

УДК 533.1:620.93:658.56

Створення експертно-моделювальної системи для аналізу факторів, які впливають на якість природного газу

Ю. Й. Франчук¹

асистент, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, franchuk196405@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7910-8705

Анотація. Проаналізовані вимоги чинних в Україні нормативно-технічних документів щодо визначення показників якості природних газів. Виконано порівняння з аналогічними європейськими та російськими стандартами. Для комплексного оцінювання якості природного газу запропоновано методуку, що базується на теорії нечіткої логіки та лінгвістичної змінної. Встановлено чинники, що характеризують кількісні та якісні параметри фізико-хімічних властивостей видобутого з родовища природного газу, якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування та технічні умови експлуатації газорозподільних мереж населеного пункту. Виконано їхню формалізацію та ієрархічну класифікацію. Для факторів впливу на якість природного газу універсальні множини вибрано відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів, гармонізованих з європейським законодавством. Обґрунтовано вибір найбільш важливих фізико-хімічних властивостей природного газу для його енергетичної оцінки.

Ключові слова: природний газ, компонентний склад, якість газу, фізико-хімічні властивості, теплота згоряння, умови вимірювання, лінгвістична змінна, універсальна множина

Вступ. Природний газ є основним енергетичним ресурсом у нашій державі. Його частка в загальному первинному постачанні енергії сьогодні становить близько 30 %. Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2035 р. її планується залишити на цьому ж рівні [1]. Близько 50 % природного газу використовується в житлово-комунальному господарстві для задоволення господарсько-побутових потреб мешканців житлових будинків та потреб у теплопостачанні, як централізованому, так і місцевому [2]. Водночас, у даній галузі домінують морально застарілі технології, технічно зношене обладнання та устаткування. Вона залишається найменш реформованою серед інших. Одними із ключових проблем є вимоги до якості палива та потреба встановлення ціни залежно від його енергетичної цінності та обсягів використання кінцевим споживачем.

Актуальність дослідження. Природний газ має високу цінність для економіки держави. Він є екологічно безпечним порівняно з іншими видами палива, серед яких і альтернативні. Однак, в Україні практично відсутній системний підхід до оцінювання його якості. Якість газу – це ступінь відповідності його показників встановленим вимогам, яка визначається його складом і фізичними властивостями.

Вимоги щодо фізико-хімічних властивостей природного газу регламентовані низкою нормативно-технічних документів [3...5]. При цьому вказані в них деякі характеристики (наприклад, вміст вуглекислого газу, умови вимірювання показників, значення теплоти згорян-

ня тощо) суперечать одна одній.

Критерієм оцінки якості газу, зазвичай, раніше було прийнято використовувати нижчу теплоту згоряння, визначену при так званих стандартних умовах [6]: температурі 20 °С і тиску 101,325 кПа. Як правило, в Україні [7] її величина перевищує мінімальне значення 32,66 МДж/м³ [3]. Лише на підставі цього робиться висновок про відповідність фізико-хімічних властивостей природного газу вимогам нормативних документів.

У нормативних документах, наприклад, у Кодексі [3], надано перелік різномірних характеристик газу (вміст інгредієнтів, точка роси тощо) з граничними значеннями. Порівняно з аналогічними показниками використаного газу вони не дають кінцевому споживачеві повної інформації про його якість, зокрема, про енергетичну цінність. Проблема поглиблюється

- відсутністю достовірних приладів обліку з приведенням кількості спожитого газу до стандартних умов у переважній більшості (біля 8 млн.) мешканців житлових будинків;
- нарахуванням плати за укрупненими показниками для майже 3 млн. абонентів.

Окрім того, сьогодні мало чи не кожна газорозподільча організація в Україні не може перевірити фізико-хімічні властивості природного газу в кінцевого споживача [7].

Важливість вирішення зазначених проблем для забезпечення надійного, безперебійного та безаварійного газопостачання різноманітних об'єктів населених пунктів, а також впровадження інтелектуальних систем обліку природного

газу підкреслювалися на засіданні Громадської ради при Міністерстві енергетики та вугільної промисловості України [8].

Останні дослідження та публікації. За Законом України «Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства» [9] наша держава приєдналася до єдиного простору регулювання торгівлі газом. Вона взяла на себе зобов'язання виконувати всі рішення та процедурні акти, прийняті під час застосування Договору. Відповідно, кількість спожитого природного газу, що приймається-передається, повинна виражатися в одиницях енергії.

