

# ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

## КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

### COMPLEX OF TECHNICAL FACILITIES FOR THE NATURAL GAS HEAT COMBUSTION DETERMINATION

*Петришин І. С., д-р техн. наук, проф., Бас О. А., канд. техн. наук, Присяжнюк Л. О.  
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», Україна, e-mail: alexandr.sanya@gmail.com*

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2018.02.005>

**Анотація.** Розглянуто актуальне питання відбору представницької проби газу безпосередньо у споживача із 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 із циліндра-дозатора із пневматичним приводом у вигляді циліндра типу «тандем» та вимірювача кількості спожитого газу. За допомогою розробленого комплексу можна здійснити відбір, нагнітання, транспортування та вимірювання параметрів проби газу, який надходить до пальника калориметра.

**Ключові слова:** газовий калориметр, циліндр-дозатор, теплота згоряння, пневматичний циліндр.

**Annotation.** 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 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. It 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 determining of the amount of gas 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 by calorimeter application with the direct burning of natural gas, and the complex of technical means for carrying out selection, injection, transportation as well as measurement of parameters of gas sample, is developed.

**Key words:** gas calorimeter, cylinder-dispenser, heat of combustion, pneumatic cylinder.

#### Вступ

Департамент нафтогазового комплексу Міністерства енергетики та вугільної промисловості ініціює внесення змін у Правила визначення обсягів природного газу, розроблені відповідно до Законів України «Про ринок природного газу», «Про забезпечення комерційного обліку природного газу» і покликані визначити вимоги до автоматизованих систем контролю і обліку природного газу (відповідно до Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 р. наказом № 94), обсяги якого визначаються зокрема і в одиницях енергії з використанням похідної одиниці – теплоти згоряння природного газу. Причому нормативний документ регламентує визначення теплоти згоряння природного газу із

застосуванням хроматографів, густиномірів, спектральних газоаналізаторів та калориметрів.

Сьогодні для визначення теплоти згоряння газу найчастіше використовують 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. Зауважимо, що довідкові дані значень теплоти згоряння компонентів природного газу первинно отримали саме методом прямих вимірювань із безпосереднім спалюванням чистих газів у калориметрі. Крім того, розроблення еталонного газового калориметра учасниками GERG-проект [1], у який увійшли провідні країни Європи, має на меті провести нові абсолютні вимірювання теплоти згоряння чистого метану та

інших компонентів природного газу, щоб внести уточнення у стандартні довідкові дані.

### Недоліки

Прямий метод визначення теплоти згоряння газу калориметром став основою для еталона одиниці теплоти згоряння у багатьох країнах світу. Тобто точність розрахункового методу опосередковано пов'язана із точністю газової калориметрії. Відповідно, інструментальна складова похибки визначення теплоти згоряння за допомогою газового хроматографа становить частки процентів, оскільки вона пов'язана з визначенням молярної частки конкретних компонентів природного газу, адекватної площі їх фігур на хроматограмі. Стосовно методичної складової похибки зазначимо, 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  $i$ -го компонента газової суміші.

Отже, у разі 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 становити істотну величину.

### Мета роботи

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, й за допомогою якого можна визначити теплоту згоряння природного газу прямим методом із забезпеченням простежуваності безпосередньо до одиниць системи СІ, – актуальне сьогодні наукове завдання, зважаючи, як зазначалось, на прикладне застосування в галузі метрологічного забезпечення визначення обсягів природного газу в одиницях енергії.

### Технічні засоби та методи

Основними складовими елементами калориметра прямої дії є калориметрична колонка згоряння із газовим пальником, термоізолюваний теплообмінник із теплоносієм з відомими фізико-хімічними параметрами і пристрій для визначення об'єму та

об'ємної витрати природного газу, що надходить у газовий пальник. Для реалізації останньої складової, пов'язаної із забезпеченням стабільної об'ємної витрати спалюваного природного газу, необхідною умовою є його об'єм, якого повинно бути достатньо для визначення теплоти згоряння газу. Типові балони-пробовідбірники можуть забезпечити необхідну кількість за умови 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 відповідно до норм [3], у трубопроводній системі передбачено тільки низький надлишковий тиск із максимальним значенням 3 кПа. Тому автори розробили комплекс, який складається із циліндра-дозатора та вимірювача кількості природного газу. Розроблений комплекс дозатора та вимірювача є сполучною 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 у режимі поршневого пробовідбірника, принцип якого аналогічний до описаного в [4], та в режимі задавача-дозатора значення об'ємної витрати природного газу.

