

КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

COMPLEX OF TECHNICAL FACILITIES FOR THE NATURAL GAS HEAT COMBUSTION DETERMINATION

*Петришин І.С., д.т.н., проф., Бас О.А., к.т.н., Присяжнюк Л.О.
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», Україна, e-mail: alexandr.sanya@gmail.com
Ihor Petryshyn, O. Bas, L. Prysyzhnyuk,
State Enterprise "Ivano-Frankivsk Standard Metrology", Ukraine*

Анотація

Стаття присвячена актуальному питанню проведення відбору представницької проби газу безпосередньо у споживача з газопроводів низького надлишкового тиску та проведення репрезентативних досліджень теплоти згоряння природного газу прямим методом із застосуванням газового калориметра. Авторами розроблено комплекс технічних засобів, який складається з циліндра – дозатора з пневматичним приводом у вигляді циліндра типу «тандем» та вимірювача кількості спожитого газу. За допомогою розробленого комплексу можливо провести відбір, нагнітання, транспортування та вимірювання параметрів проби газу, яка надходить до пальника калориметра.

Abstract

Article is devoted to the issue of selecting a gas representative sample directly of consumer (from low-pressure gas pipelines) as well as conducting representative studies of the natural gas heat combustion by using a direct method with gas calorimeter. Article describes the disadvantages of chromatographic method for determining the heat of gas combustion and indicates the necessity of developing a gas calorimeter. Development of a sampler on the basis of a typical cylinder with the using pneumatic drive of various configurations is proposed. Lack of existing samplers is proved. Consideration is related to the displacement of the gas sample taken with help of excessive air pressure. The latter can significantly change the value of the heat of gas combustion.

We have developed a complex of technical means, which consists of a cylinder - dispenser with a pneumatic drive of a "tandem" type cylinder and a gas meter. Applying the "tandem" cylinder as a pneumatic actuator provides additional benefits that are associated with an increase in the overall effort on the drive rod. Developed complex links the piping system of gas pipelines and the calorimetric column, in which the sampling gas is burned directly and the combustion heat is sequentially determined. Mentioned cylinder - dispenser can be used in the mode of the piston sampler, and in the setting mode - dispenser, the metering device of the volumetric flow rate of natural gas. To select the gas sample, a method of using the cylinder - the dispenser is developed. While determination of the gas amount is performed, application of the pulse interpolation procedure aiming accuracy enhancement is proposed. For representative research, the heat of natural gas combustion is measured by direct measurement: application of calorimeter with the direct burning of natural gas and the complex of technical means for carrying out selection, injection, transportation, etc.

Ключові слова

Газовий калориметр, циліндр – дозатор, теплота згоряння, пневматичний циліндр

Keywords

Gas Calorimeter, Cylinder - Dispenser, Heat of Combustion, Pneumatic Cylinder

1. Вступ

Департамент нафтогазового комплексу Міністерства енергетики та вугільної промисловості ініціює внесення змін в Правила визначення обсягів природного газу, які розроблені у відповідності до Законів України «Про ринок природного газу», «Про забезпечення комерційного обліку природного газу», і які покликані встановити вимоги до автоматизованих систем контролю і обліку природного газу (у відповідності до Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 р. наказом № 94), обсяги якого визначаються в тому числі і в одиницях енергії з використанням похідної одиниці – теплоти згоряння природного газу. При чому нормативний документ регламентує визначення теплоти згоряння природного газу із застосуванням хроматографів, густиномірів, спектральних газоаналізаторів та калориметрів.

Найбільшого розповсюдження на даний час для визначення теплоти згоряння газу набули газові хроматографи. Такий метод передбачає визначення теплоти згоряння природного газу розрахунковим способом на основі відомих значень теплоти згоряння кожного окремого компонента суміші та частки їхнього вмісту. Слід

відзначити, що довідкові дані значень теплоти згоряння компонентів природного газу первинно отримані саме методом прямих вимірювань на основі безпосереднього спалювання чистих газів у калориметрі. Крім того, розробка еталонного газового калориметра учасниками GERG – project [1], в який ввійшли провідні країни Європи, має на меті провести нові абсолютні вимірювання теплоти згоряння чистого метану та інших компонентів природного газу з метою внесення уточнень в стандартні довідкові дані.

2. Недоліки

Прямий метод визначення теплоти згоряння газу калориметром став основою для еталона одиниці теплоти згоряння в багатьох країнах світу. Тобто, точність розрахункового методу опосередковано пов'язана з точністю газової калориметрії. Відповідно, інструментальна складова похибки визначення теплоти згоряння за допомогою газового хроматографа складає долі процентів, оскільки вона пов'язана з визначенням молярної частки конкретних компонентів природного газу, адекватної площі їх фігур на хроматограмі. Стосовно методичної складової похибки слід відзначити, що у переважній більшості газових хроматографів молярна частка, яка відповідає наявності в газі метану, як основного компонента, приймається як [2]:

$$X_{CH_4} = 1 - \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

де X_{CH_4} – молярна частка метану в газовій суміші;

X_i – молярна частка i -ого компонента газової суміші.

