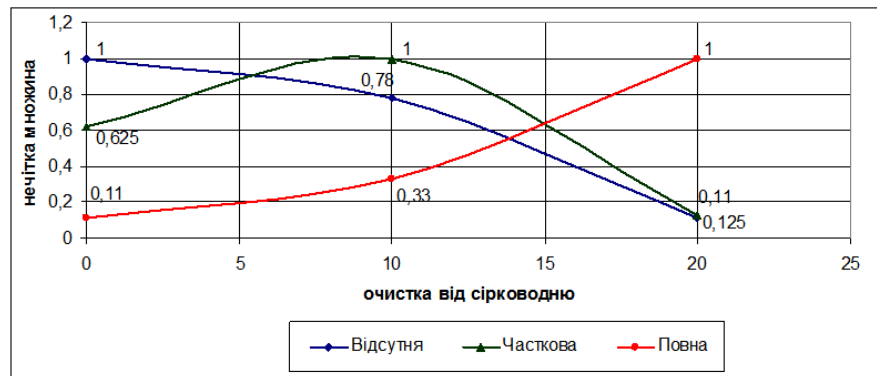


Рисунок 1 – Функції належності для ЛЗ, що описують якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування: очищення від сірководню, очищення від азоту, очищення від вуглекислого газу, очищення від кисню

