



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114212** (13) **U**
(51) МПК

G01N 25/30 (2006.01)

G01N 29/024 (2006.01)

G01K 17/06 (2006.01)

F23N 5/02 (2006.01)

C01B 31/20 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: а 2015 00678</p> <p>(22) Дата подання заявки: 28.01.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.03.2017</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 10.08.2015, Бюл.№ 15</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.03.2017, Бюл.№ 5</p>	<p>(72) Винахідник(и): Карпаш Олег Михайлович (UA), Дарвай Ірина Ярославівна (UA), Карпаш Максим Олегович (UA), Яворський Андрій Вікторович (UA), Рибіцький Ігор Володимирович (UA), Височанський Ігор Іванович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)</p>
--	---

(54) СПОСІБ ЕКСПРЕС ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРИ

(57) Реферат:

Спосіб експрес визначення теплоти згоряння природного газу полягає у вимірюванні таких фізичних параметрів, як швидкість з урахуванням значень температури, вміст азоту та діоксиду вуглецю, і отриманні за допомогою алгоритмів штучних нейронних мереж за виміряними даними розрахункових значень теплоти згоряння природного газу.

UA 114212 U

Корисна модель належить до контролю фізико-хімічних характеристик природного газу, зокрема до експрес визначення теплоти згоряння.

Відомий спосіб визначення теплоти згоряння водяним калориметром [1], який полягає у безперервному спалюванні в калориметрі вимірюваного об'єму газу та вимірюванні виділеного тепла, що поглинається потоком води, який безперервно протікає в калориметрі. На основі вимірних даних розраховують вищу теплоту згоряння (Q_B) природного газу. Для визначення нижчої теплоти згоряння (Q_H) вимірюють об'єм конденсату водяної пари, отриманого при згорянні газу. На основі отриманих значень об'єму конденсату водяної пари розраховують теплоту конденсації.

Цей спосіб визначення теплоти згоряння природного газу має ряд недоліків, серед яких: невисока точність визначення теплоти згоряння, значні часові затрати на проведення вимірювання, необхідність підведення води, необхідність підтримання постійних температурних режимів у приміщенні, а також необхідність вентиляції приміщення для виведення продуктів згоряння природного газу.

Існує також спосіб визначення теплоти згоряння природного газу [2], який полягає в спалюванні природного газу в двох пальниках. Спочатку за допомогою двох пальників спалюють досліджуваний газ, заміряючи його температуру та витрату за допомогою турбінного лічильника. Потім досліджуваний газ подають разом з газом-носієм через обидва пальники, регулюючи витрату таким чином, щоб максимально наблизити температуру спалювання суміші до температури спалювання самого досліджуваного газу. На основі отриманих даних розраховують об'ємне співвідношення витрат, яке є функцією теплоти згоряння досліджуваного газу.

До недоліків цього методу слід віднести вибухо- та пожежонебезпечність, неможливість безперервного контролювання теплоти згоряння газу, а також низьку повторюваність результатів вимірювання.

Найбільш близьким за технічною суттю до запропонованого є спосіб визначення теплоти згоряння, який полягає в тому, що теплоту згоряння природного газу об'ємну (вищу або нижчу) розраховують за компонентним складом і теплотою згоряння окремих компонентів газу [3]. Компонентний склад газу в об'ємних частках процента визначають за допомогою хроматографа за методом абсолютного калібрування [4]. Далі, визначають всі компоненти, об'ємна частка яких перевищує 0,005 %, крім метану, вміст якого визначають за різницею 100 % і суми вмісту всіх компонентів.

До недоліків цього способу слід віднести високу вартість обладнання для хроматографічного аналізу та складність його експлуатації, неможливість здійснювати вимірювання в режимі реального часу, а також труднощі, пов'язані із відбором та підготовкою проб природного газу. Одним з суттєвих недоліків розрахункового методу є те, що при обчисленні теплоти згоряння природного газу та числа Воббе не враховують вплив компонентів, які не лише не виділяють тепла при спалюванні, а й можуть ускладнювати горіння інших компонентів газу (вміст діоксиду вуглецю, вміст азоту, його вологості, тощо).

