

Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу

УДК 620.179

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

І.І. Височанський¹, А.В. Яворський², М.О. Карпач², О.М. Карпач²

¹ПАТ «Івано-Франківськгаз»; 76010, м. Івано-Франківськ, вул. Ленкавського, 20, тел. (0342) 501622, e-mail: pat@ifgas.com.ua

²ІФНТУНГ; 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 504708, e-mail: tdm@nung.edu.ua

Розглянуто структурну схему, конструкції і характеристики приладу для експрес-контролю питомої теплоти згоряння природного газу, що реалізує кореляційний метод вимірювання. В основу принципу дії приладу покладено оброблення інформації ультразвукового перетворювача та давача концентрації діоксиду вуглецю у вимірювальній камері і розрахунку питомої теплоти згоряння природного газу за допомогою розроблених алгоритмів штучних нейронних мереж.

Наведено результати випробувань приладу для експрес-контролю питомої теплоти згоряння природного газу як для відібраної у пробовідбірник газової проби, так і безпосередньо на газовій мережі низького тиску. Тривалість виконання вимірювання складає не більше 5 хв, що є цілком достатнім для практики.

Показано, що за результатами випробувань, розроблений прилад відповідає засобам вимірювальної техніки 3-го класу (відповідно до DSTU ISO 15971:2014), відповідно дозволяє використовувати розроблений ЗВТ для задачі експрес-контролю теплоти згоряння природного газу.

Ключові слова: якість природного газу, теплота згоряння, експрес-контроль, природний газ, кореляція.

Рассмотрены структурная схема, конструкция и характеристики прибора для экспресс-контроля удельной теплоты сгорания природного газа, который реализует корреляционный метод измерения. В основе принципа действия прибора лежит обработка информации ультразвукового преобразователя и датчика концентрации диоксида углерода в измерительной камере и расчет удельной теплоты сгорания природного газа с помощью разработанных алгоритмов искусственных нейронных сетей.

Приведены результаты испытаний прибора для экспресс-контроля удельной теплоты сгорания природного газа, как для отобранной в пробоотборник газовой пробы, так и непосредственно на газовой сети низкого давления. Продолжительность выполнения измерения составляет не более 5 мин, что является вполне достаточным для практики.

Показано, что по результатам испытаний, разработанный прибор соответствует средствам измерительной техники 3-го класса (согласно DSTU ISO 15971: 2014), соответственно позволяет использовать разработанное СИ для задачи экспресс-контроля теплоты сгорания природного газа.

Ключевые слова: качество природного газа, теплота сгорания, экспресс-контроль, природный газ, корреляция.

The structural scheme, design and features of the instrument for rapid measurement of natural gas specific calorific values which embodies the correlative method have been studied. The principle of instrument's operation consists in processing of data received from ultrasonic transducer and carbon dioxide sensor in the measurement chamber and further calculation of natural gas specific heat using artificial neural networks.

Results of the experimental testing of the instrument for rapid measurement of natural gas specific heat are presented for separate gas samples taken and for gas circuits of low pressure. Typical duration of the measurement cycle is 5 minutes which is satisfactory for industrial applications.

Due to test results the instrument developed corresponds to the instrumentation 3rd class equipment (according to DSTU ISO 15971:2014) and allows using the developed instrumentation for the rapid measurement of natural gas heat value.

Key words: natural gas quality, heat value, rapid measurement, natural gas, correlation.

Вступ

На даний час ринок природного газу в Україні перебуває на стадії значного реформування. Передумовою для створення нової моделі ринку природного газу є зобов'язання України імплементувати Третій енергетичний пакет, зокрема Директиву Європейського парламенту та Ради 2009/73/ЄС, про спільні правила внутрішнього ринку природного газу. Відповідно до даної директиви кількість природного газу, що приймається-передається відповідно до договору транспортування або мережевого кодексу, повинна виражатися в одиницях енергії.

Національною акціонерною кампанією «Нафтогаз України» та іншими учасниками ринку газу України купівля газу за контрактами у європейських постачальників вже здійснюється в одиницях енергії. Крім того, відповідно до умов діючих Контрактів НАК «Нафтогаз України» з ПАТ «Газпром» Компанія фактично сплачувала за природний газ теж за обсягом його енергії. Розрахунки виконувались відповідно до об'єму, зведеного до стандартних умов, а ціна щомісяця перераховувалася відносно базової в залежності від середньозваженого значення теплоти згоряння природного газу, який надходив до ГТС України за звітний період. При цьому продаж природного газу споживачам продовжує здійснюватися у залежності від обсягу у кубічних метрах, зведених до стандартних умов. При цьому слід зазначити, що теплота згоряння природного газу, що надходить від ПАТ «Газпром» протягом останніх років, перевищує базове значення 8050 ккал/м^3 [1].

