

УДК 620.93

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

І.Я. Дарвай¹, О.М. Карпаш²

1) ДП „Івано-Франківськстандартметрологія”, вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, 76007, тел. 78-65-96, e-mail: idarvaj@mail.ru

2) Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. 4-24-30, e-mail: mkarpush@nung.edu.ua

Приведені результати експериментальних досліджень нового методу визначення теплоти згоряння природного газу та описано експериментальну установку, яка реалізує цей метод. Для визначення теплоти згоряння газу застосовано алгоритми штучних нейронних мереж. Результати експериментального дослідження показали, що значення теплоти згоряння, які визначено газовим хроматографом, відповідають значенням, отриманим за допомогою штучної нейронної мережі. Приведена до діапазону похибка не перевищує 5 %.

Ключові слова: природний газ, теплота згоряння, штучна нейронна мережа, похибка вимірювання експериментальне дослідження.

Приведены результаты экспериментальных исследований нового метода определения теплоты сгорания природного газа и описана экспериментальная установка, которая реализует этот метод. Для определения теплоты сгорания газа применены алгоритмы искусственных нейронных сетей. Результаты экспериментального исследования показали, что значение теплоты сгорания, которые определены газовым хроматографом, отвечают значением, полученным с помощью искусственной нейронной сети. Приведенная к диапазону погрешность не превышает 5 %.

Ключевые слова: природный газ, теплота сгорания, искусственная нейронная сеть, погрешность измерения, экспериментальное исследование.

There are described the results of experimental researches of new method of determination of warmth of combustion of natural gas and the experimental setting. For determination of warmth of combustion of gas the algorithms of artificial neuron networks are applied. The results of experimental research rotined that value of warmth combustions which certainly gas khromatografom answer a value, got by an artificial neuron network. The error resulted to the range does not exceed 5 %.

Keywords: natural gas, warmth of combustion, artificial neuron network, measuring error, experimental research.

Визначення якості природного газу як пріоритетного енергетичного ресурсу для нашої держави може бути віднесеним до питання енергетичної безпеки з огляду на його обмежені запаси в Україні та динаміку постійного зростання ціни на природний газ. Так, починаючи з 1999 р., ціна на природний газ зросла в середньому майже в 3 рази для населення та у 10 разів для підприємств [1].

Теплота, що виділяється при згоранні природного газу (теплота згоряння), вважається основним показником якості природного газу, показником його призначення.

Значення теплоти згоряння природного газу можна визначати двома шляхами:

- розрахунковим методом (наприклад, за компонентним складом) [2-6],

- експериментальним методом (наприклад, за допомогою водяного калориметра) [7].

Обидва методи визначення теплоти згоряння природного газу мають ряд суттєвих недоліків [8, 9], серед яких основними є:

- значні часові та вартісні затрати на проведення дослідження,

- неможливість вимірювання теплоти згоряння безперервно (в режимі реального часу) безпосередньо у споживача.

На вирішення вказаних вище проблем було розроблено та теоретично обґрунтовано новий метод визначення теплоти згоряння природного газу [10-14], який полягає у сумісному вимірюванні швидкості поширення ультразвуку в газі, вмісту діоксиду вуглецю та використанні штучних нейронних мереж у ролі нелінійного

апроксиматора теплоти згоряння як функції вказаного комплексу параметрів. Ці інформативні параметри були відібрані за допомогою кореляційного аналізу між теплотою згоряння природного газу і рядом стандартизованих фізико-хімічних параметрів природного газу, а саме: вмістом вуглеводнів (метан, етан, пропан, бутан та вищих вуглеводнів), густиною, молярною масою, швидкістю поширення ультразвуку в газі, вмістом діоксиду вуглецю та вмістом азоту [10, 11].

Адекватність нового експрес-методу визначення теплоти згоряння газу було перевірено за допомогою штучної нейронної мережі (ШНМ) на довідкових значеннях фізико-хімічних параметрів газу [15] та на реальних значеннях параметрів природного газу із сертифікатів якості на природний газ, які визначено на одному з підприємств Івано-Франківської області [12, 13].