Інформація щодо фізико-хімічних властивостей газу, зокрема, теплоти згоряння, в Україні вже доступна кінцевому споживачеві – як власнику вузла комерційного обліку, так і абоненту житлового будинку. Наприклад, щомісяця за регіонами України публікується карта [7] із середньозваженими значеннями теплоти згоряння, що має різні значення залежно від:

- магістрального газопроводу;
- родовища газу;
- технологічного режиму його підготовки до транспортування;
- конкретної країни-експортера газу.

Складено маршрутні карти транспортування природного газу від газорозподільної станції чи іншого об'єкту газотранспортної системи (де визначають фізико-хімічні властивості природного газу) до будь-якого споживача в населеному пункті.

На сьогодні природний газ, попри розповсюджену інформацію щодо його високої вартості, залишається найдешевшим паливом на одиницю енергії. Чинна з 1 липня 2019 року ціна природного газу для побутових споживачів у Києві становить $C_1 = 6,48$ грн./м³ [10]. При нижчій теплоті згоряння за стандартних умов $H_f^\circ(25/20\text{ }^\circ\text{C}) = 33,08$ МДж/м³ [3] вартість на одиницю енергії становить лише $C_2 = 0,71$ грн/(кВт·год). Водночас, роздрібна ціна електричної енергії для побутових споживачів при обсязі споживання до 100 кВт·год на місяць є сталою на всій території України: $C_3 = 0,90$ грн/(кВт·год) [11].

Із виконаного аналізу наукових досліджень [12...15] та вимог чинних нормативно-технічних документів [3, 4, 16] впливає висновок, що визначенню якості природного газу приділяється значна увага. Однак, здебільшого йдеться про вдосконалення вимірювання окремих його параметрів без комплексного аналізу функціональних або кореляційних зв'язків між ними. Водночас, фізико-хімічні

властивості газу визначаються в точках прийому-передачі, наприклад, на газорозподільних станціях (ГРС). Ці властивості можуть зазнавати змін при транспортуванні газу газорозподільними мережами населеного пункту [13].

Формулювання цілей статті. Метою статті є вибір концепції оцінювання та показників для визначення якості природного газу як енергоносія.

Основна частина. З набуттям чинності Кодексу газотранспортної системи [3] розпочалося широке впровадження і використання термінології, запровадженої Державними стандартами України [16, 17] на підставі відповідного європейського законодавства [18] щодо проектування та експлуатації газопроводів і споруд на них. При цьому за ISO 6976:1995 [18] національне законодавство може містити певні відхилення від європейських норм, наприклад, щодо значень температури (табл. 1).

За 2018 р. економікою України спожито 32,3 млрд. м³ [2] природного газу, серед яких 21,0 млрд. м³ [21] – це газ власного видобутку. З урахуванням географічного положення України та організації газотранспортної системи колишнього СРСР з достатньою точністю можна припустити, що практично весь імпортований газ – 11,2 млрд. м³ – це частина газу російського походження, що проходить транзитом через Україну до Європейського Союзу.

Як приклад, проаналізуємо енергетичні властивості природного газу з Южно-Руського нафтогазового родовища ВАТ «Севернефтегазпром» Російської Федерації [22]. При цьому скористаємося вітчизняною методикою розрахунку його теплоти згоряння [17] (табл. 2, 3).

Відмінності умов вимірювання параметрів природного газу згідно з національними стандартами [17, 20] призводять до розбіжності визначеної теплоти згоряння не більше ніж 0,2 %. Для задач, які розглядаються, ця розбіжність несуттєва. Значно більшими (за абсолютною величиною) є похибки вимірювання кількості спожитого газу [23]. Отже, природний газ, імпортований з Російської Федерації, цілком відповідає вимогам нормативних документів нашої держави щодо енергетичних показників [3, 4].

Водночас, більш суттєвим є дуалізм власних вимог щодо фізико-хімічних властивостей газу, наведених у Кодексі газотранспортної системи [3] і Проекті технічного регламенту природного газу [4] (при цьому значення деяких параметрів останнього документу виходять за межі чинного), а саме:

Таблиця 1

Порівняльний аналіз термінів і визначень

Найменування	Нормативний документ	
	колишнього СРСР [6, 19], Російської Федерації [20]	Європейського Союзу [18], України [3, 16, 17]
1. Умови вимірювання параметрів природного газу:		
- стандартні	Температура згоряння і продуктів спалювання $T_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ (293 К), тиск $p_1 = 760\text{ мм рт. ст.}$ (101,325 кПа)	Температура згоряння $T_1 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ (298 К), теж, вимірювання $T_2 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ (293 К), тиск $p_1 = 760\text{ мм рт. ст.}$ (101,325 кПа)
- нормальні	Температури згоряння і продуктів спалювання $T_1 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ (273 К), тиск $p_1 = 760\text{ мм рт. ст.}$ (101,325 кПа)	Температура згоряння $T_1 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ (298 К), теж, вимірювання $T_2 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ (273 К), тиск $p_1 = 760\text{ мм рт. ст.}$ (101,325 кПа)
2. Теплота згоряння:		
- вища	Кількість теплоти, яка може виділитися при повному згорянні в повітрі певної кількості газу таким чином, що тиск p_1 , при якому відбувається реакція, залишається сталим, а усі продукти спалювання набувають того ж значення температури T_1 , що і температура реагентів. При цьому всі продукти знаходяться у газоподібному стані, за винятком води, яка конденсується в рідину при цій же температурі T_1^*	Енергія, яка може виділитися під час повного згоряння в повітрі певної кількості газу так, що тиск p_1 , за якого відбувається реакція, залишається сталим, а всі продукти згоряння повертаються до тієї самої певної температури T_1 , що і температура реагентів, всі ці продукти перебувають у газоподібному стані, за винятком води, що утворилася під час згоряння і конденсується в рідину за T_1
- нижча	Кількість теплоти, яка може виділитися при повному згорянні у повітрі певної кількості газу таким чином, що тиск p_1 , при якому відбувається реакція, залишається сталим, а усі продукти спалювання приймають те ж значення температури T_1 , що і температура реагентів. При цьому всі продукти знаходяться у газоподібному стані*	Енергія, що вивільнюється у вигляді теплоти під час повного згоряння на повітрі певної кількості газу, при цьому тиск p_1 , за якого відбувається реакція, залишається сталим, і всі продукти згоряння приводяться до однієї певної температури T_1 , і в газоподібному стані

Примітка. Визначення теплоти згоряння: вищої та нижчої, наведені у графі 2, стосуються термінології чинного стандарту Російської Федерації [20]. У стандартах колишнього СРСР [6, 19] термінологія щодо даного питання визначалася винятково умовами вимірювання (див. поз. 1 графі 2).

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості природного газу Южно-Руського нафтогазового родовища [22]

№ з/п	Показник	Одиниці вимірювання	Норма	Фактичне значення
1	Компонентний склад:			
	- молярна частка метану	%	-	98,89
	- молярна частка етану	%	-	0,0400
	- молярна частка пропану	%	-	0,0019
	- молярна частка н-бутану	%	-	<0,001
	- молярна частка н-пентану	%	-	<0,001
	- молярна частка азоту	%	-	1,03
	- молярна частка діоксиду вуглецю	%	$\leq 2,5$	0,0080
	- молярна частка кисню	%	$\leq 0,020$	0,0123
2	Масова концентрація:			
	- сірководню:	г/м ³	$\leq 0,007$	<0,001
	- загальної сірки	г/м ³	$\leq 0,030$	<0,001
	- механічних домішок (смоли та пилу)	г/м ³	$\leq 0,001$	<0,001
3.	Теплота згоряння при 20 °С і 101235 Па			
	- вища	МДж/м ³	-	36,71
	- нижча	МДж/м ³	$\geq 31,8$	33,08
4.	Густина при 20 °С і 101235 Па	кг/м ³	-	0,6737

Порівняльний аналіз енергетичних показників природного газу, отриманих розрахунковим шляхом відповідно до вимог нормативних документів

№ з/п	Показник	Одиниці вимірювання	Значення за паспортом якості [22]	Значення згідно з	
				[20]	[17]
1	Теплота згоряння вища:				
	- стандартні умови	МДж/м ³	36,71	36,66	36,72
	- нормальні умови	МДж/м ³	-	39,34	39,41
2	Теплота згоряння нижча:				
	- стандартні умови	МДж/м ³	33,08	33,02	33,07
	- нормальні умови	МДж/м ³	-	35,45	35,51

- різний діапазон теплоти згоряння, а особливо – його верхньої межі;
- максимальні значення вмісту деяких компонентів, вказаних у Проекті [4], у т. ч. і порівняно з європейськими [24] та російськими стандартами [22]:
 - діоксиду вуглецю,
 - меркаптанової сірки,
 - механічних домішок.