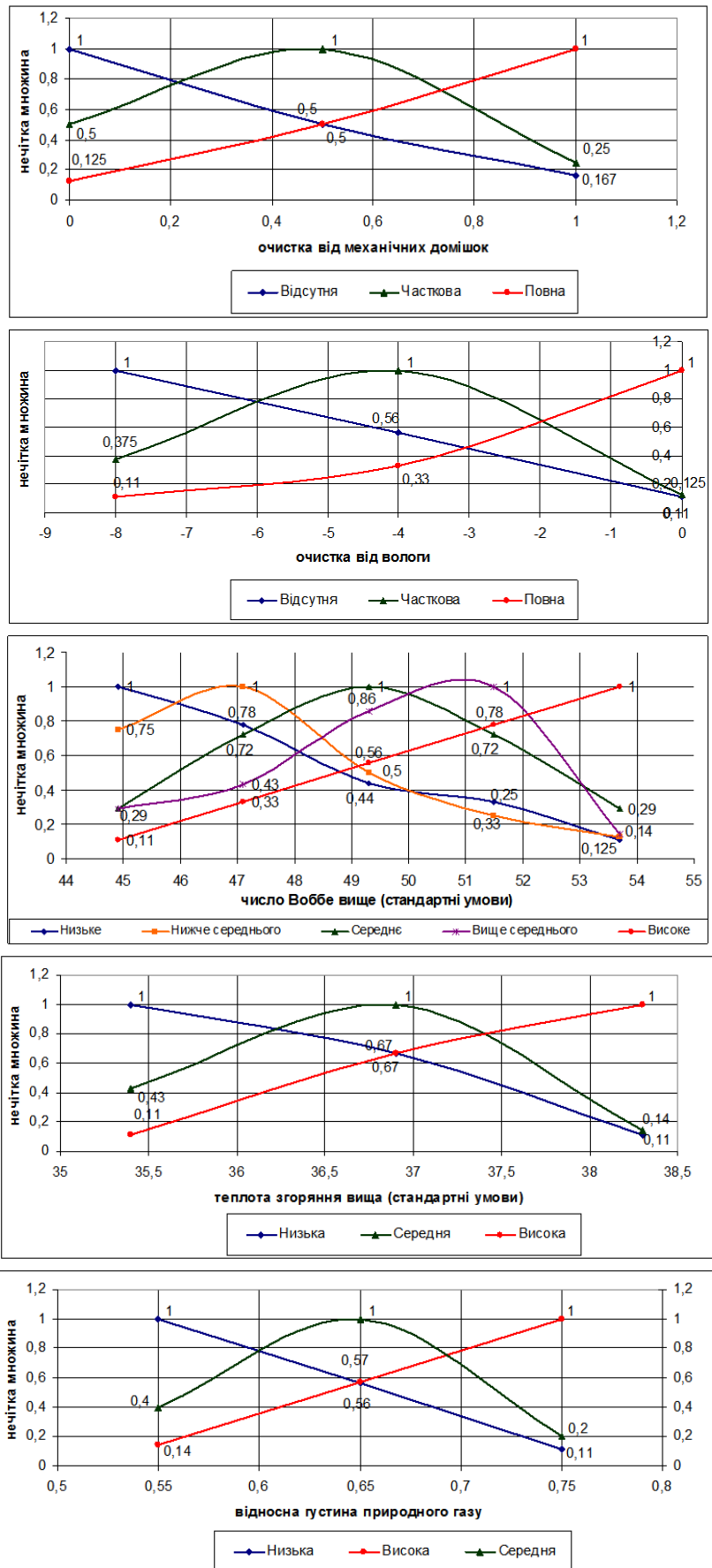


Рисунок 2 – Функції належності для ЛЗ, що описують якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування: очистка від механічних домішок, очистка від вологи, число Воббе вище, теплота згоряння вища, відносна густина

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що зв'язує якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування (Y) з очисткою від сірководню (H_2S) (y_1), очисткою від азоту (N_2) (y_2), очисткою від вуглекислого газу (CO_2) (y_3), очисткою від кисню (O_2) (y_4), очисткою від механічних домішок (y_5), очисткою від вологи (y_6), числом Воббе вищим (y_7), теплотою згоряння (y_8) та відносною густиною природного газу (y_9) виконується з використанням системи терм-множин:

- $T(Y) = \langle \text{низька, нижче середнього, середня, вище середнього, висока} \rangle;$
 $T(y_1) = \langle \text{повна, часткова, відсутня} \rangle;$
 $T(y_2) = \langle \text{повна, часткова, відсутня} \rangle;$
 $T(y_3) = \langle \text{повна, часткова, відсутня} \rangle;$
 $T(y_4) = \langle \text{повна, часткова, відсутня} \rangle;$
 $T(y_5) = \langle \text{повна, часткова, відсутня} \rangle;$
 $T(y_6) = \langle \text{повна, часткова, відсутня} \rangle;$
 $T(y_7) = \langle \text{низьке, нижче середнього, середнє, вище середнього, високе} \rangle;$
 $T(y_8) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle;$
 $T(y_9) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle.$

Нечітку матрицю знань з урахуванням якісних термів для моделювання залежності (1) наведено в табл. 2. Лінгвістичним висловлюванням, які наведені в табл. 2, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом:

$$\begin{aligned} \mu_{\hat{I}}(Y) = & \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_1) \wedge \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_2) \wedge \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_3) \wedge \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_4) \vee \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_6) \wedge \mu_H(y_7) \wedge \mu_H(y_8) \wedge \mu_H(y_9) \vee \\ \vee & \mu_{B\hat{o}}(y_1) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_2) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_{B\hat{o}}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_6) \wedge \mu_H(y_7) \wedge \mu_H(y_8) \wedge \mu_C(y_9) \vee \\ \vee & \mu_{B\hat{o}}(y_1) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_4) \vee \mu_{B\hat{o}}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_C(y_6) \wedge \mu_H(y_7) \wedge \mu_H(y_8) \wedge \mu_H(y_9); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\hat{N}}(Y) = & \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_1) \wedge \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_2) \wedge \mu_{\times}(y_3) \wedge \mu_{\hat{A}\hat{a}}(y_4) \vee \mu_{\times}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_6) \wedge \mu_{nC}(y_7) \wedge \mu_H(y_8) \wedge \mu_C(y_9) \vee \\ \vee & \mu_C(y_1) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_2) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_3) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_4) \vee \mu_{B\hat{o}}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_6) \wedge \mu_C(y_7) \wedge \mu_H(y_8) \wedge \mu_H(y_9) \vee \\ \vee & \mu_{B\hat{o}}(y_1) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_2) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_3) \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_4) \vee \mu_{B\hat{o}}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_C(y_6) \wedge \mu_{nC}(y_7) \wedge \mu_C(y_8) \wedge \mu_C(y_9); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(Y) = & \mu_C(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_C(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_C(y_6) \wedge \mu_C(y_7) \wedge \mu_C(y_8) \wedge \mu_C(y_9) \vee \\ \vee & \mu_{B\hat{o}}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_C(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{\Pi}(y_6) \wedge \mu_{nC}(y_7) \wedge \mu_C(y_8) \wedge \mu_C(y_9) \vee \\ \vee & \mu_{B\hat{o}}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_{B\hat{o}}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_C(y_6) \wedge \mu_C(y_7) \wedge \mu_B(y_8) \wedge \mu_H(y_9); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\hat{e}C}(Y) = & \mu_C(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_{\Pi}(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{B\hat{o}}(y_6) \wedge \mu_{\hat{e}C}(y_7) \wedge \mu_B(y_8) \wedge \mu_C(y_9) \vee \\ \vee & \mu_{\hat{I}}(y_1) \wedge \mu_{\hat{I}}(y_2) \wedge \mu_{\times}(y_3) \wedge \mu_{\hat{I}}(y_4) \vee \mu_{\times}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_C(y_6) \wedge \mu_C(y_7) \wedge \mu_B(y_8) \wedge \mu_C(y_9) \vee \\ \vee & \mu_{B\hat{o}}(y_1) \wedge \mu_{\Pi}(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_{\Pi}(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{\Pi}(y_6) \wedge \mu_{\hat{e}C}(y_7) \wedge \mu_C(y_8) \wedge \mu_B(y_9); \end{aligned} \quad (5)$$