В дійсності по регіонах України в один і той же час теплота згоряння природного газу має різні значення, так само, як і з часом в одному і тому ж газопроводі вона може змінитися в залежності від родовища, з якого здійснюється видобуток та газопостачання до споживача, від технологічного режиму його підготовки, або від конкретної країни-експортера газу. В чинних нормативних документах при встановленні виробничо-технологічних втрат та витрат газу, норм споживання газу різними категоріями споживачів тощо розрахунки виконуються за значенням нижчої теплоти згоряння природного газу, рівному 8050 ккал/м^3 . В Україні якість природного газу (точніше – його фізико-хімічні показники), що постачається споживачам (у тому числі населенню), повинна відповідати чинному до сьогодні стандарту ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия». Стандарт встановлює мінімально допустиме значення нижчої теплоти згоряння природного газу на рівні 7600 ккал/м^3 . Інформацію про якість українського газу в кожній області ще з травня 2014 року щомісяця публікує ПАТ «Укртрансгаз» [2]. Відповідно, аналізуючи дану інформацію, можна побачити, що реально за останні роки нижча теплота згоряння природного газу в Україні становить $8300 \pm 300 \text{ ккал/м}^3$ і може суттєво відзнятися у різних областях нашої держави. Кі-

лькість одержаної енергії безпосередньо залежить від теплоти згоряння природного газу. Зі зменшенням теплоти згоряння від 8400 ккал/м^3 до 8000 ккал/м^3 (більшість природного газу в Україні саме такої теплоти згоряння) кількість енергії зменшується на 5 % [3].

Таким чином, облік природного газу з урахування його енергетичних показників є більш об'єктивним. При цьому забезпечується більш коректне, справедливе та просте ціноутворення щодо обсягів природного газу за кількістю енергії переданого-отриманого газу, полегшується складання енергетичного балансу підприємств та стає більш прозорим аналіз ефективності використання газу у порівнянні з іншими енергоносіями.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

За значеннями теплоти згоряння газу (як умовно сталої величини) та значенням об'єму газу, приведених до стандартних умов, визначається енергія природного газу. Така процедура визнана в світовій практиці і прийнята в міжнародному стандарті ISO 15112, який в 2009 році набув чинності і в Україні [4]. Відповідно, надзвичайно важливим для оцінки обсягу енергії газового потоку є методичне і приладове забезпечення для визначення теплоти згоряння природного газу. В Україні визначення теплоти згоряння природного газу регламентується ДСТУ ISO 15971:2014 [5]. Даний нормативний документ визначає, що для визначення теплоти згоряння природного газу застосовуються три методи: прямий, непрямий та кореляційний. Детальний огляд і аналіз сучасних засобів вимірювальної техніки для визначення теплоти згоряння природного газу наведено в роботі [6].

До категорії приладів «прямого вимірювання» потрапляють лише ті прилади, які є «справжніми» калориметрами згоряння в тому сенсі, що енергію, вивільнену як теплоту під час згоряння газу, визначають за допомогою термометричних вимірювань. Усі потокові установки промислового використання, визначають об'ємну теплоту згоряння. У приладі цього типу газова проба вимірюється безперервно в одиницях об'єму, часто проходячи крізь водяний затвор барабанного витратоміра, перш ніж пройти до пальника. Головний етап вимірювання відбувається за умов квазістаціонарного (рівноважного) підвищення температури теплоносія, що постійно протікає через прилад і вимірюється та з яким гарячі продукти згоряння не змішуються. Зазвичай, як теплоносії використовують повітря, підвищення температури вимірюють за допомогою термометрів опору. Калібрування зазвичай проводять за допомогою газоподібних еталонних матеріалів (робочі еталони), атестованих за теплоотою згоряння. Одна з головних переваг «справжніх» калориметрів згоряння полягає в тому, що вони не мають обмежень щодо складу проб аналізованого газу. Недоліком калориметричних прила-

дів є те, що зазвичай вони повільно реагують на зміни теплоти згоряння природного газу через теплову інерцію, потребують спалювання газової проби та організації відведення продуктів згоряння і мають значні масо-габаритні показники. Незважаючи на високу точність (калориметри відносяться до приладів 1-го класу [5]). Такі прилади в Україні не використовуються для вирішення задачі визначення енергії потоку природного газу.

Класичним прикладом непрямого визначення теплоти згоряння природного є її розрахунок на основі попередньо визначеного компонентного складу проби природного газу за допомогою газового хроматографа. На даний час визначення теплоти згоряння природного газу за допомогою газового хроматографа, як домінуючого методу в газовій промисловості, регламентується відповідно до ДСТУ ISO 6976 [7]. Попри високу точність визначення теплоти згоряння природного газу за його компонентним складом за допомогою зокрема потокових газових хроматографів, для задач 100% обліку енергії газового потоку, є проблематичним, через високу вартість, необхідність створення необхідної інфраструктури для газового хроматографа – спеціалізований бокс з підігрівом, потреба в газі-носії (як правило гелій) і відповідне постійне кваліфіковане технічне обслуговування.

Альтернативними до наведених методів і обладнання для визначення теплоти згоряння природного газу є кореляційні методи (як окремий підхід до непрямого визначення теплоти згоряння природного газу). До категорії «кореляційних» належать прилади, які вимірюють певну фізико-хімічну властивість газу і використовують відомі взаємозв'язки між теплотою згоряння і вимірною властивістю, встановлені як за експериментальними спостереженнями, так і на основі теоретичного аналізування, дають можливість зробити висновок щодо теплоти згоряння газу. В основі кореляційних методів вимірювання, як правило лежить вимірювання різних фізико-хімічних параметрів газової проби, а саме: загальна концентрація вуглеводнів, концентрація діоксиду вуглецю, теплопровідність і швидкість поширення звуку в газовій пробі. Підбір і поєднання даних параметрів в найкращу кореляційну залежність, яка отримується на різних тестових газових сумішах, що моделюють природний газ з різною теплотою згоряння, дозволяє отримати емпіричну залежність за допомогою якої «кореляційні» прилади дозволяють проводити вимірювання на реальному потоці природного газу. Перевагою «кореляційних» приладів є порівняно невеликі масо-габаритні показники і вартість, проведення вимірювання без спалювання газової проби та використання газу-носія, також слід відмітити їх високу швидкість у порівнянні з потоковими газовими хроматографами. Такі прилади можуть бути інтегровані з приладами обліку природного газу в системи для визначення енергії газового потоку. Незважаючи на значну кількість експериментальних