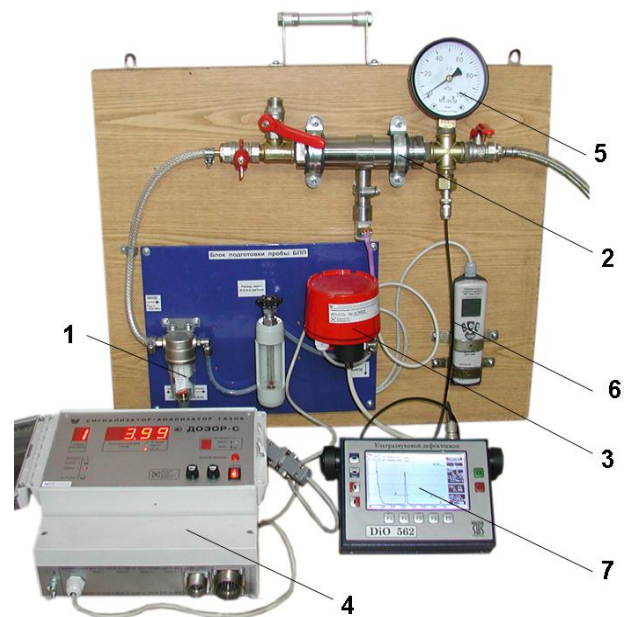
Метою цієї статті є проведення експериментальних досліджень для встановлення можливості практичного застосування запропонованого методу безпосередньо споживачами природного газу.

Суть експериментальних досліджень полягала в тому, що одночасно з газової мережі відбиралося дві однакові проби природного газу [16]. В подальшому одна з проб аналізувалася за допомогою спеціально розробленої експериментальної установки для визначення теплоти згоряння пропонованим методом. Інша проба газу поміщалося у серійний хроматограф типу ЛХМ для стандартного вимірювання компонентного складу та розрахунку теплоти згоряння природного газу [6]. Після проведення вказаних досліджень їх результати порівнювалися. Для зменшення впливу температури навколишнього середовища на результати вимірювань дослідження проводилися практично одночасно в одному приміщенні.

Експериментальна установка для визначення теплоти згоряння газу складалася з таких основних вузлів (рис. 1): блоку підготовки газу 1, до складу якого входить вологовідділювач і ротаметрична трубка, що призначений для очищення проби від пилу та вологи; сенсора визначення швидкості поширення звуку в газі 2; блоку вимірювання концентрації CO_2 в природному газі, який складається з серійного давача діоксиду вуглецю 3 типу ИП-СО2 та аналізатора газу 4 „ДОЗОР-С”.

Особливий інтерес становить спеціально спроектований та виготовлений блок

визначення швидкості поширення звуку в газі 2 (рис. 2 і 3). Блок є герметичною конструкцією із нержавіючої сталі циліндричної форми, в яку подається природний газ. В блоці встановлений ультразвуковий первинний перетворювач швидкості ультразвуку власного виготовлення з частотою до 1 МГц, який працює в суміщеному режимі як випромінювач-приймач [17, 18]. На розрахованій з умови отримання максимального значення енергії відбитого сигналу та чітко зафіксованій відстані 57,7 мм встановлено відбивач, який виготовлений з нержавіючої сталі діаметром 22 мм та шорсткістю поверхні $R_z=20$.

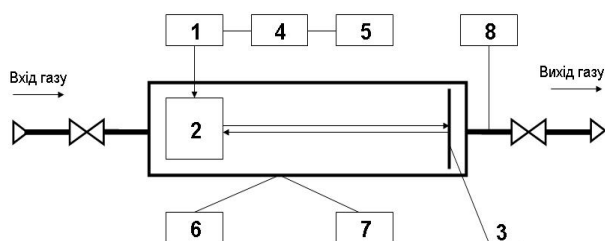


1 – блок підготовки газу; 2 – блок визначення швидкості звуку в газі; 3 – давач концентрації CO_2 в природному газі; 4 – аналізатор газу; 5 – манометр; 6 – термогігрометр; 7 – ультразвуковий дефектоскоп