Тобто, при розрахунку теплоти згоряння газової суміші на основі компонентного складу, вагові коефіцієнти невраховуваних або невизначених під час хроматографічного аналізу компонентів (а це можуть бути вищі вуглеводні, сірковмісні сполуки, підвищена вологість газу, тощо), можуть складати суттєву величину.

3. Мета роботи

Таким чином, розроблення високоточного газового калориметра, в якому відбувається безпосереднє спалювання порції природного газу, під час якого здійснюється врахування вмісту домішок та вологості, яка міститься у газі, і за допомогою якого можна визначити теплоту згоряння природного газу прямим методом із забезпеченням простежуваності безпосередньо до одиниць системи СІ є актуальною на даний час науковою задачею, що, як зазначалось, має прикладне застосування в галузі метрологічного забезпечення визначення обсягів природного газу в одиницях енергії.

4. Технічні засоби та методи

Основними складовими елементами калориметра прямої дії є калориметрична колонка згоряння із газовим паливом, термоізолюваний теплообмінник із теплоносієм з відомими фізико-хімічними параметрами і пристрій для визначення об'єму та об'ємної витрати природного газу, що надходить в газовий паливник. Для реалізації останньої складової, пов'язаної з забезпеченням стабільної об'ємної витрати спалюваного природного газу необхідною умовою є його об'єм, якого повинна бути достатня кількість для реалізації процесу визначення теплоти згоряння газу. Типові балони – пробовідбірники можуть забезпечити необхідну кількість при умові відбору проби за відповідних надлишкових тисків в умовах газорозподільних станцій (ГРС) чи газорозподільних пунктів (ГРП). Разом з тим, проблемою є відбір достатньої для проведення репрезентативного дослідження кількості газу в комунально-побутовому секторі, тобто безпосередньо у споживача, оскільки згідно норм [3], в трубопроводній системі передбачений тільки низький надлишковий тиск з максимальним значенням 3 кПа. Тому, авторами розроблено комплекс, який складається з циліндра – дозатора та вимірювача кількості природного газу. Розроблений комплекс дозатора та вимірювача є з'єднуючою ланкою між трубопроводною системою газопроводів та калориметричною колонкою, в якій відбувається безпосереднє спалювання порції відібраного газу та послідовне визначення його теплоти згоряння. Розроблений циліндр – дозатор може застосовуватись в режимі поршневого пробовідбірника, принцип якого аналогічний описаному в [4] та в режимі задавача – дозатора значення об'ємної витрати природного газу.

4.1 Вибір типу приводу циліндра - дозатора

Особливістю розробленого циліндра – дозатора природного газу є необхідність застосування приводу, рівномірний рух якого забезпечить стабільне переміщення поршневого розділювача в порожнині циліндра та, відповідно, гарантуватиме незмінне значення об'ємної витрати газу за час проведення дослідження, критерієм якого буде стабільне горіння природного газу в паливнику калориметра. Для реалізації приводу в базовому експериментальному варіанті поршневого пробовідбірника застосовано механічну передачу гвинт – гайка [4], проте механізації та автоматизації приводу не застосовано. Таким чином, при витісненні відібраної проби газу за допомогою ручного приводу важко отримати стабільне значення об'ємної витрати газу. З існуючих видів приводів, які доцільно застосувати у пробовідбірнику для автоматизації процесу відбору та нагнітання проби, можна виділити три основні типи: електричний, гідравлічний та пневматичний. Застосування електричного приводу накладає певні обмеження, які пов'язані з можливістю застосування циліндра – дозатора безпосередньо у приміщенні в споживача, а саме, при негерметичності з'єднань приміщення може заповнитись газоповітряною сумішшю та досягти небезпечної концентрації. Виключення становить електричний привід із застосуванням крокових електродвигунів, принцип яких побудований із застосуванням набору постійних магнітів, тому навіть при безпосередньому контакті з вибухонебезпечним середовищем їх застосування не вимагає особливих заходів безпеки. Стосовно гідравлічного приводу необхідно відзначити особливість застосування гідравлічних pomp, електродвигуни яких живляться від електромережі. Оптимальним рішенням, поряд із можливістю застосування

електроприводу на базі крокового двигуна, для періодичного живлення вузла приводу розробленого циліндра – дозатора є пневматичний привід, тобто стиснене в ємності повітря. Така система повністю гарантує безпеку при застосуванні її для робіт, які пов'язані з природним газом.