розробок у вигляді дослідницьких стендів та установок на ринку присутній тільки два серійні прилади *GasLab Q1* і *GasLab Q2* німецької компанії *Elster* [8]. Дані прилади побудовані на принципі вимірювання концентрацій C_xH_x і CO_2 та теплопровідності газової проби з подальшим визначенням теплоти згоряння природного газу даної проби через кореляційну залежність. Діапазон вимірювання теплоти згоряння для даних приладів складає від 7300 до 11300 ккал/м³, прилади відносяться до класу точності А згідно з OIML R 140 [9], що відповідно забезпечує визначенням теплоти згоряння природного газу з похибкою 0,6%. Суттєвим недоліком даних приладів є те, що вони розраховані на роботу в газових мережах з надлишковим тиском від 20 кПа, що не дозволяє використовувати їх в мережах низького тиску.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується стаття

На сьогодні в Україні функціонує близько 120 хіміко-аналітичних лабораторій, акредитованих та атестованих на право визначення фізико-хімічних показників (далі – ФХП) природного газу. По всій газотранспортній системі визначено близько 700 характерних місць відбору проб, де періодично (не рідше одного разу на тиждень) відбираються проби газу, за якими в таких акредитованих лабораторіях проводиться визначення ФХП природного газу, серед яких є теплота згоряння. В особливо важливих місцях експлуатується близько 50-ти потокових хроматографів, покази яких можуть використовуватися для визначення енергії газу в масштабі реального часу [3].

Відповідно до Газового кодексу [10], який набрав чинності в жовтні 2015 року, проби газу беруться в усіх точках входу і виходу газу з ГТС не рідше, ніж раз на тиждень. Кількість потокових хроматографів є наразі недостатньою для отримання оперативної інформації, щодо енергії газового потоку. Зменшення періодичності визначення теплоти згоряння обумовлюється детальним аналізом вартості такого моніторингу, оптимізації характерних місць відбору та існуючих можливостей акредитованих лабораторій проводити аналіз ФХП природного газу. Вартість одного потокового хроматографа – близько 100 тис. доларів США, вартість одного аналізу проби природного газу в акредитованій лабораторії складає близько 2 тис. грн [3].

За інформацією, наведеною в ISO 15112 «Природний газ. Визначення енергії», мінімальний період визначення теплоти згоряння природного газу різниться в різних країнах. При видобуванні – в основному доба. При передачі в газорозподільні компанії – в основному місяць (ніхто не встановлює масово потокові хроматографи), при цьому в паспорті газу вона чітко фіксується постачальником. Однак споживачі, які використовують такий природний газ, нерідко мають істотну зміну калорійності протягом декількох годин, що без регу-

лювання енергетичного потоку може призвести до пошкодження обладнання або порушення технологічного процесу. В даному випадку використання засобу для оперативного визначення теплоти згоряння природного газу викрай необхідне. Відповідно гостро стоїть питання щодо розроблення приладу, який швидко, без спалювання газової проби дозволить отримувати значення теплоти згоряння природного газу (зокрема і для мереж низького тиску, не потребуватиме розхідних матеріалів для роботи і за вартістю буде значно дешевшим за потоковий хроматограф.

Формулювання цілей статті

Науковцями ІФНТУНГ (кафедра «Енергетичного менеджменту і технічної діагностики») з 2009 року по даний час ведуться дослідження за напрямком «Розроблення нового методу контролю енергетичних характеристик природного газу». В процесі виконання науководослідної роботи створено комплексний підхід до опосередкованого експрес-контролю нижчої теплоти згоряння природного газу, який передбачає врахування тільки двох інформативних параметрів природного газу (швидкості поширення звуку в природному газі та вмісту діоксиду вуглецю) та оброблення результатів вимірювань за допомогою алгоритмів нейронних мереж [11-16]. Такий підхід дозволяє проводити вимірювання теплоти згоряння природного газу без небажаного спалювання газу. Розроблений метод підтверджений численними експериментальними дослідженнями, які вдалось виконати на базі ПАТ «Івано-Франківськгаз» показали, що за допомогою розробленого методу теплоту згоряння природного газу можливо контролювати в експрес-режимі з зведеною до діапазону похибкою 4,1%, що повністю узгоджується з результатами теоретичних досліджень [17-18].

Логічним продовженням вище наведених досліджень є розроблення приладу, що реалізує оперативне визначення (експрес-контроль) нижчої теплоти згоряння природного газу, придатного до застосування в газових мережах низького тиску, та його промислової апробація. Відповідно висвітлення такої роботи і є метою даної статті.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

В результаті проведеної дослідно-конструкторської роботи на кафедрі «Енергетичного менеджменту і технічної діагностики» ІФНТУНГ було розроблено і виготовлено дослідний взірць приладу для експрес контролю нижчої теплоти згоряння природного газу, що реалізує раніше запропонований кореляційний метод визначення даного показника призначення природного газу.