Таблиця 2

Матриця знань для залежності (1)

ЯКЦО								ТО	
Очистка від сірководню (H_2S) (Y_1)	Очистка від азоту (N_2) (Y_2)	Очистка від вуглекислого газу (CO_2) (Y_3)	Очистка від кисню (O_2) (Y_4)	Очистка від механічних домішок (Y_5)	Очистка від вологи (Y_6)	Число Вообє вище (Y_7)	Теплога згоряння вища (Y_8)	Відносна густина природного газу (Y_9)	Якість підготовки природного газу (Y)
Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Низьке (Н)	Низька (Н)	Низька (Н)	
Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Низьке (Н)	Низька (Н)	Середня (С)	Низька (Н)
Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Низьке (Н)	Низька (Н)	Низька (Н)	
Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Відсутня (Вд)	Нижче середнього (нС)	Низька (Н)	Середня (С)	Нижче середнього (нС)
Часткова (Ч)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Середнє (С)	Низька (Н)	Низька (Н)	
Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Нижче середнього (нС)	Середня (С)	Середня (С)	
Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Середнє (С)	Середня (С)	Середня (С)	Середня (С)
Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Повна (П)	Нижче середнього (нС)	Середня (С)	Середня (С)	
Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Відсутня (Вд)	Часткова (Ч)	Середнє (С)	Висока (В)	Низька (Н)	
Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Повна (П)	Часткова (Ч)	Повна (П)	Відсутня (Вд)	Вище середнього (вС)	Висока (В)	Середня (С)	Вище середнього (вС)
Повна (П)	Повна (П)	Часткова (Ч)	Повна (П)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Середнє (С)	Висока (В)	Середня (С)	
Відсутня (Вд)	Повна (П)	Часткова (Ч)	Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Вище середнього (вС)	Середня (С)	Висока (В)	
Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Висока (В)	Висока (В)	Висока (В)	Висока (В)
Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Часткова (Ч)	Часткова (Ч)	Повна (П)	Висока (В)	Висока (В)	Висока (В)	
Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Повна (П)	Часткова (Ч)	Висока (В)	Висока (В)	Висока (В)	

$$\begin{aligned} \mu_A(Y) = & \mu_I(y_1) \wedge \mu_I(y_2) \wedge \mu_I(y_3) \wedge \mu_I(y_4) \vee \mu_I(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{II}(y_6) \wedge \mu_B(y_7) \wedge \mu_B(y_8) \wedge \mu_B(y_9) \vee \\ & \vee \mu_I(y_1) \wedge \mu_I(y_2) \wedge \mu_I(y_3) \wedge \mu_X(y_4) \vee \mu_X(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_{II}(y_6) \wedge \mu_B(y_7) \wedge \mu_B(y_8) \wedge \mu_B(y_9) \vee \\ & \vee \mu_I(y_1) \wedge \mu_I(y_2) \wedge \mu_I(y_3) \wedge \mu_I(y_4) \vee \mu_I(y_5) \wedge \\ & \wedge \mu_Q(y_6) \wedge \mu_B(y_7) \wedge \mu_B(y_8) \wedge \mu_B(y_9). \end{aligned} \quad (6)$$