Особливістю пневматичного приводу, при умові застосування ємності зі стиснутим повітрям, є можливість практично миттєвого виходу накопиченої енергії, тобто миттєвого розряду, якщо розглядати ємність як акумулятор тиску. При цьому дана функція може служити додатковою перевагою, оскільки швидкість виходу стисненого повітря забезпечує лінійне переміщення поршня з різною швидкістю руху, яка є показником для визначення об'ємної витрати газу при його спалюванні. Відповідно, співвідношення максимального значення об'ємної витрати газу до її мінімального значення є динамічним діапазоном циліндра – дозатора, який в свою чергу забезпечує плавне регулювання процесу горіння природного газу в калориметрі газу.

4.2 Розроблення циліндра – дозатора з пневматичним приводом

Для компонування розробленого циліндра – дозатора доцільно максимально застосувати уніфіковані елементи провідних фірм – виробників пневматичного обладнання. Основними складовими циліндра – дозатора є пневматичні циліндри, порожнина одного з яких буде застосовуватись як ємність для відібраного газу, а інший буде використаний в якості приводу, а також пневматичний розподільник для перенаправлення потоків стисненого повітря та наповнена повітрям ємність яка слугує, як уже зазначалось, акумулятором тиску. Зокрема, готовим елементом пробовідбірника – дозатора є опозитний пневматичний циліндр зі спільним штоком для двох поршнів, які розташовані під кутом 180°. Таке рішення додатково підвищить стійкість конструкції, зменшить її габарити та забезпечить співвісність привідного та дозуючого циліндрів. Така комплектація об'єднує в собі власне дозатор (циліндр 1) та пневмопривід (циліндр 2). Приклад опозитного циліндра та пневматична схема циліндра – дозатора з системою пневморозподільників потоку стисненого повітря показані на рис. 1.

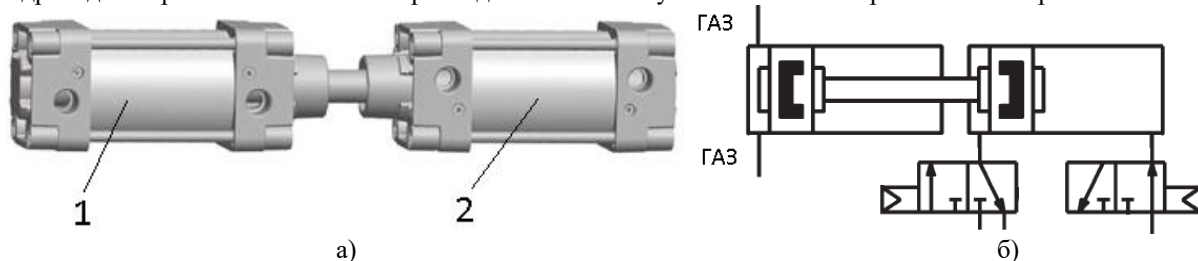


Рис. 1 – Типовий опозитний пневмоциліндр (а) та пневматична схема циліндра – дозатора (б)
 Fig. 1 – Typical Opposite Pneumocylinder (a) and pneumatic circuit of the cylinder-dispenser (b)

Особливими застережними заходами з точки зору репрезентативності проведених досліджень, є необхідна умова, при якій вихід штокової порожнини циліндра 1 (рис. 1), поршнева ємність якого заповнена відібраним газом, повинен бути з'єднаний з атмосферним тиском, оскільки при наявності в цій порожнині надлишкового тиску повітря можливі перетоки між поршнем і циліндром, що спричинять спотворення дослідження, оскільки навіть незначна кількість повітря, яке може потрапити в відібраний природний газ суттєво змінить його теплотворну здатність. З врахуванням фізичного змісту значення теплоти згоряння у споживачів, нормований діапазон значень якої складає від 7800 ккал/м³ (32,66 МДж/м³) до 8250 ккал/м³ (34,54 МДж/м³) [5], тобто загальна зміна значення коливається в діапазоні 5 %. Таким чином, потрапляння в ємність циліндра декількох процентів повітря може призвести до зміни теплоти згоряння на недопустиму величину. Разом з тим, слід відзначити, що при застосуванні для відбору проби типового балона з рухомим поршнем (рис. 2) [6, 7], є висока ймовірність потрапляння повітря або іншого газу при витісненні проби з балона, оскільки тиск нагнітання априорі повинен бути більшим від тиску відібраної проби газу, тому ймовірне перетікання нагнітаючого середовища, незважаючи на ущільнення поршневого витіснювача, що може призвести до безпосереднього контакту з пробю.