Структурна схема розробленого приладу наведена на рис. 1. Основним елементом приладу є вимірювальна камера 1, де здійснюється

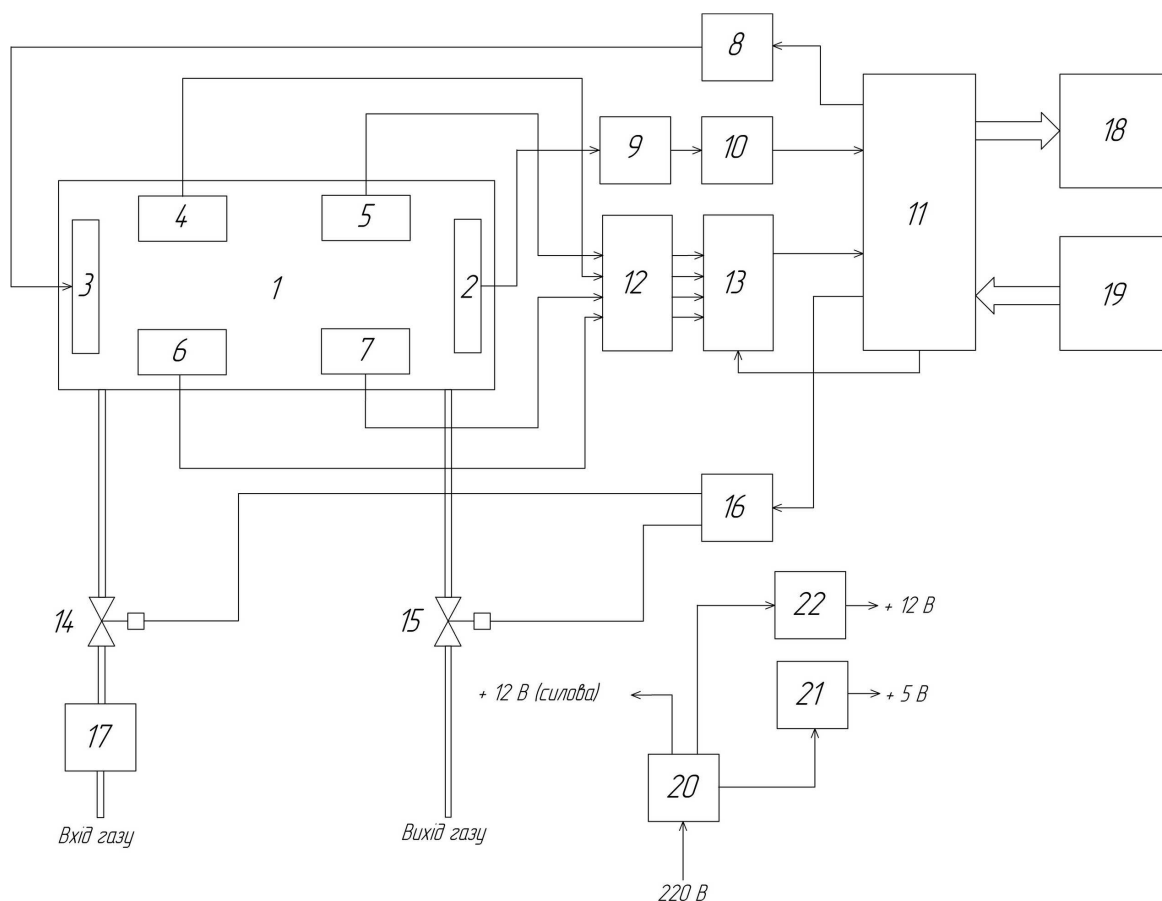
процес вимірювання інформативних параметрів, які необхідні для визначення теплоти згоряння природного газу. У вимірювальній камері 1 знаходяться два ультразвукові перетворювачі 2 і 3. Перетворювач 3 є випромінювачем, а перетворювач 2 – приймачем ультразвукового сигналу. Також у вимірювальній камері знаходяться давач тиску 4, давач температури 5, давач вологості 6 та давач визначення вмісту вуглекислого газу (CO₂) 7, який працює за принципом недиспергованої інфрачервоної спектроскопії (NDIR). При такому способі визначення концентрації CO₂ виходять з того, що CO₂ абсорбує інфрачервоне випромінювання, тобто відсоток ІЧ-випромінювання в певному, вузько обмеженому діапазоні довжин хвиль, що являє собою величину, яку можна застосовувати для визначення концентрації CO₂. В даному приладі застосовано давач CO₂ виробництва компанії *Dynament* [19] з діапазоном вимірювання 0-2% концентрації діоксиду вуглецю в газовій суміші і чутливістю 0,01%.

Електричний сигнал для збудження ультразвукового перетворювача (випромінювач) 3 формується генератором 8. Після проходження ділянки вимірювальної камери, наповненої природним газом, ультразвуковий імпульс приймається перетворювачем (приймач) 2 і підсилюється підсилювачем 9, з виходу якого надходить на модуль узгодження рівнів акустичного блоку 10, а звідти – на програмний цифровий модуль 11. Де відповідно відбувається визначення швидкості поширення ультразвукових коливань у пробі природного газу, яка знаходиться у вимірювальній камері 1. Швидкість поширення визначається за виміряним часом поширення ультразвукового сигналу і відомою відстанню між відповідно ультразвуковими перетворювачами 2 і 3; вимірювання проводиться з ультразвуковими сигналами з частотою збудження 1 МГц. Ультразвукові перетворювачі виготовлені за власною оригінальною технологією [20] і обладнані багат шаровим узгоджувачем для забезпечення введення ультразвукового сигналу з частотою 1 МГц в газове середовище вимірювальної камери.