Системи нечітких логічних рівнянь для моделювання інтелектуальної підтримки в процесі оцінки якості природного газу дають можливість зобразити належність змінних (y_1) , (y_2) , (y_3) , (y_4) , (y_5) , (y_6) , (y_7) , (y_8) та (y_9) за відповідними термами щодо кожного лінгвістичного висловлювання. Таким чином, розробляються лінгвістичні висловлювання і відповідні системи нечітких логічних рівнянь для кожної змінної на всіх рівнях [8].

Щоб перейти від отриманих нечітких множин до кількісної оцінки, необхідно виконати процедуру дефазифікації, тобто перетворення нечіткої інформації в чітку форму. В даному прикладі використовується метод знаходження “центра ваги” плоскої фігури, яка обмежена функцією належності нечіткої множини та горизонтальною координатою [9]. Модель нечіткого логічного висновку разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника (якість природного газу) при варіації факторів впливу та дозволяє прогнозувати склад та якість природного газу з використанням експертних та експериментальних даних, що характеризують умови експлуатації.

Висновки

З метою аналізу якості підготовки (очищення) природного газу для транспортування до споживачів запропоновано модель інтелектуальної підтримки оцінювання його якості з використанням нечіткої логіки та лінгвістичних змінних. Запропонована модель з врахуванням кількісних та якісних збуджуючих параметрів, які є вагомими показниками якості газу, служить комплексним інструментом для експерта проекту з прогнозування складу газу та дає можливість передбачити необхідні управлінські рішення при забезпеченні споживачів природним газом нормованої якості.

Для побудови функцій належності оцінок факторів впливу на якість природного газу на базі доступної експертно-лінгвістичної та експериментальної інформації у вигляді правил “ЯКЩО – ТО” створено нечітку матрицю знань та логічні рівняння, що дозволяють охарактеризувати процес підготовки (очищення) природного газу для транспортування на системному рівні. Модель нечіткого логічного висновку дозволить спрогнозувати склад та якість природного газу при різних умовах експлуатації газотранспортної системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чеботарев В. В. Расчеты основных показателей технологических процессов при сборе и подготовке скважинной продукции: учеб. пособие / В. В. Чеботарев – Уфа: УГНТУ. – 2007. – 408 с.
2. Сулейманов Р. С. Сбор, подготовка и хранение нефти и газа. Технологии и оборудование: учеб. пособие / Р. С. Сулейманов, А. Р. Хафизов, В. В. Шайдаков, В. В. Чеботарев – Уфа: Нефтегазовое дело. – 2007. – 450 с.
3. Франчук Ю.Й. Оцінка якості природного газу як енергоносія на основі лінгвістичної інформації / Ю. Й. Франчук, О. І. Ободяньська, К. М. Предун // Управління розвитком складних систем. – 2019. – №38 – С. 143–150.
4. Ратушняк Г. С. Моделювання надійності систем газопостачання на основі лінгвістичної інформації / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободяньська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 6. – С. 97–103.
5. Ратушняк Г. С. Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободяньська. – Вінниця, 2014. – 128 с. – ISBN 978-966-641-582-3.
6. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ–Винница, 2002. – 145 с.
7. Ротштейн А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница : Континент – ПРИМ, 1997. – 142 с.
8. Ратушняк Г. С. Модель багатофакторної оцінки технічного стану системи газопостачання / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободяньська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – № 1. – С. 125–131.
9. Предун К. М. Модель багатофакторної оцінки якості природного газу / К. М. Предун, Ю. Й. Франчук, О. І. Ободяньська // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2019. – №30 – С. 20–28.