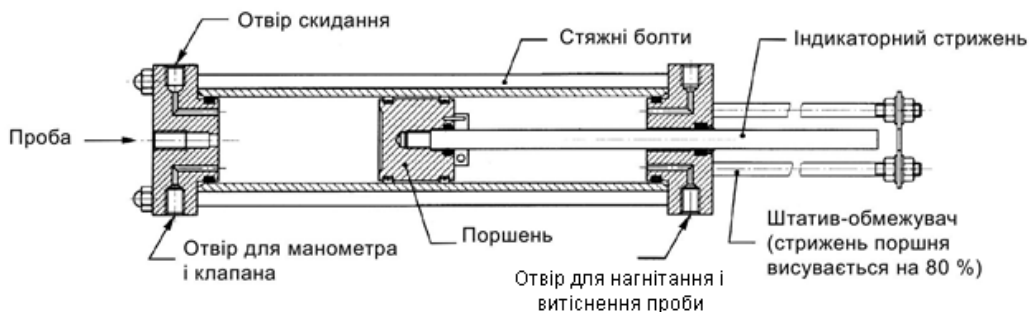


Рис. 2 – Типовий балон з рухомим поршнем
 Fig. 2 – Typical cylinder with movable piston

Також, у разі застосування пневматичного приводу у вигляді ємності зі стиснутим повітрям, з метою підвищення ефективності використання стисненого повітря можливо застосувати в якості привідного пневматичний циліндр із зворотною пружиною, яка вмонтована в його штокову порожнину. Таке технічне рішення дозволить суттєво підвищити надлишковий тиск відібраної проби газу та, відповідно, його об'єм, приведений до стандартних умов.

На рис. 3 показний приклад виконання такого пневматичного циліндра (а) та застосування його в якості приводу в пневматичній схемі циліндра – дозатора (б).

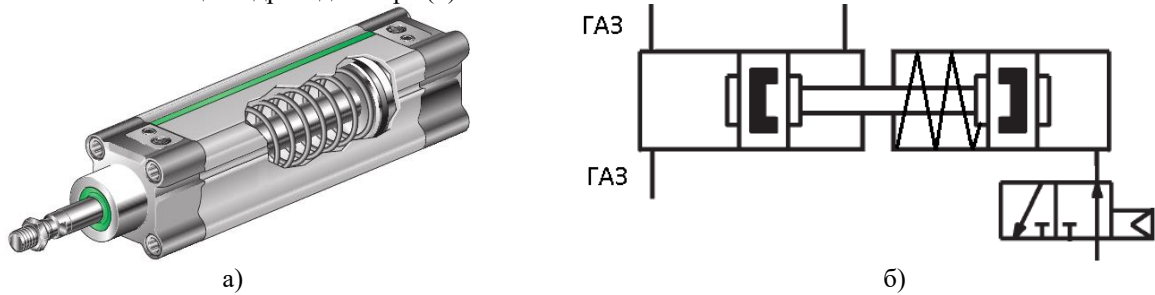


Рис. 3 – Типовий пневмоциліндр із зворотною пружиною (а) та його застосування в пневматичній схемі (б)
Fig. 3 – Typical pneumatic cylinder with a return spring (a) and its application in the pneumatic circuit (b)

Разом з тим, при проведенні відбору проби природного газу, наприклад, з трубопроводу низького надлишкового тиску [6], виникає потреба додаткового збільшення об'єму та надлишкового тиску проби шляхом кількратного стиснення. Відповідно, для реалізації такого відбору та для збільшення зусилля доцільно використати в якості приводу пневмоциліндр типу «тандем» (рис. 4 а), який виконаний у вигляді двох послідовно з'єднаних циліндрів. Тоді, на етапі стиснення потік повітря подається одночасно в дві порожнини циліндрів: поршневу першого циліндра та задню штокову другого (рис. 4 б), чим збільшується загальне зусилля F на привідний шток, яке складає:

$$F = P_p \cdot (2 \cdot S_C - S_s) \quad (2)$$

де P_p – тиск повітря з ємності, Па;
 S_C – площа привідного циліндра, м²;
 S_s – площа спільного штока, м².

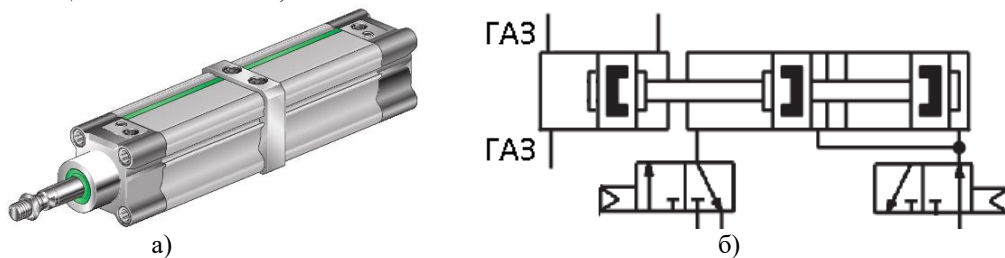


Рис. 4 – Типовий пневмоциліндр типу тандем (а) та принцип його застосування в циліндрі – дозаторі
Fig. 4 – Typical pneumatic cylinder type tandem (a) and the principle of its use in a cylinder - dispenser