Наприклад, природний газ Гадяцького родовища [25] з достатньо великим вмістом важких вуглеводнів характеризується вищою теплою згоряння $H_S^\circ(25/0\text{ }^\circ\text{C}) = 42,64$ МДж/м³ і $H_S^\circ(25/20\text{ }^\circ\text{C}) = 39,73$ МДж/м³. Наведені значення менші за максимальні нормативні величини відповідно до Проекту регламенту природного газу [4] – $H_S^\circ(25/0\text{ }^\circ\text{C}) = 48,38$ МДж/м³ і $H_S^\circ(25/20\text{ }^\circ\text{C}) = 44,94$ МДж/м³. Однак, вони є дещо вищими за значення, які наведено в Кодексі [3]: $H_S^\circ(25/0\text{ }^\circ\text{C}) = 41,1$ МДж/м³ і $H_S^\circ(25/20\text{ }^\circ\text{C}) = 38,3$ МДж/м³.

Ще однією проблемою є значне збільшення молярної частки діоксиду вуглецю у Проекті технічного регламенту [4] – до 6%. Чинний Кодекс газотранспортної системи регламентує цю частку на рівні 2,0% [3], як і у ГОСТ 5542-87 колишнього СРСР [6]. У Російській Федерації [22] ця молярна частка становить 2,5%. Це означає, що майже 10% у складі природного газу в Україні зможуть займати негорючі компоненти – сполуки азоту (до 5% згідно з вимогами [3]) і вуглецю. Зазвичай, їх слід попередньо видалити з метою зменшення витрат на транспортування мережею магістральних газопроводів.

У роботі [13] автором досліджено газ, що надходить газопроводом Шебелинка-Харків до міста Харкова та Харківської області. Унаслідок недостатньої підготовки до транспортування та незадовільного стану газорозподільних мереж він має незадовільну якість згідно з [3, 4]. Цей газ містить вуглеводного конденсату 30...50%, пластової води 40...70%, механічних домішок 5...15%, мінеральних солей 3...6%,

продуктів корозії 0,5...1,2%.

Виникає необхідність створити експертно-моделювальну систему для аналізу процесу накопичення факторів, які впливають на якість природного газу. Для цього використано математичний апарат, що базується на теорії нечіткої логіки та лінгвістичної змінної [26...28]. Цей метод як пов'язана сукупність математичних моделей дозволяє застосовувати експертно-лінгвістичну інформацію для оцінки якості природного газу залежно від факторів, що її обумовлюють.

На системному рівні лінгвістичну змінну $A_{янг}$, що характеризує якість природного газу, можна представити співвідношенням [29]

$$A_{янг} = f(X, Y, Z), \quad (1)$$

де $X = f_x(x_1; x_2)$ – лінгвістична змінна (ЛЗ), яка описує фізико-хімічні властивості видобутого з родовища природного газу; $Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4; y_5; y_6; y_7; y_8; y_9)$ – ЛЗ, що описує якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування; $Z = f_z(z_1; z_2; z_3; z_4; z_5; z_6; z_7)$ – ЛЗ, яка описує технічні умови експлуатації газорозподільної системи населеного пункту; $x_1 = f_{x1}(s_1; s_2; s_3; s_4; s_5)$ – ЛЗ «вміст вуглеводнів у складі природного газу»; $x_2 = f_{x2}(b_1; b_2; b_3; b_4; b_5; b_6)$ – ЛЗ «вміст шкідливих компонентів у складі газу»; $y_1 \dots y_9, z_1 \dots z_7, s_1 \dots s_5$ і $b_1 \dots b_6$ – див. табл. 4.

Значення лінгвістичних змінних $y_1 \dots b_6$ оцінюються за допомогою системи якісних термів, які наведено в табл. 4. Для факторів впливу на якість природного газу універсальні множини (табл. 4) вибрано відповідно до Кодексу газотранспортної системи [3] та Технічного регламенту природного газу [4]. Запропонована модель нечіткого логічного висновку [30] разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника – якості природного газу – залежно від кількісних та якісних факторів.