Рисунок 1 – Експериментальна установка для визначення теплоти згоряння природного газу

Технологія визначення теплоти згоряння природного газу на експериментальній установці (рис. 1) наступна. Проба газу надходить у вимірювальну камеру 2, в якій визначається швидкість поширення звуку. Для вимірювання вмісту діоксиду вуглецю в природному газі пробу газу необхідно додатково очистити від механічних домішок та осушити за допомогою блоку підготовки газу 1. Вміст діоксиду вуглецю визначається в блоці визначення вмісту діоксиду вуглецю (3, 4). Крім цього, в процесі визначення теплоти

згоряння також вимірюється тиск, температура та вологість проби газу.



1 – генераторно-приймальний тракт;
2 – первинний перетворювач ультразвуку;
3 – відбивач; 4 – пристрій оброблення результатів; 5 – пристрій виведення результатів; 6 – датчик вологості; 7 – датчик температури; 8 – датчик тиску

Рисунок 2 – Функціональна схема блоку визначення швидкості ультразвуку в газі

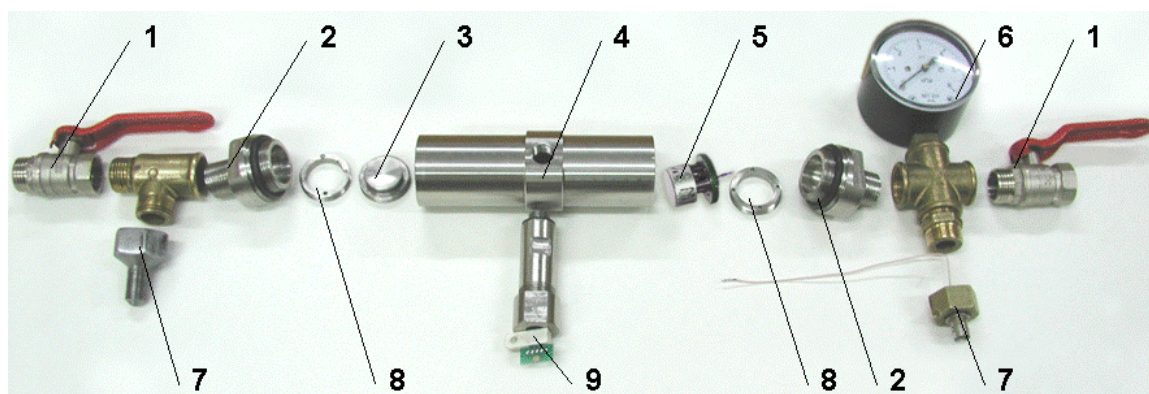
Для експериментального дослідження запропонованого методу визначення теплоти згоряння було відібрано 20 зразків природного газу. За допомогою експериментальної установки визначено такі інформативні параметри: швидкість поширення ультразвуку в газі та вміст діоксиду вуглецю. В табл. 1 наведені результати визначення інформативних параметрів. Теплоту згоряння природного газу було визначено за допомогою хроматографа ЛХМ-80.

З метою розрахунку значень теплоти згоряння природного газу за результатами вимірювань було використано спеціальну розроблену штучну нейронну мережу. Для тренування мережі обрано 16 наборів

інформативних параметрів з 20, а для тестування 4, які не використовувались для тренування. На вхід ШНМ було подано швидкість поширення звуку в газі та вміст діоксиду вуглецю, а на вихід – теплоту згоряння природного газу. Результати тестування ШНМ подані в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати вимірювання інформативних параметрів