Сигнали з виходів давачів тиску, температури, вологості та CO₂ надходять на модуль нормалізуючих підсилювачів 12, де здійснюється їх підсилення до необхідних рівнів. Далі сигнали надходять на швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 13, а звідти, у цифровій формі, - на програмний цифровий модуль 11 для подальшої обробки.

Запускається газ у вимірювальну камеру 1 та випускається з неї за допомогою електромагнітних клапанів 14 і 15, керування якими здійснюється блоком керування клапанами 16 за командами з програмного цифрового модуля 11. Зниження тиску газу перед подаванням у вимірювальну камеру до необхідного фіксованого рівня здійснюється газовим редуктором 17.

Повна обробка інформації та вироблення команд на управління виконується програмним цифровим модулем 11. Результати оброблення вимірювальної інформації відображаються на



1 - вимірювальна камера; 2, 3 - ультразвукові перетворювачі; 4 - давач тиску; 5 - давач температури; 6 - давач вологості; 7 - давач визначення вмісту вуглекислого газу; 8 - ультразвуковий генератор; 9 - вхідний підсилювач; 10 - модуль узгодження рівнів акустичного блоку; 11 - програмно-цифровий модуль; 12 - блок нормалізуючих підсилювачів; 13 - аналого-цифровий перетворювач; 14, 15 - електромагнітні газові клапани; 16 - блок керування електромагнітними газовими клапанами; 17 - газовий редуктор; 18 - інформаційний дисплей; 19 - клавіатура; 20 - блок живлення; 21, 22 - перетворювачі напруги

Рисунок 1 – Структурна схема приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу

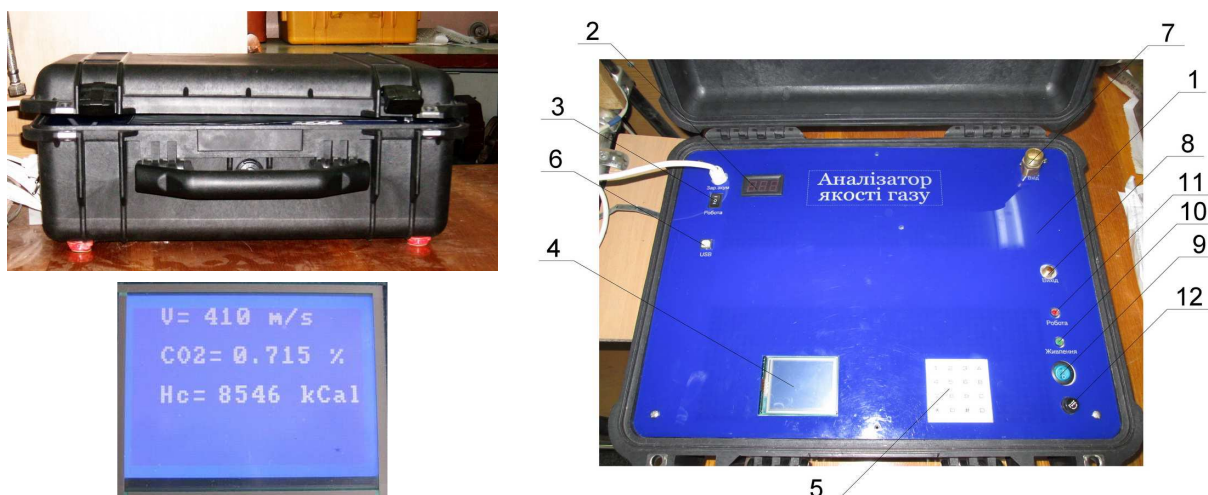
рідкокристалічному дисплеї 18, а введення команд на керування програмним цифровим модулем 11 здійснюється з клавіатури 19.

Живлення електронних вузлів та блоків приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу організовано за схемою розділення потужних (силових) і малопотужних ліній навантаження. Основним елементом системи живлення приладу є силовий імпульсний блок живлення 20, який перетворює змінну напругу мережі 220 В у постійну напругу +12В. Силова лінія навантаження +12 В використовується для живлення електромагнітних клапанів 14 та 15, які у ввімкненому стані споживають значні струми. Малопотужна лінія навантаження використовується для живлення всіх інших електронних блоків приладу. Для того, щоб різкі стрибки струмів при вмиканні і вимиканні електромагнітних клапанів не впливали на роботу електронних вузлів та блоків приладу, для їх живлення використано два окремі перетворювачі постійної напруги (DC/DC – перетворювачі) 21 і 22. Перетворювач 21 здійснює перетворення напруги +12 В у напругу +5 В, а

перетворювач 22 – перетворює напругу +12 В у таку ж напругу +12 В. Однак, при цьому досягається повна гальванічна розв'язка джерел живлення і усувається їхній взаємовплив.

Важливим є те, що в процесі визначення швидкості поширення ультразвукових коливань в газовій пробі під час роботи приладу враховується температура природного газу у вимірювальній камері [21], що дозволяє реалізувати оперативне визначення теплоти згоряння даної проби, на відміну від експериментальної установки, де витримувався ізотермічний режим досліджень.