Фактори впливу як лінгвістичні змінні

Позначення та назва змінної [29]	Універсальна множина	Терми для оцінки
s_1 – вміст метану (CH_4)	80...98 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
s_2 – вміст етану (C_2H_6)	1...7 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
s_3 – вміст пропану (C_3H_8)	0...3 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
s_4 – вміст бутану (C_4H_{10})	0...2 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
s_5 – вміст пентану та інших вуглеводнів (C_5H_{12})	0...1 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
b_1 – вміст сірководню (H_2S)	0...20 мг/м^3	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
b_2 – вміст азоту (N_2)	1...5 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
b_3 – вміст діоксиду вуглецю (CO_2)	0...6 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
b_4 – вміст кисню (O_2)	0...1 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
b_5 – вміст механічних домішок	1...10 г/м^3	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
b_6 – вміст вологи (за точкою роси вологи при тиску 3,92 МПа)	-8...0 $^{\circ}\text{C}$	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
y_1 – очищення від сірководню (H_2S)	0...20 мг/м^3	повна (Пв), часткова (Ч), відсутня (Вд)
y_2 – очищення від азоту (N_2)	0...5 %	повна (Пв), часткова (Ч), відсутня (Вд)
y_3 – очищення від діоксиду вуглецю (CO_2)	0...6 %	повна (Пв), часткова (Ч), відсутня (Вд)
y_4 – очищення від кисню (O_2)	0...0,02 %	повна (Пв), часткова (Ч), відсутня (Вд)
y_5 – очищення від механічних домішок	0...1 мг/м^3	повна (Пв), часткова (Ч), відсутня (Вд)
y_6 – очищення від вологи	-8...0 $^{\circ}\text{C}$	повна (Пв), часткова (Ч), відсутня (Вд)
y_7 – число Воббе вище (стандартні умови)	44,9...53,7 МДж/м^3	низьке (Н), середнє (С), 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	низька (Н), середня (С), висока (В)
z_1 – вміст сірководню (H_2S)	0...6 мг/м^3	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
z_2 – вміст азоту (N_2)	0...5 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
z_3 – вміст діоксиду вуглецю (CO_2)	0...6 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
z_4 – вміст кисню	0...1 %	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
z_5 – вміст механічних домішок	0...1 мг/м^3	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
z_6 – вміст вологи (за точкою роси вологи при тиску 3,92 МПа)	-8...0 $^{\circ}\text{C}$	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)
z_7 – вміст меркаптанової сірки	0...20 мг/м^3	низький (Н), нижче середнього (нС), середній (С), вище середнього (вС), високий (В)

Висновки. Незважаючи на високу енергетичну і хімічну цінність природного газу, екологічність та відносну дешевизну порівняно з іншими видами палива, в Україні до сьогодні відсутній систематизований підхід до оцінювання його якості з урахуванням усіх технологічних процесів у ланцюгу «видобування – транспортування – використання» цього палива. На основі проведених досліджень встановлено чинники, що характеризують кількісні та якісні параметри фізико-хімічних властивостей видобутого з родовища природно-

го газу, підготовки (очищення) природного газу для транспортування та технічних умов експлуатації газорозподільних мереж населеного пункту і виконано їхню формалізацію та ієрархічну класифікацію.