№ проби газу	Швидкість поширення звуку в газі,	Вміст діоксиду вуглецю, %	Теплота згоряння газу, ккал/м ³
1	398,95	0,59	9086,4
2	410,82	0,52	8931,0
3	403,67	0,47	8838,2
4	406,64	0,56	8822,3
5	395,72	0,56	8961,6
6	402,66	0,55	8873,5
7	406,91	0,51	8879,2
8	409,34	0,56	8962,8
9	408,03	0,58	8772,4
10	409,19	0,57	9071,0
11	401,85	0,6	9167,6
12	403,9	0,62	9099,1
13	406,56	0,64	9042,2
14	399,18	0,57	9108,2
15	401,64	0,59	8957,8
16	404,13	0,6	8983,3
17	394,52	0,53	8885,5
18	399,63	0,56	9174,0
19	401,65	0,56	8825,2
20	403,9	0,56	8951,7



1 – кран; 2 – фітінг; 3 – відбивач; 4 – вимірювальна камера; 5 – п'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач; 6 – манометр; 7 – роз'єм; 8 – фіксуюча шайба; 9 – сенсор температури та вологості

Рисунок 3 – Блок визначення швидкості поширення звуку в газі

Як видно з табл. 2, значення теплоти згоряння, які визначено газовим хроматографом, відповідають значенням, отриманим за допомогою штучної нейронної мережі. Абсолютна похибка склала 39,64 ккал/м³, а приведена до діапазону 4,66 %. Такі результати можна вважати прийнятними, оскільки при перевірці методу на даних, взятих зі сертифікатів якості на природний газ, приведена до діапазону похибка складала 5,56 %.

Експериментальне дослідження запропонованого методу визначення теплоти згоряння природного газу підтвердили його адекватність та можливість застосування.

Експериментальна установка вимагала удосконалення, оскільки необхідно було урахувати вплив вологості та температури проби газу. З цією метою було доопрацьовано блок визначення швидкості поширення звуку в газу шляхом введення давачів вологості і температури безпосередньо у циліндричну вимірювальну камеру блоку. Також було удосконалено відбивач – попередній замінений на відбивач вгнутої форми з нержавіючої сталі діаметром 20 мм з кривизною поверхні 520 мм, що дозволило фокусувати акустичний сигнал від первинного перетворювача та підвищити значення енергії прийнятих акустичних коливань. Окрім того, конструкцією блоку вимірювання швидкості поширення звуку в газі передбачено можливість регулювання відстані від первинного перетворювача до відбивача, що дає змогу в залежності від частоти випромінювання отримувати максимальне значення енергії відбитого сигналу.

Таблиця 2 – Результати визначення теплоти згоряння природного газу запропонованим методом

№ зразка	Теплота згоряння за допомогою ШНМ, ккал/м ³	Теплота згоряння, отримана за допомогою хроматографа, ккал/м ³
1	8815,8	8822,3
2	8948,5	8961,6
3	8958,8	9071,0
4	8924,9	8957,7

Після усунення виявлених недоліків промислову апробацію запропонованого методу визначення теплоти згоряння природного газу за наведеною вище методикою та порівнянням отриманих результатів з результатами хроматографічного аналізу проб газу було

проведено в ДП „Івано-Франківськстандарт-метрологія” та ВАТ „Івано-Франківськгаз”.

Приведена похибка вимірювання за допомогою запропонованого методу не перевищувала 5 %.

На даний час проводяться роботи щодо виготовлення промислового взірця установки.

ВИСНОВКИ

Експериментальні дослідження запропонованого експрес-методу визначення теплоти згоряння шляхом вимірювання швидкості поширення ультразвуку в газі і вмісту діоксиду вуглецю в ньому підтверджують можливість його використання для практичних цілей.

Розроблена експериментальна установка, яка реалізує запропонований експрес-метод і включає генераторно-приймальний тракт, перетворювач швидкості ультразвуку в газі, давач вологості газу, давач температури газу, давач тиску газу і блок оброблення результатів вимірювання, що включає штучну нейронну мережу. Проведені дослідження підтвердили працездатність методу і розробленої установки.