Задача заявленої корисної моделі полягає у розробленні нового способу, що дозволить проводити вимірювання теплоти згоряння природного газу оперативного, безперервного (в режимі реального часу) з високою точністю та забезпечить простоту його технічної реалізації.

Для вирішення поставленої задачі у способі визначення теплоти згоряння природного газу, що полягає у вимірюванні фізико-хімічних параметрів та визначенні повного компонентного складу природного газу і отриманні по них розрахункових значень теплоти згоряння природного газу, визначають швидкість поширення ультразвуку в газі, вміст тільки азоту та діоксиду вуглецю, а для отримання математичної залежності теплоти згоряння природного газу від швидкості поширення ультразвуку, вмісту азоту та діоксиду вуглецю використовують алгоритми штучних нейронних мереж.

Для визначення оптимальної кількості якісних показників природного газу було використано базу, до якої входять 95 зразків сумішей природного газу [5]. Ця база є множиною сумішей природного газу значення показників якої отримано хроматографічно. При цьому до уваги також брались значення фізичних властивостей природного газу (швидкість поширення ультразвуку, густина тощо), а також вміст складових природного газу, що заважають його повному згорянню (вміст азоту та діоксиду вуглецю). Базу даних випадковим чином було розділено на дві частини: 86 та 9 складових. На основі 86 наборів даних проведено кореляційний аналіз показників якості природного газу. В таблиці 1 наведено тільки високі значення коефіцієнтів кореляції між показниками та компонентними складовими природного газу відібраних 86 наборів бази даних.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що швидкість поширення звуку в природному газі корелює з параметрами, які характеризують хімічний склад (коефіцієнти

кореляції мають досить високі значення). В той же час швидкість поширення значно менше пов'язана з вмістом азоту та діоксиду вуглецю (коефіцієнти кореляції є нижчі, в порівнянні з вуглеводнями). Коефіцієнти кореляції "теплота згоряння - діоксид вуглецю", "теплота згоряння - азот, вказують на нелінійну залежність, яка існує очевидно через те, що азот та діоксид вуглецю не виділяють теплоти під час спалювання. Тобто, їх можна назвати шкідливими компонентами в порівнянні з вуглеводнями, оскільки саме останні виділяють основну частину тепла при спалюванні. А швидкість ультразвуку може опосередковано вказувати на сумарний вміст тих складових природного газу, що придатні до спалювання. Відомо, що для вимірювання швидкості ультразвуку існує ряд достатньо точних та достовірних методів, які дозволяють проводити вимірювання у режимі реального часу [6]. Для експрес визначення вмісту діоксиду вуглецю також можливо використовувати газоаналітичну техніку [7]. Значення вмісту азоту розраховуватиметься як різниця 100 % вмісту вуглеводнів та діоксиду вуглецю.

Таблиця 1

Результати кореляційного аналізу показників якості природного газу

Показник	Теплота згоряння	Швидкість поширення звуку	Вміст азоту	Вміст діоксиду вуглецю
Теплота згоряння	1		-0,5788	
Швидкість поширення звуку	-0,6486	1		
Вміст азоту	-0,3689	0,0154	1	
Вміст діоксиду вуглецю	-0,3669	-0,3063	-0,1778	1
Густина	0,5940	-0,9970	0,0066	0,3653
Молекулярна маса	0,5916	-0,9968	0,0084	0,3671
Метан	-0,5788	0,9700	-0,2141	-0,2141
Етан	0,8641	-0,9019	-0,0728	-0,0728
Пропан	0,9226	-0,7958	-0,1974	-0,1974
i-бутан	0,9124	-0,8593	-0,1418	-0,1418
n-бутан	0,9124	-0,8593	-0,1418	-0,1418
i-пентан	0,7463	-0,7956	-0,0529	-0,0529
n-пентан	0,7463	-0,7596	-0,0529	-0,0529
n-гексан	0,3233	-0,3403	-0,0313	-0,3130
n-гептан	-0,3891	0,1274	0,2279	0,2279
n-октан	-0,2115	0,2639	-0,0173	-0,0173