У подальшому розроблена методика визначення рівня якості природного газу як енергоносія, яка ґрунтується на врахуванні компонентного складу і всіх його фізико-хімічних властивостей, дозволить запровадити розрахунки на ринку природного газу в одиницях енергії.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Схвал. розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. №605-р.
2. Використання природного газу в Україні, 1017-2018 рр., млрд. м³. [Електронний ресурс]. – URL: <https://dtek.com/content/files/rinok-prirodnogo-gazu.pdf>
3. Кодекс газотранспортної системи. – Затвердж. Постановою НКРЕКП №2493 від 30.09.2015 [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z1378-15>
4. Постанова КМУ «Про затвердження Технічного регламенту природного газу» 08.05.2019. [Електронний ресурс]. – URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245366216&cat_id=167475
5. ДБН В.2.5-20-2018. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Газопостачання. – Чинні від 01.07.2019. – Київ: Укрархбудінформ, 2019. – 109 с.
6. ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – Дата введения 01.01.1988. – Москва: Изд.-во стандартов, 1987. – 2 с.
7. Якість газу. [Електронний ресурс]. – URL: http://utg.ua/utg/business_info/yakist-gazu.html
8. Протокол №10-4(ГР)-2019 засідання Громадської ради при Міністерстві енергетики та вугільної промисловості України від 2 липня 2019 року. [Електронний ресурс]. – URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/printable_article?art_id=245383088
9. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства: закон України: станом 1.01.2019 р. – № 2787-VI (2787-17) від 15.12.2010. – Київ: ВВР, 2011, №24, ст.170.
10. Ціна на газ для побутових споживачів [Електронний ресурс]. – URL: <https://energy.kyivgaz.ua/ofitsijna-informatsiy a/tsini-ta-tarifi-na-gaz.html>
11. Тарифи. КИЇВЕНЕРГО. Офіційний сайт для клієнтів [Електронний ресурс]. – URL: https://kyivenergo.ua/dtek_kem_home/tarifi_home
12. Гордієнко А. І. До питання переходу на облік природного газу як енергоносія / А. І. Гордієнко, І. Г. Богомолець, М. В. Чуб // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – №3. – с. 42-43.
13. Капцова Н. І. Підвищення ефективності експлуатації та ремонту міських газопроводів: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.03 / Капцова Н. І.; Міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет будівництва і архітектури. – Харків, 2018. – 20 с.
14. Козій В. М. Якість газу родовищ України / В. М. Козій, А. І. Лур'є, І. А. Рубанова // Питання розвитку газової промисловості України: наук.-виробн. збірн. УкрНДІгаз. – Вип. 28. – 2000. – с. 66-68.
15. Мотало А. В. Аналіз основних проблем методології оцінювання якості вуглеводневих газів / А. В. Мотало, Б. І. Стадник, В. П. Мотало // Науковий вісник НЛТУ України: збірн. наук.-техн. праць. Екологія та довкілля. – 2015. – Т. 25. – №10. – с. 178-183. <https://doi.org/10.15421/40251027>
16. ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії. – Чинний з 01.01.2011 р. – Держспоживстандарт України, 2010. – 29 с.
17. ДСТУ ISO 6976:2009. Природний газ. Обчислення теплоти згорання, густини, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу. – Чинний з 1.01.2011. – Держспоживстандарт України, 2010. – 53 с.
18. ISO 6976:2016. Natural gas. Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition. – Third edition 15.08.2016. – [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.sis.se/api/document/preview/920813/>
19. ГОСТ 22267-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе. – Дата введения 01.07.1983. – Москва: Изд.-во стандартов, 1983. – 63 с.
20. ГОСТ 31369-2008 (ISO 6976:1995). Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава. – Дата введения 01.01.2010. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 54 с.

21. Видобуток газу в Україні в 2015-2018 рр., млрд. м³. [Електронний ресурс]. – URL: www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/DD0A8D483883B3E4C22583900050AD0C
22. Паспорт качества №4. Газ горючий природный. СТО Газпром 089-2010. – ОАО «Севернефтегазпром». Газовый промысел Южно-Русского нефтегазоконденсатного месторождения. – Апрель 2019 г. [Електронний ресурс]. – URL: <https://ОАО Севернефтегазпром Южно-Русского НГМ ГИС5383602633016703924.pdf>
23. Предун К. М. Удосконалення обліку природного газу абонентами житлових будинків / К. М. Предун, О. М. Шевчук // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. збірник*. – 2016. – Вип.19. – с. 82-86. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2016.19.82-86>
24. Петришин І. Аналіз показників якості природного газу, які впливають на процес горіння / І. Петришин, В. Соколовський, Н. Петришин, І. Дарвай // *Стандартизація, сертифікація, якість*. – 2012. – №3. – с. 51-56.
25. Єнін П. М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом: навч. посібн. / П. М. Єнін, Г. Г. Шишко, К. М. Предун. – Київ: Логос, 2002. – 196 с.
26. 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.
27. Ротштейн А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997. – 142 с.
28. Nikola K. Kasabov. Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering / Nikola K. Kasabov. – London, England, Cambridge, Massachusetts: A Bradford Book, The MIT Press, 1998. – 538 p. – ISBN 0-262-11212-4.
29. 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. – <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.9788615>.
30. Предун К. М. Модель багатофакторної оцінки якості природного газу / К. М. Предун, Ю. Й. Франчук, О. І. Ободяньська // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. збірник*. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 30. – с. 20-28. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.30.20-28>