Принцип роботи розробленого циліндра – дозатора пояснюється на рис. 5. На пневматичній схемі (рис. 5 а) представлено етап проведення відбору проби природного газу із газопроводу за допомогою дозуючого циліндра з приводом, виконаним у вигляді пневматичного тандем-циліндра [8]. Процедура відбору проби газу полягає у кількратному нагнітанні відібраного об'єму газу у балон, який монтується послідовно з циліндром – дозатором, причому кожний наступний об'єм газу з дозуючого циліндра, який нагнітається в балон, додатково підвищує тиск та збільшує відібраний корисний об'єм газу. Для реалізації розробленої процедури відбору проби газу на вхідному та вихідному патрубках пробовідбірника додатково встановлені зворотні клапани. На рис. 5 б показний зовнішній вигляд пробовідбірника з пневматичним приводним тандем-циліндром. Пневматичний привід реалізується за рахунок застосування ємності з попередньо стиснутим повітрям. Така комбінація беззаперечно відповідає правилам техніки безпеки при виконанні робіт, пов'язаних з природним газом безпосередньо в споживача.

4.3 Методика проведення відбору проби газу

Методика проведення відбору проби газу згідно рис. 5 а полягає у послідовному встановленні циліндра – дозатора 7 з балоном 12 перед газоспоживаючим обладнанням, при цьому вентиль 1 в комплекті з гнучким шлангом монтується на підвідний трубопровід, а вентиль 3 встановлюється перед обладнанням. Перед початком проведення відбору проби, поршневі розділювачі циліндрів 7, 8 і 9 знаходяться в крайньому лівому положенні. Наступним етапом проводиться операція продування системи для витіснення повітря та заміщення його газом, для цього вентилі 1, 2 і 3 переводяться у відкрите положення і за допомогою пневморозподільника 11 та вентилі 4 здійснюють подачу стисненого повітря з балона 13 в циліндр 8, рух поршня якого, за рахунок спільного штоку, переміщає поршні циліндрів 7 і 9 в крайнє праве положення. За рахунок встановлення зворотного клапана 6, газ поступає тільки циліндр 7. При досягненні поршнями крайнього правого положення здійснюється перемикання пневморозподільника 10 у режим подачі повітря з балона 13, причому пневморозподільник 11 перемикається в режим, з'єднаний з атмосферним тиском, і при подаванні тиску у циліндр 8 і 9 здійснюється їхній рух в крайнє ліве положення. В цей період зворотній клапан 5 не допускає вихід газу у підвідний трубопровід, а клапан 6 забезпечує його рух послідовно через балон 12 до газоспоживаючого обладнання, у якому здійснюється його спалювання із залишками повітря. Надалі вентиль 3 переводиться у закриті положення і етап відбору –

нагнітання шляхом перемикання пневморозподільників при досягненні поршневих розділювачів крайніх положень повторюється до досягнення в балоні 12 необхідного розрахункового об'єму або надлишкового тиску.

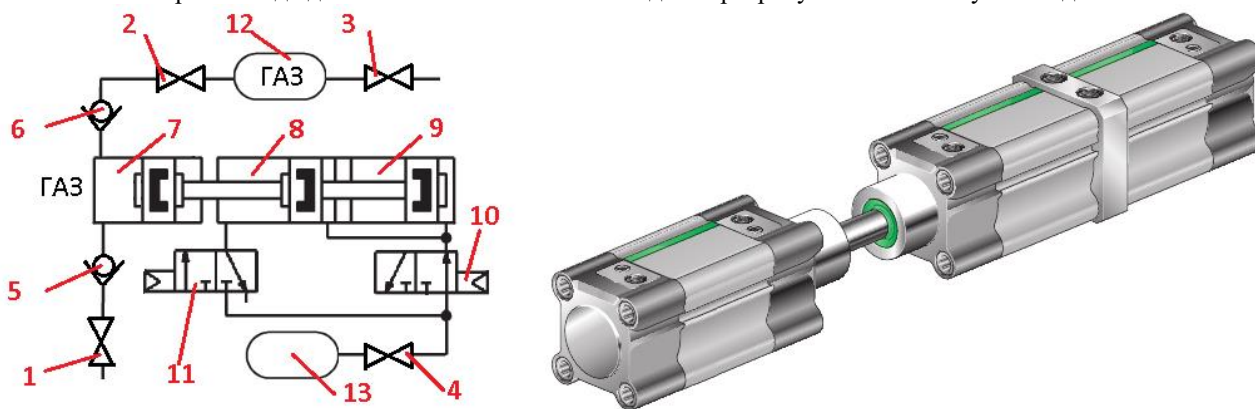


Рис. 5 – Пневматична схема проведення відбору природного газу (а) та зовнішній вигляд циліндра – дозатора з пневматичним приводом (б)