Результати кореляційного аналізу вказують загалом на те, що теплота згоряння газу є нелінійною функцією комплексу таких параметрів як швидкість поширення звуку в газі, вміст азоту та діоксиду вуглецю. Тому для визначення цієї характеристики за значеннями цих параметрів необхідно вирішити задачу нелінійної апроксимації функції кількох параметрів. Найкращим вирішенням цієї задачі є застосування нейронних мереж [8].

Для розрахунку значень теплоти згоряння природного газу пропонується використовувати алгоритми штучних нейронних мереж (ШНМ) [9]. ШНМ вибрано через здатність до нелінійної багатопараметрової апроксимації теплоти згоряння як функції швидкості поширення ультразвуку в газі від вмісту азоту та діоксиду вуглецю.

Моделювання з використанням ШНМ включає загалом виконання послідовності наступних кроків:

1. Визначення вхідних та вихідних параметрів.

Вихідним параметром для ШНМ буде теплота згоряння природного газу, а вхідними параметрами будуть характеристики, описані вище: швидкість поширення ультразвуку в газі, вміст азоту та вміст діоксиду вуглецю.

2. Збір даних.

На даному етапі базу даних сумішей природного газу, яку було використано для визначення коефіцієнтів кореляції, випадковим чином розділено на дві частини - навчальну (тренувальну) та тестову. Для тренування штучної нейронної мережі обрано 78 варіацій якісних показників газу, а для тестування - 8.

Тренування моделі включає вибір архітектури, алгоритму тренування та параметрів мережі. Архітектура ШНМ - це кількість шарів і нейронів у них, а також вигляд функції перетворення в нейронах. Необхідно зазначити, що вибір архітектури для кожного конкретного випадку

підбирається індивідуально, виходячи зі ступеня складності задачі, наявних обчислювальних можливостей та досвіду дослідника.

5 Як тренувальний було вибрано алгоритм зворотного поширення помилки Левенберга-Марквардта [9], який рекомендують для випадків, коли мережа та кількість навчальних пар у множині є невеликими.

3. Аналіз та попереднє оброблення даних.

Перед тренуванням штучної нейронної мережі необхідно всі вхідні дані пронормувати, поділивши їх на максимальне значення.

4. Тренування нейронної мережі.

10 Тренування нейронної мережі проведено за допомогою вхідних даних, до яких не було включено 8 тестових наборів.

5. Тестування натренованої мережі.

15 Необхідно зазначити, що згідно з прийнятою практикою [10], тестування нейронних мереж виконують на даних, які не було використано під час навчання (невідомі для нейронної мережі) - таким чином забезпечують об'єктивність судження про здатність мережі до апроксимації необхідної функції. На етапі тестування на вхід було подано 8 тестових комбінацій параметрів. Для тестування подавалося по три вхідних параметри (швидкість звуку в природному газі, вміст азоту та діоксиду вуглецю) та отримано по одному вихідному параметру - теплота згоряння природного газу. Отримані результати тестування ШНМ подано в таблиці 2.

20

Таблиця 2

Результати тестування штучної нейронної мережі

Теплота згоряння фактична, МДж/м ³	42,3989	42,3952	38,2288	38,2325	38,2661	38,2735	41,8543	41,8506
Теплота згоряння з ШНМ, МДж/м ³	42,4031	42,3969	38,2333	38,2231	38,2601	38,2609	41,8599	41,8599

25 З таблиці 2 видно, що фактичні значення теплоти згоряння відповідають значенням, які отримані за допомогою ШНМ з високою точністю. Приведена до діапазону похибка в цьому випадку дорівнює 0,11 %, яка дає можливість зробити висновок, що результати тестування є позитивними і дають можливість перейти до наступного етапу дослідження.

6. Використання відтестованої мережі для моделювання та прогнозування.