References

1. *Enerhetychna stratehiya Ukrainy na period do 2035 r. «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist»*. – Skhval. rozporядzhennyam KМУ vid 18.08.2017. №605-r.
2. *Vykorystannya pryrodnoho hazu v Ukraini, 2017-2018 rr., mlrd. m3*. URL: <https://dtek.com/content/files/rinok-pryrodnoho-gazu.pdf>
3. *Kodeks hazotransportnoyi systemy*. Zatverdzh. Postanovoyu NKREKP №2493 vid 30.09.2015. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z1378-15>
4. *Postanova KМУ «Pro zatverdzhennya texnichnogo reglamentu pryrodnoho hazu»*. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245366216&cat_id=167475
5. *Inzhenerne obladdannya budynkiv i sporud. Zovnishni merezhi ta sporudy. Hazopostachannya*. DBN V.2.5-20-2018. Derzhbud Ukrainy, 2018.
6. *Hazy horyuchye pryrodnye dlya promyshlennoho y kommunal'no-bytovoho naznachennya. Tekhnicheskyye usloviya*. GOST 5542-87. Yzd.-vo standartov, 1987.
7. *Yakist hazu*. URL: http://utg.ua/utg/business_info/yakist-gazu.html
8. *Protokol №10-4(HR)-2019 zasidannya Hromads'koyi rady pry Ministerstvi enerhetyky ta vuhil'noyi promyslovosti Ukrainy vid 2 lypnya 2019 roku*. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/printable_article?art_id=245383088
9. *Pro ratyfikatsiyu Protokolu pro pryednannya Ukrainy do dohovoru pro zasnuvannya Enerhetychnoho Spivtovarystva: zakon Ukrainy: stanom 1.01.2019. № 2787-VI (2787-17) vid 15.12.2010*. VVR. 2011. №24.
10. *Tsina na haz dlya pobutovykh spozhyvachiv*. URL: <https://energy.kyivgaz.ua/ofitsijna-informatsiy-a/tsini-ta-tarif-na-gaz.html>
11. *Taryfy. KYIVENERHO. Ofitsiynyy sayt dlya kliyentiv*. URL: https://kyivenergo.ua/dtek_kem_home/tarifi_home
12. Hordiienko A. I., Bohomolets I. H., Chub M. V. “Do pytannia perekhodu na oblik pryrodnoho hazu yak enerhosiia.” *Naftova i hazova promyslovisht*. 2001. no. 3. P. 42-43.
13. Kaptsova N. I. *Pidvyshchennya efektyvnosti ekspluatatsiyi ta remontu mis'kykh hazoprovodiv*: avtoref. Diss. abstract. *Kharkivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury*. 2018.
14. Kozii V. M., Lurie A. I., Rubanova I. A. “Yakist hazu rodovyshch Ukrainy.” *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy: nauk.-vyrobn. zbirn. UkrNDIhaz*. 2000. Iss. 28. P. 66-68.
15. Motalo A. V., Stadnyk B. I., Motalo V. P. “Analiz osnovnykh problem metodolohii otsinuvannya yakosti vuhlevodnykh haziv.” *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy: zbirn. nauk.-tekhn. prats. Ekolohiia ta dovkillia*. 2015. T.25. №10. P. 178-183. <https://doi.org/10.15421/40251027>
16. *Pryrodnyi haz. Vyznachennia enerhii*. DSTU ISO 15112:2009. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010.
17. *Pryrodnyi haz. Obchyslennia teploty zhorannia, hustyny, vidnosnoi hustyny i chysla Wobbe na osnovi komponentnoho skladu*. DSTU ISO 6976:2009. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010.

18. *Natural gas. Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition* ISO 6976:2016. URL: <https://www.sis.se/api/document/preview/920813/>
19. *Gazy goriuchie prirodnye. raschetnyi metod opredeleniia teploty sgoraniia, otnositelnoi plotnosti i chisla Wobbe*. GOST 22267-82. Izd.-vo standartov, 1983.
20. *Haz prirodnyj. Vychislenie teploty sgoraniya, otnositelnoj plotnosti i chisla vobbe na osnove komponentnogo sostava*. GOST 31369-2008 (ISO 6976:1995). URL: <https://dokipedia.ru/document/5337355>
21. *Vidobutok hazu v Ukraini v 2015-2018 rr., mlrd. M3*. URL: www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/dd0a8d483883b3e4c22583900050ad0c
22. *Pasport kachestva №4. Haz goriuchij prirodnyj. STO gazprom 089-2010. OAO «Severneftegazprom». Gazovyy promysel yuzhno-russkogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniia. aprel 2019*. URL: <https://oao.severneftegazprom.yuzhno-russkogo.ngm.gis5383602633016703924.pdf>
23. Predun K. M., Shevchuk O. M. “Udoskonalennia obliku pryrodnoho hazu abonentamy zhitlovykh budynkiv.” *Ventilyaciya, osvittleniya ta teplofazopostachannya: nauk.-texn. zbirnik*. 2016. Iss. 19. P. 82-86.
24. Petryshyn I., Sokolovskiy V., Petryshyn N., Darvai I. “Analiz pokaznykiv yakosti pryrodnoho hazu, yaki vplyvaut na protses gorinnia.” *Standartizaciia, sertifikatsiia, yakist*. 2012. №3. P. 51-56.
25. Yenin P. M., Shishko G. G., Predun K. M. *Hazopostachannya naselenix punktiv i obektiv pryrodnim hazom*. Logos, 2002.
26. Mitiushkin Yu. I., Mokin B. I., Rotshtein A. P. *Soft computing: identyfikaciya zakonomernostej nechekimi bazami znanij*. Universum–Vinnica, 2002.
27. Rotshtein A. P., Shtovba S. *Nechetskaya nadezhnost algoritmicheskix processov*. Kontinent-Prim, 1997.
28. Nikola K. Kasabov. *Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering*. Cambridge, Massachusetts: A Bradford Book, The MIT Press, 1998. ISBN 0-262-11212-4.
29. Franchuk Yu. I., Obodianska O. I., Predun K. M. “Otsinka yakosti pryrodnoho hazu yak enerhonosiia na osnovi lnhvistychnoi informatsii”. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, 2019, no 38, pp.143-150. <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.9788615>.
30. Predun K. M., Franchuk Yu. Y., Obodyanska O. I. “Model bahatofaktornoyi otsinky yakosti pryrodnoho hazu.” *Ventylyatsiya, osvittleniya ta teplofazopostachannya: nauk.-tekhn. zbirnyk*. 2019. Vyp. 30. P. 20-28. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.30.20-28>