1. www.rada.gov.ua – Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. Постанова національної комісії регулювання електроенергетики України від 25.10.2008 N 1239 „Про затвердження роздрібних цін на природний газ, що використовується для потреб населення, Міжнародного дитячого центру „Артек” і Українського дитячого центру „Молода гвардія”. 2. Хроматографы аналитические газовые. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ 26703 – 93.-[Введен 1995-01-01].- М: Издательство стандартов, 1999.- 18 с. 3. Хроматография газовая. Термины и определения: ГОСТ 17567 – 81.-[Введен 1982-07-01].-М: Издательство стандартов, 1981.- 13 с. 4. Природный газ. Визначення складу із заданою невизначеністю методом газової хроматографії: ДСТУ ISO 6974 (частини 1-4):2007.- [Чинний від 2007-01-01].-К: Держспоживстандарт України, 2007.- 62 с. 5. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава: ГОСТ 23781-87.- [Введен 1988-01-01].- М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982.- 12 с. 6. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе: ГОСТ 22667-82.-

- [Введен 1983-07-01].-М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982.- 6 с.
7. Газы горючие природные. Метод определения теплоты сгорания водяным калориметром: ГОСТ 27193-86.-[Введен 1988-01-01].-М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987.- 14 с.
8. Карнаш О.М. Проблемні питання оцінки якості природного газу / О.М. Карнаш, І.Я. Дарвай // *Нафтогазова енергетика*.-2007.-№2 (3).-С.46-52.
9. Дарвай І.Я. Проблемні питання визначення якості природного газу в Україні // [Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008 р. – ІФНТУНГ.-Факел, 2008. – 240 с.
10. Карнаш О.М. Нові інформативні параметри для визначення теплоты згорання природного газу / О.М. Карнаш, І.Я. Дарвай, М.О. Карнаш // *Нафтова і газова промисловість*.-2008.-№4.-С.57-60.
11. Карнаш О.М. Теоретичне підґрунтя методу експрес-контролю теплоты згорання природного газу / О.М. Карнаш, І.Я. Дарвай [Неруйнівний контроль та технічна діагностика]: матеріали 6-тої Національної науково-технічної конференції і виставки. – Київ, 9-12 червня 2009 р., видавництво, 2009. – 221 с.
12. Дарвай І.Я. Теоретичне обґрунтування методу визначення теплоты згорання природного газу / І.Я. Дарвай [Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи]: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції та виставки, 20-23 жовтня 2009 р. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – 125 с.
13. Дарвай І.Я. Оптимізація кількості інформативних параметрів для визначення теплоты згорання природного газу / Дарвай І.Я., Карнаш О.М. [Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання]: матеріали 2-гої науково-практичної конференції студентів і молодих учених, 25-26 листопада 2009 р. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – 206 с.
14. Карнаш О.М. Апробація нового методу визначення теплоты згорання природного газу / Карнаш О.М., Дарвай І.Я., Яворський А.В., Рибіцький І.В., Карнаш М.О. [Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів]: матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції „ЛЕОТЕСТ-2010”. – 15-20 лютого 2010 р. – Славське: Львів, 2010. – 125 с.
15. Morrow T.V. 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.
16. Пат.75835 Україна, МПК (2006) G01N 1/22. Спосіб відбору проб підґрунтового газу / Аронський Д.І., Знак М.С., Лопушняк Я.І., Омельченко В.Г.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. № 20041210155 ; заявл. 10.12.04 ; опуб. 15.05.06, Бюл. № 5. – 3 с. : іл.
17. Карнаш О. М. Безконтактний ультразвуковий перетворювач для вимірювання глибини корозійного пошкодження та товщини О. М. Карнаш, І. В. Рибіцький, М. О. Карнаш // *Міцність та надійність магістральних трубопроводів “МТ-2008” : міжнародна науково-технічна конф.*, 5 - 7 червня 2008р. :тези доповідей., 2008. - С. 49 - 51.
18. Карнаш О. М. Експериментальна установка для вимірювання товщини металоконструкцій безконтактним акустичним методом / О. М. Карнаш, І. В. Рибіцький, М. О. Карнаш // *Методи та прилади контролю якості*. – 2008. – № 20. – С. 7 – 12.

Поступила в редакцію 26.03.2010 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Петришин І.С.