Моделювання роботи нейронної мережі проведено за допомогою інших невідомих для ШНМ 9-ти наборів, які відрізняються від тренувальних та тестових.

30 На вхід подано, як і при навчанні та тестуванні ШНМ, по три набори вхідних параметрів (всього 9). На основі проведеного моделювання роботи нейронної мережі отримано результати, які наведено в таблиці 3.

35 Результати моделювання роботи штучної нейронної мережі є достатньо точними. Теплота згоряння, яку отримано за допомогою ШНМ, практично збігається з фактичними значеннями, які визначено за допомогою газового хроматографа. Приведена до діапазону похибка становить 2,4 %.

Таблиця 3

Результати моделювання роботи штучної нейронної мережі

Теплота згоряння фактична, МДж/м ³	38,1579	35,8640	35,8677	40,4257	37,9975	38,0012	43,8760	41,2389	41,2426
Теплота згоряння з ШНМ, МДж/м ³	38,1045	36,1312	36,2101	40,5301	38,0101	38,0109	44,1091	40,9071	40,9042

40 В результаті роботи запропонованої штучної нейронної мережі отримано математичну залежність величини теплоти згоряння природного газу Q від швидкості поширення ультразвуку в газі v, вмісту діоксиду вуглецю C₁ та вмісту азоту C₂:

$$Q=f(v, C_1, C_2), \quad (1)$$

При цьому існує факт впливу фактичної температури природного газу на результати вимірювання швидкості звуку в ньому. Для вирішення цієї проблеми пропонується використати наступну коректувальну функцію, яка була встановлена експериментальним шляхом:

$$v_1 = v_0 - (t - 18) \cdot 0,96, \quad (2)$$

5

v_0 - виміряна швидкість поширення звуку в газі, м/с;

v_1 - коригована за температурою швидкість поширення звуку в газі, зведена до температури 18 °С м/с;

t - температура, виміряна в градусах Цельсія.

10

Отже, результати отримані за допомогою штучної нейронної мережі підтвердили спроможність реалізації запропонованого способу експрес визначення теплоти згоряння природного газу шляхом розрахунку їх значень за результатами вимірювання швидкості звуку в природному газі та вмісту шкідливих компонентів (азоту та діоксиду вуглецю) за допомогою штучних нейронних мереж.

15

Джерела інформації:

1. ГОСТ 27193-86 Газы горючие природные. Метод определения теплоты сгорания водяным калориметром.

2. Patent GB 4062236 G01N 25/30 Method of and means for accurately measuring the calorific value of combustible gases.

20

3. ГОСТ 22667-82 Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе.

4. ГОСТ 23781-87. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава.

25

5. T.B. Morrow, E. Kelner, A. Minachi. (2000). Development of a low cost inferential natural gas energy flow rate prototype retrofit module, Final report, DOE Cooperative Agreement No. DE-FC21-96MC33033, U.S. Department of Energy, Morgantown, WV. Southwest Research Institute, San Antonio, TX.

6. Радж Б., Раджендран В., Паланичами В. Применение ультразвука. - М.: Техносфера, 2006. - 576 с.

30

7. www.dynament.com-Infrared Gas Sensor Technology.

8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. - М.: Вильямс, 2006. - 1105 с.

9. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: Пер. с польского И.Д. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 344 с.

35

10. Галушкин А.И. Нейроматематика / под ред. Галушкина А.И. - М.: Радиотехника, 2002. - 448 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

40

Спосіб експрес визначення теплоти згоряння природного газу, що полягає у вимірюванні фізико-хімічних параметрів та визначенні повного компонентного складу природного газу і отриманні по них розрахункових значень теплоти згоряння природного газу, який **відрізняється** тим, що визначають швидкість поширення ультразвуку в газі з урахуванням фактичної температури, вміст тільки азоту та діоксиду вуглецю, а для отримання математичної залежності теплоти згоряння природного газу від швидкості поширення ультразвуку, вмісту азоту та діоксиду вуглецю використовують алгоритми штучних нейронних мереж.

45