УДК 533.1:620.93:658.56

Создание экспертно-моделирующей системы для анализа факторов, влияющих на качество природного газа

Ю. Й. Франчук¹

ассистент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, franchuk196405@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7910-8705

Аннотация. Проанализированы требования действующих в Украине нормативно-технических документов по определению показателей качества природного газа. Выполнено сравнение с аналогичными европейскими и российскими стандартами. Для комплексной оценки качества природного газа предложена методика, базирующаяся на теории нечёткой логики и лингвистической переменной. Установлены факторы, характеризующие количественные и качественные параметры физико-химических свойств добываемого с месторождения природного газа, качество подготовки (очистки) природного газа для транспортировки и технические условия эксплуатации газораспределительных сетей населённого пункта. Выполнена их формализация и иерархическая классификация. Для факторов влияния на качество природного газа универсальные множества выбраны в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов, гармонизированных с европейским законодательством. Обоснован выбор важнейших физико-химических свойств природного газа для его энергетической оценки.

Ключевые слова: природный газ, компонентный состав, качество газа, физико-химические свойства, теплота сгорания, условия измерения, лингвистическая переменная, универсальное множество.

UDC 533.1:620.93:658.56

Creation of an Expert-Modelling System for the Analysis of Factors that Affect the Quality of Natural Gas

Yu. Franchuk¹

¹Assistant, Kyiv National University of Construction and Architects. Kyiv, Ukraine, franchuk196405@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7910-8705

Abstract. Natural gas is the main energy resource in our country. Its share in total primary energy supply today is about 30 %. According to the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 it is planned to remain the share at the same level. The requirements of the normative-technical documents in force in determining the quality indicators of natural gases are analysed. Gas quality is the degree of compliance of natural gas indicators with the established requirements, which is determined by its composition and physical properties. Comparison was made with similar European and Russian standards. Some of these characteristics (such as carbon dioxide content, measurement range, combustion heat values, etc.) contradict each other. A methodology based on the theory of fuzzy logic and linguistic variable is proposed for complex assessment of natural gas quality. Factors characterizing the quantitative and qualitative parameters of the physical and chemical properties of the natural gas extracted, the quality of preparation (purification) of natural gas for transportation, and the technical conditions of operation of gas distribution networks of the settlement have been established. Their formalization and hierarchical classification have been completed. For the factors of influence on the quality of natural gas universal sets are selected in accordance with the requirements of the current normative and technical documents harmonized with the European legislation. The choice of the most important physicochemical properties of natural gas for its energy evaluation is substantiated. The proposed hierarchical classification of factors affecting the quality of natural gas allows us to construct the functions of the estimation of the classified factors using linguistic variables. Belonging functions of the influencing factors on quality of natural gas are the basis for modelling of the expert system for support of management decision-making in the process of assessment and forecasting the natural gas quality

Keywords: natural gas, component composition, concentration, quality, physicochemical properties, combustion heat, measurement conditions, linguistic variable, universal sets.

Надійшла до редакції / Received 20.08.2019