REFERENCES

1. Chebotarev V. V. Raschety osnovnykh pokazateley tekhnologicheskikh protsessov pri sbore i podgotovke skvazhinnoy produktsii: ucheb. posobiye / V. V. Chebotarev – Ufa: UGNTU. – 2007. – 408 s.
2. Suleymanov R. S. Sbor, podgotovka i khraneniye nefi i gaza. Tekhnologii i oborudovaniye: ucheb. posobiye / R.S. Suleymanov, A. R. Khafizov, V. V. Shaydakov, V. V. Chebotarev – Ufa: Neftegazovoye delo. – 2007. – 450 s.
3. Franchuk Y. Y. Otsinka yakosti prirodnoho gazu yak yenergonosiya na osnovi lingvistichnoi informatsii / Y. Y. Franchuk, O. I. Obodyans'ka, K. M. Predun // Upravlinnya rozvitkom skladnikh sistem. – 2019. – №38 – S. 143–150.
4. Ratushnyak G. S. Modelyuvannya nadiynosti sistem gazopostachannya na osnovi lingvistichnoi informatsii / G. S. Ratushnyak, O. I. Obodyanska // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii v budivnitstvi. – 2009. – № 6. – S. 97–103.
5. Ratushnyak G. S. Upravlinnya zmistom proyektiv iz zabezpechennya nadiynosti zovnishnikh gazorozpodilnikh merezh: monografiya / G. S. Ratushnyak, O. I. Obodyanska. – Vinnitsya, 2014. – 128 s. – ISBN 978-966-641-582-3.
6. Mityushkin Y. I. Soft Computing: identifikatsiya zakonomernostey nechetkimi bazami znaniy / Y. I. Mityushkin, B. I. Mokin, A. P. Rotshteyn. – Vinnitsa : UNIVERSUM–Vinnitsa, 2002. – 145 s.
7. Rotshteyn A. P. Nechetkaya nadezhnost algoritmicheskikh protsessov / A. Rotshteyn, S. Shtovba. – Vinnitsa : Kontinent – PRIM, 1997. – 142 s.
8. Ratushnyak G. S. Model bagatofaktornoї otsinki tekhnichnoho stanu sistemi gazopostachannya / G. S. Ratushnyak, O. I. Obodyanska // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii v budivnitstvi. – 2010. – № 1. – S. 125–131.
9. Predun K. M. Model bagatofaktornoї otsinki yakosti prirodnoho gazu / K. M. Predun, Y. Y. Franchuk, O. I. Obodyanska // Ventilyatsiya, osvittleniya ta teplogazopostachannya. – 2019. – №30 – S. 20–28.

Предун Костянтин Миронович – кандидат технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання та вентиляції, Київський національний університет будівництва та архітектури, e-mail: 31172@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2634-9310.

Ободянська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, e-mail: olha.obodyanska@i.ua, ORCID: 0000-0003-4464-3537.

Франчук Юрій Йосипович – асистент кафедри теплогазопостачання та вентиляції, Київський національний університет будівництва та архітектури, e-mail: franchuk196405@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7910-8705.

K. Predun¹
O. Obodianska²
Y. Franchuk¹

MODELING OF NATURAL GAS QUALITY ASSESSMENT USING FUZZY KNOWLEDGE BASES

¹Kyiv National University of Construction and Architecture
²Vinnitsia National Technical University

For the transportation of natural gas and use it as an energy carrier, on a municipal and industrial scale, it is necessary to qualitatively prepare and purify it, because the primary natural gas contains a large amount of droplets of moisture, heavy hydrocarbons and mechanical impurities, which can lead to the formation hydrates, corrosion, damage to process equipment, shortening the life cycle of the gas transmission system, and worst of all, the occurrence of gas pipeline emergencies.