Для тренування нейромережі приладу, що формує кореляційну залежність між нижчою теплотою згоряння і вимірними значеннями концентрації CO₂ та швидкості ультразвуку в газовій пробі, прилад прокалібрований більш ніж на 50-ти реальних пробах природного газу, що охоплюють майже весь вимірювальний діапазон (7500-9000 ккал/м³). За базу калібрування бралися результати визначення теплоти згоряння природного газу за компонентним складом за допомогою газового хроматографа, які



1 - лицьова панель; 2 - індикатор напруги акумулятора; 3 - перемикач «мережа-акумулятор»; 4 - інформаційний дисплей; 5 - клавіатура; 6 - порт USB; 7 - вхідний штуцер; 8 - вихідний штуцер; 9 - вимикач живлення приладу; 10 - індикатор роботи приладу; 11 - індикатор живлення приладу; 12 - тримач запобіжника

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу

отримані на тих же реальних пробах природного газу.

Конструктивно експериментальний зразок приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу виконаний у пило-вологозахисному корпусі з класом захисту IP67 і зручному для транспортування, габаритні розміри приладу 50×40×19 см, вага приладу – 15 кг. Зовнішній вигляд приладу відображений на рис. 2.

На лицьовій панелі 1 приладу розміщено індикатор значення напруги акумулятора 2 при живленні приладу від акумуляторної батареї; перемикач 3 на живлення приладу від акумуляторної батареї; рідкокристалічний інформаційний дисплей 4 для відображення розрахованого значення теплоти згоряння природного газу, швидкості поширення ультразвуку в газі, температури і вологості проби газу; клавіатуру 5 для введення команд щодо роботи приладу (продування, вимірювання, ввімкнення/вимкнення електромагнітних клапанів); вимикач напруги живлення з індикатором; гніздо 6 для під'єднання ПК через порт USB для зміни програмного забезпечення приладу; штуцери 7 і 8 для введення та виведення контрольованої проби газу; кнопку ввімкнення приладу 9, індикатор наявності напруги живлення приладу 10, індикатор роботи приладу 11 та тримач запобіжника 12.

Робота приладу забезпечується за тиску природного газу на вхідному штуцері 7 до 16МПа. Приєднання до джерела тиску відбувається за допомогою гнучкого газового шлангу. За необхідності можлива робота приладу, щодо відбору проби газу з вищим значенням тиску за умови використання додаткового зовнішнього редуктора. Через вихідний штуцер 8 скидається проаналізована газова проба, тиск на виході приладу складає 2 кПа. Об'єм вимірювальної

камери складає лише 76 см³, перед початком вимірювання, з метою видалення залишків повітря або попередньої проби газу проводиться продування з двадцятикратним заміщенням об'єму вимірювальної камери.

Для проведення порівняльних досліджень розробленого дослідного зрізця приладу експрес-контролю теплоти згоряння природного газу з результатними визначення фізико-хімічних показників природного газу хіміко-аналітичної лабораторії ПАТ «Івано-Франківськгаз» проведено відбори проб природного газу на ГРС і ГРП Івано-Франківської області.

Відбір проб проводився відповідно до ДСТУ ISO 10715:2009 [22]. Проби природного газу відбирались методом заповнювання-пропускання. В якості пробовідбірних контейнерів використано пробовідбірники БМП2-с-(1,2)-1-20 і БМП2-с-(1,2)-4-20 об'ємом 1л і 4л відповідно. Пробовідбірники мають циліндричну форму, дві горловини забезпечені вентилями. Процес відбору проб природного газу для проведення досліджень на об'єктах ПАТ «Івано-Франківськгаз» наведено на рис. 3.

Проби природного газу відбиралися в однакові пробовідбірники (в одних точках відбору) для проведення порівняльних досліджень розробленого дослідного зрізця приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу з результатними визначення фізико-хімічних показників природного газу хіміко-аналітичної лабораторії ПАТ «Івано-Франківськгаз».

Визначення фізико-хімічних показників природного газу для відібраних проб проводиться хіміко-аналітичною лабораторією ПАТ «Івано-Франківськгаз» з використанням хроматографічного обладнання (хроматографічний комплекс «Кристал 2000м»). Всього було відібрано 9 проб природного газу в різних точках



Рисунок 3 – Процес відбору проб природного газу для проведення досліджень на об'єктах ПАТ «Івано-Франківськгаз»



Рисунок 4 – Процес визначення теплоти згоряння природного газу за допомогою дослідного взірця приладу в науково-дослідній лабораторії кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики ІФНТУНГ

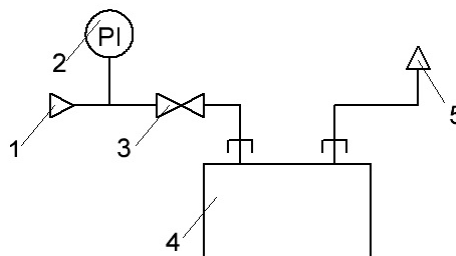
Івано-Франківської області, розкид нижчої теплоти згоряння для даних проб за результатами хроматографічного аналізу відповідно за протоколами проб склав від 8146 до 8577 ккал/м³. Паралельні дослідження з відібраними пробами проводились в науково-дослідній лабораторії кафедри «Енергетичного менеджменту і технічної діагностики» ІФНТУНГ за допомогою розробленого дослідного взірця приладу експрес-контролю теплоти згоряння природного газу (рис. 4).