Fig. 5 – Pneumatic scheme for the natural gas sampling (a) and the appearance of a cylinder - a dispenser with a pneumatic actuator (b)

Після проведення відбору та нагнітання проби газу з газопроводу в балон, здійснюється його транспортування в лабораторію для проведення послідовного спалювання та визначення теплотворної здатності природного газу. На рис. 6 наведена схема проведення досліджень із застосуванням розробленого циліндра – дозатора та калориметра [9]. Після під'єднання балона зі стиснутим газом із вузлом редукування та вимірювання надлишкового тиску 1, встановлюють стабільне значення тиску газу. Наступним, послідовно встановленим елементом калориметра є циліндр – дозатор 2, функція якого полягає у задаванні необхідного для ефективної роботи пальника значення об'ємної витрати газу. Циліндр при цьому заповнюється відібраним у балон газом, після чого проводиться його витіснення з відомою незмінною швидкістю руху поршневого роздільника. Для визначення об'єму природного газу застосовано вимірювач 4, який, для підтримання стабільних умов, додатково обладнаний давачем для вимірювання температури газу, що надходить до пальника 5. Враховуючи особливості роботи приладу на реальному газовому середовищі, в якості вимірювача об'єму природного газу доцільно застосувати еталонний лічильник газу роторного типу з вбудованим елементом вимірювання температури пройденого газу.

Таке розподілення функцій задання значення об'ємної витрати газу та визначення його кількості обумовлено декількома об'єктивними особливостями. По-перше: розроблений циліндр – дозатор виконаний у вигляді моноблочної конструкції, відповідно, для визначення витісненого об'єму газу його необхідно додатково обладнати вимірювальною лінійкою, що, з врахуванням його конструкції, проблематично, оскільки прямого доступу до штоку немає. По-друге: роторний лічильник газу, за своєю суттю, є пристроєм камерного типу, основна задача яких полягає у визначенні точної кількості пройденого газу, а не задаванні стабільного значення об'ємної витрати газу, для чого потрібно здійснювати регулювання обертів лічильника. Разом з тим, необхідно відзначити, що для підвищення точності та зменшення кількості впливових факторів необхідно розробити задавач та вимірювач значення об'єму та об'ємної витрати газу з врахуванням досвіду застосування поршневих систем, що є метою подальших наукових досліджень для авторів.

5. Результати

Таким чином, під час дослідження теплоти згоряння газу забезпечується вимірювання об'єму, тиску та температури пройденого газу для приведення до стандартних умов. Отримані дані застосовуються для розрахунку теплоти згоряння природного газу H відповідно до наступної формули:

$$H = \frac{V_W \cdot c_w \cdot (T_{W2} - T_{W1})}{V_G \cdot \left(\frac{(P_A + P_G) \cdot T_A}{P_A \cdot T_G} \right)} \quad (3)$$

де V_W – об'єм рідини в теплообміннику, м³;
 c_w – теплоємність рідини, Дж/(м³·К);
 T_{W1}, T_{W2} – температура рідини на початку і в кінці дослідження, К;
 V_G – об'єм спожитого газу, м³;
 P_G – надлишковий тиск газу, Па;
 P_A – атмосферний тиск, Па;
 T_G – температура газу, К;
 T_A – температура навколишнього середовища, К.