The paper presents a study of the influence of factors on the quality of natural gas at the stage of preparation (purification) of it for transportation to consumers. Such factors are found to be the Wobbe number higher, the heat of combustion higher, the relative density of natural gas purification from hydrogen sulfide, nitrogen, carbon dioxide, oxygen, mechanical impurities and moisture. The mathematical model of managerial decision making is proposed by the expert of the project on estimation and prediction of quality of natural gas with consideration of qualitative and quantitative excitatory factors of influence on it, based on the theory of fuzzy logic on linguistic variable. Phasification of fuzzy estimates of impact factors was performed, which made it possible to construct membership functions for linguistic variables describing the process of natural gas preparation at the system level. To determine the quality of fuel on the basis of expert-linguistic information in the form of "IF - THAT" rules, a fuzzy matrix of knowledge was created and a system of fuzzy logical equations was obtained, which will allow to predict the process of purification of natural gas for transportation and its composition under different operating conditions of the gas transmission system to provide consumers natural gas of normalized quality. Gas quality assessment and forecasting have been carried out, which will increase the operational reliability of the gas transmission system and reduce the likelihood of gas accidents and ultimately affect the timely supply of gas and reduce the cost of gas pipeline repairs.

Key words: natural gas, gas quality, fuzzy logic, linguistic variable, knowledge matrix, membership function.

Predun Konstantin – PhD in engineering, associate professor, assistant professor of the department of heat and gas supply and ventilation, Kyiv National University of Construction and Architecture, e-mail: 31172@ukr.net.

Obodianska Olha – PhD in engineering, senior lecturer of department of Systems Engineering in construction, Vinnytsia National Technical University, e-mail: olha.obodyanska@i.ua.

Franchuk Yuriy – assistant of the department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Kyiv National University of Construction and Architecture, e-mail: franchuk196405@gmail.com.

К. М. Предун¹
О. И. Ободьянская²
Ю. Й. Франчук¹

ПЛАНИРОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНОДНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЕКАНИЯ ТОКА

¹Киевский национальный университет строительства и архитектуры

²Винницкий национальный технический университет

Для транспортировки природного газа и использования его в качестве энергоносителя, в коммунально-бытовых и промышленных масштабах необходимым условием является его качественная подготовка и очистки, так как в первичном природном газе содержится большое количество капельной влаги, тяжелых углеводородов и механических примесей, что может привести к образованию гидратов, коррозии, повреждения технологического оборудования, уменьшение жизненного цикла газотранспортной системы и самое страшное – возникновение аварийных ситуаций на газопроводах.

В работе представлено исследование влияния факторов на качество природного газа на этапе подготовки (очистки) его для транспортировки к потребителям. Установлено, что такими факторами влияния является число Воббе, теплота сгорания, относительная плотность природного газа, очистка от сероводорода, азота, углекислого газа, кислорода, механических примесей и влаги. Предложена математическая модель принятия управленческих решений экспертом проекта по оценке и прогнозирования качества природного газа с учетом качественных и количественных возбуждающих факторов влияния на нее, основана на теории нечеткой логики на лингвистической переменной. Выполнено фаззификацию нечетких оценок факторов влияния, что позволило построить функции принадлежности для лингвистических переменных, описывающих процесс подготовки природного газа на системном уровне. Для определения качества топлива на базе экспертно-лингвистической информации в виде правил "если – то" создано нечеткую матрицу знаний и получено систему нечетких логических уравнений, что позволит спрогнозировать процесс очистки природного газа для транспортировки и его состав при различных условиях эксплуатации газотранспортной системы для обеспечения потребителей природным газом нормированного качества. Проведена оценка и прогнозирование качества газа, что приведет к повышению эксплуатационной надежности газотранспортной системы и уменьшению вероятности возникновения аварий на ней и в конечном счете скажется на своевременном снабжении газа и уменьшении расходов на ремонт газопроводов.

Ключевые слова: природный газ, качество газа, нечеткая логика, лингвистическая переменная, матрица знаний, функция принадлежности.

Предун Константин Миронович – кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, e-mail: 31172@ukr.net.

Ободьянская Ольга Игоревна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерных систем в строительстве, Винницкий национальный технический университет, e-mail: olha.obodyanska@i.ua.

Франчук Юрий Иосифович – ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, e-mail: franchuk196405@gmail.com.