Результати порівняльних досліджень вказують, що, в порівнянні з взірцевим значенням нижчої теплоти згоряння природного газу, яка отримана хіміко-аналітичною лабораторією ПАТ «Івано-Франківськгаз», максимальне відхилення для значень, які отримані для кожної проби за допомогою дослідного взірця приладу, складає 46 ккал/м³. Відповідно за результатами промислової апробації похибка приведена до діапазону вимірювання, складає 3,7%.

Також дослідження показали, що час проведення аналізу однієї проби природного газу на сучасному хроматографі складає близько 20 хвилин, а за допомогою дослідного взірця приладу – до п'яти хвилин, що є суттєвою перевагою, позаяк вимірювання можна проводити безпосередньо біля точки відбору природного газу.

З метою перевірки можливості визначення теплоти згоряння природного газу безпосередньо на газовій магістралі низького тиску проводилась промислова апробація розробленого приладу на базі лабораторії перевірки промислових лічильників газу на природному газі ПАТ «Івано-Франківськгаз» [23].

Дослідний взірець приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу вмикався для випробувань в газову магістраль низького тиску згідно з пневматичною схемою, яка наведена на рис.5.



1 – газова магістраль низького тиску (вхід газу);
2 – контрольний манометр; 3 – запірний кран;
4 - дослідний взірець приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу;
5 – дренаж природного газу

Рисунок 5 – Пневматична схема підключення до газової магістралі дослідного взірця приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу з метою проведення промислової апробації

Проведення робіт з промислової апробації наведено на рис. 6.

Промислова апробація відбувалась наступним чином. За допомогою гнучкого газового шлангу згідно з пневматичною схемою, яка наведена на рис 5, дослідний взірець приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу приєднувався до газової магістралі низького тиску. Дренаж природного газу здійснювався за допомогою гнучкого шлангу через



Рисунок 6 – Процес проведення промислової апробації дослідного взірця приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу на базі лабораторії перевірки промислових лічильників газу на природному газі ПАТ «Івано-Франківськгаз»

гідрозатвор (рис. 6) в атмосферу поза приміщенням лабораторного комплексу ПАТ «Івано-Франківськгаз». Після десятихвилинного прогрівання приладу викривали запірний кран на газовій магістралі (рис. 5) і подавали природний газ на вхід приладу (рис. 6). В свою чергу, прилад переводився в режим продування для витіснення слідів повітря і попередніх газових проб з аналітичної камери приладу, який тривав 10 хв. Процес продування контролювали візуально – шляхом спостереження за виходом природного газу через гідрозатвор (рис. 6).

В наведеному на рис. 6 підключенні дослідний взірець приладу працював в режимі поточного відбирання проби з газової магістралі. Час витримання проби природного газу в аналітичній камері приладу складав 5 хв, після чого визначали нижчу теплоту згоряння природного газу, швидкості поширення ультразвукових коливань і температури природного газу у вимірювальній камері приладу. Паралельно на найближчій до лабораторії перевірки промислових лічильників газу на природному газі газорозподільчій станції проводився відбір проби газу. Визначення фізико-хімічних показників природного газу для відібраних проб проводились хіміко-аналітичною лабораторією ПАТ «Івано-Франківськгаз».

Відповідно до протоколів промислової апробації дослідного взірця приладу для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу максимальне відхилення значень питомої теплоти згоряння природного газу складало 54 ккал/м^3 (25.07.2016 р.) і 43 ккал/м^3 (01.08.2016 р.), похибка, приведена до діапазону вимірювання, складала відповідно 3,6% (для відхилення 54 ккал/м^3) і 2,9% (для відхилення 43 ккал/м^3).

Висновки

В результаті виконання науково-дослідної і дослідно-конструкторської роботи колективом науковців ІФНТУНГ створено новий вітчизняний зразок засобу вимірювальної техніки для опосередкованого експрес-контролю нижчої теплоти згоряння природного газу, який передбачає врахування декількох параметрів (швидкості поширення звуку в природному газі та вмісту діоксиду вуглецю) та оброблення результатів вимірювань за допомогою алгоритмів

нейронних мереж. Даний засіб за параметрами швидкодії та точності задовольняє вимогам ДСТУ ISO 15112:2009 «Природний газ. Визначення енергії» і ДСТУ ISO 15971:2014 «Природний газ. Вимірювання властивостей. Теплота згоряння та число Воббе» і відповідає кращим закордонним зразкам, що реалізують кореляційні методи вимірювання теплоти згоряння природного газу без спалювання газової проби.

Розроблений прилад для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу придатний як для вимірювань безпосередньо біля місця відбору газової проби, так і для проведення поточкових вимірювань на газовій магістралі. Час вимірювання не перевищує 5 хв, що є цілком достатнім для практики.

Максимальне виявлене відхилення між отриманими значеннями нижчої теплоти згоряння природного газу за допомогою приладу і значеннями, що визначені в результаті відбору проби і подальшого хроматографічного аналізу природного газу складає 54 ккал/м^3 , за результатами промислової апробації, що проводилась на базі ПАТ «Івано-Франківськгаз». Дане значення є допустимим і потрапляє до області невизначеності $\pm 115 \text{ ккал/м}^3$ згідно з ДСТУ ISO 15971:2014, і відповідає засобам вимірювальної техніки 3-го класу, що дозволяє використовувати розроблений ЗВТ для задачі експрес-контролю теплоти згоряння природного газу.