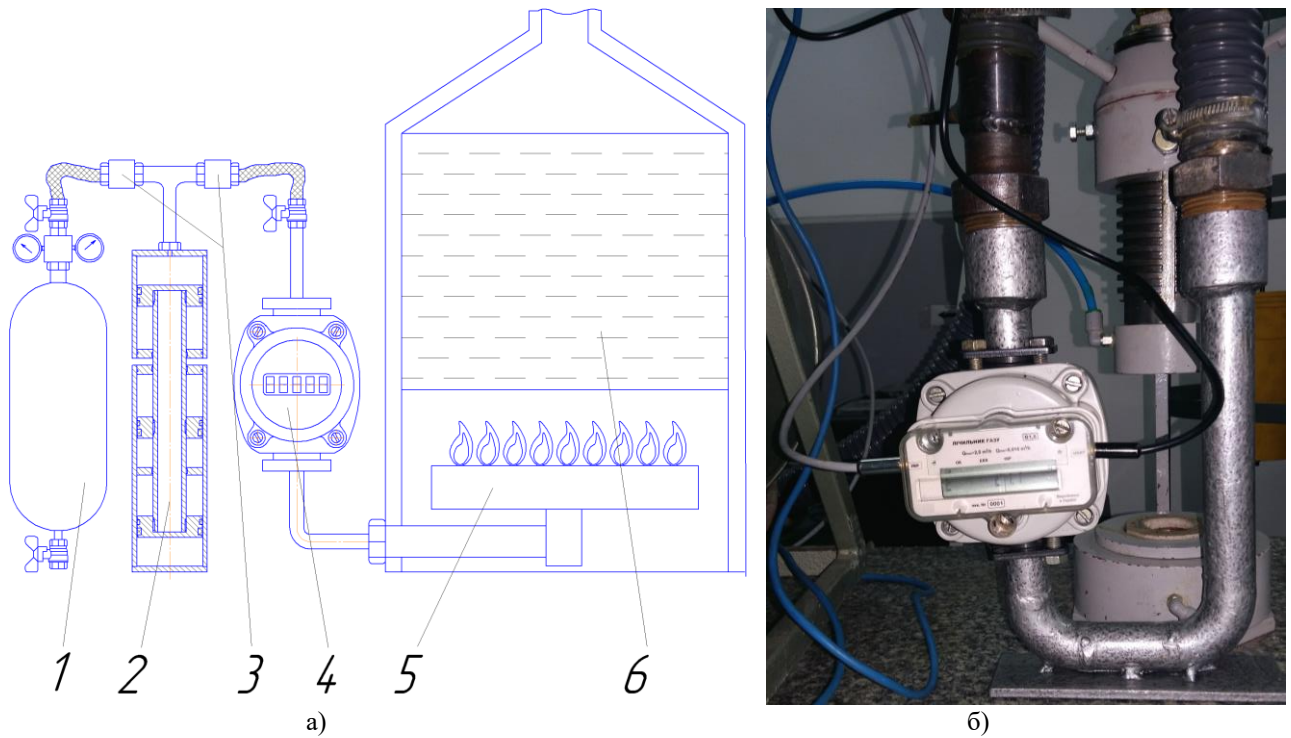


Рис. 6 – Схема проведення вимірювань теплоти згоряння природного газу за допомогою калориметра (а) та зовнішній вигляд вимірювача кількості природного газу (б)

Fig. 6 – Scheme for conducting measurements of the natural gas combustion heat using a calorimeter (a) and the appearance of the natural gas meter (b)

1 – балон з відібраною пробєю газу і вузол редукування та вимірювання тиску газу, 2 – циліндр – дозатор; 3 – зворотні клапани; 3 – вимірювач кількості природного газу з вбудованою функцією вимірювання температури газу, 4 – пальник лабораторного калориметра, 5 – термоізолюваний теплообмінник

Оскільки під час проведення відбору та послідовного витіснення проби з балона, об'єм відібраного газу має відносно невелике значення, тому, для підвищення точності вимірювання його об'єму необхідно обладнати еталонний лічильник формувачем високочастотних вихідних сигналів, що дасть можливість здійснювати з високою точністю відсікання необхідної кількості газу. Крім того, під час обробки вихідного сигналу необхідно передбачити процедуру імпульсної інтерполяції (рис. 7) для врахування частин імпульсу, згідно формули:

$$n' = n \cdot \frac{t_2}{t_1} \quad (4)$$

де n' – розраховане неціле значення кількості імпульсів від еталонного лічильника;
 n – виміряна кількість імпульсів від еталонного лічильника;
 t_1 – час тривалості імпульсів від еталонного лічильника, с;
 t_2 – час тривалості дослідження, с.

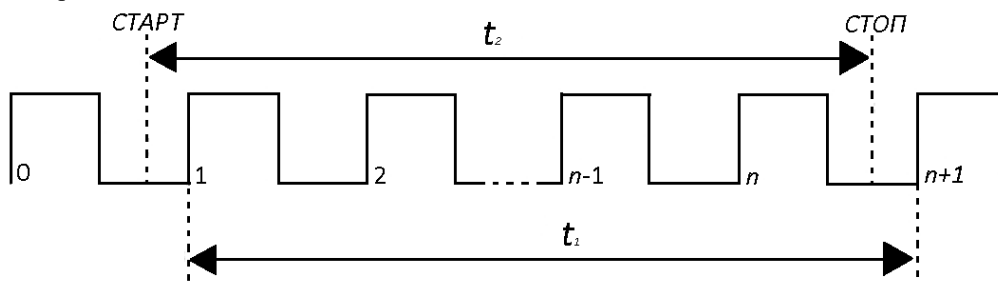


Рис. 7 – Реалізація процедури імпульсної інтерполяції для врахування частин імпульсу від еталонного лічильника

Fig. 7 – Implementation pulse interpolation procedures to account for part of a reference pulse meter

Таким чином, об'єм спалюваного у пальнику калориметра газу V_G , з врахуванням формули (4), визначатиметься за наступним співвідношенням:

$$V_G = \frac{n'}{K_M} \quad (5)$$

де K_M – коефіцієнт перетворення еталонного лічильника газу (імп / м³), який визначається під час калібрування лічильника.

8. Висновки

Для проведення репрезентативних досліджень теплоти згоряння природного газу методом прямих вимірювань із застосуванням калориметра, в якому відбувається безпосереднє спалювання порції природного газу, розроблений комплекс технічних засобів для відбору, нагнітання, транспортування та вимірювання параметрів проби газу, що складається із циліндра – дозатора з балоном та вимірювача кількості природного газу. Застосування вказаного комплексу дасть можливість провести відбір представницької проби природного газу та провести адекватне визначення теплоти згоряння природного газу.

Конфлікт інтересів

Не існує будь-якого фінансового або іншого можливого конфлікту, що стосується роботи.

Література

1. P. Schley, M. Beck, M. Uhrig, S. M. Sarge, J. Rauch, F. Haloua, J.-R. Filtz, B. Hay, M. Yakoubi, J. Escande, A. Benito, P. L. Cremonesi Measurements of the Calorific Value of Methanewith the New GERG Reference Calorimeter // *International Journal of Thermophysics* May 2010, Volume 31, Issue 4–5, pp 665–679.
2. Природний газ. Обчислення теплоти згоряння, густини, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу (ISO 6976:1995/Cor.2:1997, Cor.3:1999, IDT): ДСТУ ISO 6976:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 55с.
3. Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Газопостачання: ДБН В.2.5-20-2001 – [Чинний від 2001-08-01]. – К.: Держбуд України, 2001. – 131с.
4. Петришин І.С. Дослідження енергетичної цінності природного газу в споживачів комунально-побутового сектору / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас // *Метрологія та прилади*. – 2015. – № 6 (56). – С. 42 – 49.
5. Кодекс газотранспортної системи – Затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг 30.09.2015 № 2493.
6. Природний газ. Наставови щодо відбирання проб (ISO 10715:1997, IDT): ДСТУ ISO 10715:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 36с.
7. API 14.1 Measurement Standards for Natural Gas Sampling, Collecting and Handling of Natural Gas Samples for Custody Transfer / 6th Edition // Reaffirmed: September 2011.
8. Петришин І.С. Метод організації відбору та вимірювання характеристик газу для лабораторного калориметра / І.С. Петришин, О.А. Бас, Л.О. Присяжнюк // IV Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018», 13-18 лютого 2018 року: тези доповідей. – Київ: Академія метрології України. – 2018. – С. 67 – 68.
9. Петришин І.С. Портативний калориметр природного газу прямої дії / І.С. Петришин, О.А. Бас, Л.О. Присяжнюк // VIII міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», зб. тез доповідей, Івано-Франківськ: Факел. – 2017. – С. 93 – 95.

References

- [1] P. Schley, M. Beck, M. Uhrig, S. M. Sarge, J. Rauch, F. Haloua, J.-R. Filtz, B. Hay, et al, “Measurements of the Calorific Value of Methanewith the New GERG Reference Calorimeter”, *Int. Journ. Thermophysics*, vol.31, is.4-5, p.665-679, 2010.
- [2] DSTU ISO 6976:2009 *Natural gas. Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition*. (ISO 6976:1995/Cor.2:1997, Cor.3:1999, IDT). [On-line]. Available: <http://www.naftogaz.com/files/Information/4-Schupak-dopovid.pdf>.
- [3] Derzhbud of Ukraine. DBN V.2.5-20-2001. State building codes of Ukraine. *Engineering equipment of buildings and structures. External networks and facilities. Gas supply*, Kyiv, Ukraine, 2001.
- [4] I. Petryshyn, T. Prisyazhnyuk, O. Bas, “Research the natural gas energy value to domestic household sector consumers”, *Metrology and devices*, Ukraine, № 6(56), p.42-49, 2015.
- [5] Code of the gas transmission system – Approved by the Resolution of the National Commission, which carries out the state regulation in the spheres of energy and utilities, no.2493, Sept.30, 2015.
- [6] ISO 10715:2009 (ISO 10715:1997, IDT). *Natural gas - Sampling guidelines*, 2009. [On-line]. Available: <https://www.iso.org/standard/18803.html>.
- [7] API 14.1 Measurement Standards for Natural Gas Sampling, Collecting and Handling of Natural Gas Samples for Custody Transfer, Reaffirmed: Sept. 2011.
- [8] I. Petryshyn, O. Bas, L. Prisyazhnyuk, “Method of organization of samples and measurement gas characteristics for a laboratory calorimeter”, in *Proc. 4th Ukr. sc. tech. conf. of young scientists in the field of metrology*, Lviv, Ukraine, , Febr.13-18, 2018, pp.67-68.

[9] I. Petryshyn, O. Bas, L. Prisyazhnyuk, "Portable gas calorimeter direct action", in *Proc. 8th Int. sc. tech. conf. "Modern Instruments, Materials and Technologies for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics of Machine-Building and Oil and Gas Equipment"*, Ivano-Frankivsk: Ukraine, 2017, pp.93-95.