Література

1 Осієвський В. О. План заходів із запровадження в Україні обліку природного газу в одиницях енергії [Електронний ресурс] / Валерій Олександрович Осієвський (НАК «Нафтогаз України») // Круглий стіл в рамках XIV-го Міжнародного форуму «Паливно-енергетичний комплекс України: сьогодні та майбутнє» на тему «Запровадження в Україні обліку природного газу в одиницях енергії». – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Kruglyi-stil-energy-Osievskiy-text.pdf>.

2 Якість газу. ПАТ «Укртрансгаз». [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://utg.ua/utg/business-info/yakst-gazu.html>.

- 3 Енергія природного газу – фізико-хімічні показники. НАК «Нафтогаз України». [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/5D4AEE4281E6DE24C2257F5000437426?OpenDocument&Expand=5.2&>.
- 4 ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії.
- 5 ДСТУ ISO 15971:2014. Природний газ. Вимірювання властивостей. Теплота згорання та число Воббе.
- 6 Огляд сучасного стану технологій та розробок для експрес-контролю теплоти згорання природного газу / А.В. Яворський, І.Р. Ващишак, І.І. Височанський, М.О. Карпаш // *Методи та прилади контролю якості*. – 2016. – № 37(2). – С. 51-66.
- 7 ДСТУ ISO 6976:2009. Природний газ. Обчислення теплоти згорання, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу.
- 8 Elster. Calorific Value Measurement. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.elster-instromet.com/>.
- 9 ДСТУ OIML R 140:2014 Вимірювальні системи для газоподібного палива (OIML R 140, edition 2007, IDT).
- 10 Кодекс газорозподільних систем. Відповідно до постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 1418 від 11.08.2016. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15>.
- 11 O.Karpash, I.Darvay, M.Karpash. New approach to natural gas quality determination // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 71, Issues 3-4, April 2010, pages 133-137.
- 12 Rybitskyi I., Karpash O., Darvay I., Karpash M. New low-cost method for determination of heating value of natural gas. *Wiertnictwo. Nafta. Gaz*. Vol. 28, Issue 1-2. Krakow, 2011, p.333-338, ISSN 1507-0042.
- 13 Development of new instant technology of natural gas quality determination, Koturbash T. Karpash M., Darvai I., Rybitskyi I., Kutcherov V.) *Proceedings of the ASME 2013 Power Conference*, Boston MA, USA, July 29-August 1, 2013, Power 2013-98089.
- 14 Карпаш О.М. Обґрунтування зменшення кількості інформативних параметрів для визначення теплоти згорання природного газу / О.М. Карпаш, І.Я. Дарвай // *Нафтогазова енергетика*. – 2010. – № 1(12). – С.85-89.
- 15 Аналіз показників якості природного газу, які впливають на процес горіння / Петришин І., Соколовський В., Петришин Н., Дарвай І. // *Стандартизація, сертифікація, якість*. – 2012. – №3 (76). – С. 51-57.
- 16 Патент на винахід UA 92846. Спосіб експрес-визначення теплоти згорання природного газу / Карпаш О.М., Дарвай І.Я., Карпаш М.О., Яворський А.В., Рибіцький І.В. (Україна). – Опубл. 10.12.2010, Бюл.№ 23, 2010 р.
- 17 Дарвай І.Я. Експериментальне дослідження нового методу визначення теплоти згорання природного газу / І.Я. Дарвай, О.М. Карпаш // *Методи та прилади контролю якості*. – 2010. – № 24. – С.17-20.
- 18 Дарвай І.Я., Карпаш О.М. Опыт промышленной апробации экспериментальной установки для определения теплоты сгорания природного газа // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. – 2010. – №1. – С.1-9. [електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ogbus.ru/authors/darvay/darvay_1.pdf.
- 19 Dynament. Infrared gas sensing technology. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dynament.com>.
- 20 Патент на корисну модель UA 40002 U. Ультразвуковий перетворювач для безконтактного вимірювання товщини матеріалів при використанні повітряно-акустичного зв'язку / Карпаш О.М., Рибіцький І.В., Карпаш М.О. (Україна). – Опубл. 25.03.2009 р., Бюл. № 6, 2009 р.
- 21 Патент на корисну модель UA 114212 U. Спосіб експрес визначення теплоти згорання природного газу з урахуванням температури / Карпаш О.М., Рибіцький І.В., Карпаш М.О., Дарвай І.Я., Яворський А.В., Височанський І.І. (Україна). – Опубл. 10.03.2017 р., Бюл. №5, 2017 р.
- 22 ДСТУ ISO 10715:2009. Природний газ. Настанови щодо відбирання проб.
- 23 Досвід розробки і впровадження пристрою для експрес-контролю теплоти згорання природного газу / А.В. Яворський, І.І. Височанський, М.О. Карпаш та ін. // *Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2016: 8-а нац. наук.-техн. конф.*, Київ, 22-24 листопада 2016 р.: матер. конф. – К.: УТ НКТД, 2016. – С. 203-205.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
21.06.17*

*Рекомендована до друку
професором Райтером П.М.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Снарським А.О.*

*(Національний технічний університет України
«КПІ», м. Київ)*