#### 1.1. 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 пальнику калориметра. Для реалізації приводу в базовому експериментальному варіанті поршневого пробовідбірника застосовано механічну передачу гвинт – гайка [4], проте механізації та автоматизації приводу не здійснено. Отже, в разі витіснення відібраної проби газу за допомогою ручного приводу важко отримати стабільне значення об'ємної витрати газу. З відомих видів приводів, які доцільно застосувати у пробовідбірнику для автоматизації відбору та нагнітання проби, можна виділити три основні типи: електричний, гідравлічний та пневматичний. Застосування електричного приводу накладає певні обмеження, пов'язані з можливістю застосування циліндра-дозатора безпосередньо у приміщенні в споживача, а саме в разі негерметичності з'єднань приміщення може заповнитись

газоповітряною сумішшю, яка досягне небезпечної концентрації. Виняток становить електричний привід із застосуванням крокових електродвигунів, які побудовано за принципом застосування набору постійних магнітів, тому навіть у разі безпосереднього контакту із вибухонебезпечним середовищем їх використання не потребує особливих заходів безпеки. Стосовно гідравлічного приводу необхідно відзначити особливість застосування гідравлічних pomp, електродвигуни яких живляться від електромережі. Оптимальним рішенням, поряд із можливістю використання електроприводу на базі крокового двигуна, для періодичного живлення вузла приводу розробленого циліндра-дозатора є пневматичний привід, тобто стиснене в ємкості повітря. Така система повністю гарантує безпеку в разі застосування її для робіт, які пов'язані з природним газом.

Особливістю пневматичного приводу, за умови застосування ємкості зі стиснутим повітрям, є можливість практично миттєвого вивільнення накопиченої енергії, тобто миттєвого розряду, якщо розглядати ємкість як акумулятор тиску. Ця функція може слугувати додатковою перевагою, оскільки швидкість вивільнення стисненого повітря забезпечує лінійне переміщення поршня з різною швидкістю руху, яка є показником для визначення об'ємної витрати газу під час його спалювання. Відповідно, відношення максимального значення об'ємної витрати газу до її мінімального значення є динамічним діапазоном циліндра-дозатора, який забезпечує плавне регулювання процесу горіння природного газу в калориметрі газу.

## 1.2. Розроблення циліндра-дозатора з пневматичним приводом

Для компонування розробленого циліндра-дозатора доцільно максимально застосувати уніфіковані елементи провідних фірм-виробників пневматичного обладнання. Основні складові циліндра-дозатора – пневматичні циліндри, порожнина одного з яких застосовуватиметься як ємкість для відібраного газу, а інший буде використано як привід, а також

пневматичний розподільник для переспрямування потоків стисненого повітря та наповнена повітрям ємкість, що 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 приводного та дозувального циліндрів. Така комплектація поєднує в собі власне дозатор (циліндр 1) та пневмопривід (циліндр 2). Приклад опозитного циліндра та пневматичну схему циліндра-дозатора із системою пневморозподільників потоку стисненого повітря показано на рис. 1.

Особливими застережними заходами з погляду репрезентативності здійснених досліджень є необхідна умова, за якою вихід штокової порожнини циліндра 1 (рис. 1), поршнева ємкість якого заповнена відібраним газом, повинен бути з'єднаний з атмосферним тиском, оскільки за наявності в цій порожнині надлишкового тиску повітря можливі перетоки між поршнем і циліндром, що спотворять результати дослідження, оскільки навіть незначна кількість повітря, яке може потрапити у відібраний природний газ, істотно змінить його теплотворну здатність. З урахуванням фізичного змісту значення теплоти згоряння у споживачів, нормований діапазон значень якої від  $7800 \text{ ккал/м}^3$  ( $32,66 \text{ МДж/м}^3$ ) до  $8250 \text{ ккал/м}^3$  ( $34,54 \text{ МДж/м}^3$ ) [5], тобто загальна зміна значення коливається в діапазоні 5 %. Отже, потрапляння в ємкість циліндра декількох процентів повітря може призвести до зміни теплоти згоряння на недопустиму величину. Разом з тим, зазначимо, що в разі застосування для відбору проби типового балона з рухомим поршнем (рис. 2) [6, 7] висока ймовірність потрапляння повітря або іншого газу під час витіснення проби з балона, оскільки тиск нагнітання априорі повинен бути більшим від тиску відібраної проби газу, тому ймовірне перетікання нагнітального середовища, незважаючи на ущільнення поршневого витіснювача, що може призвести до безпосереднього контакту з пробою.

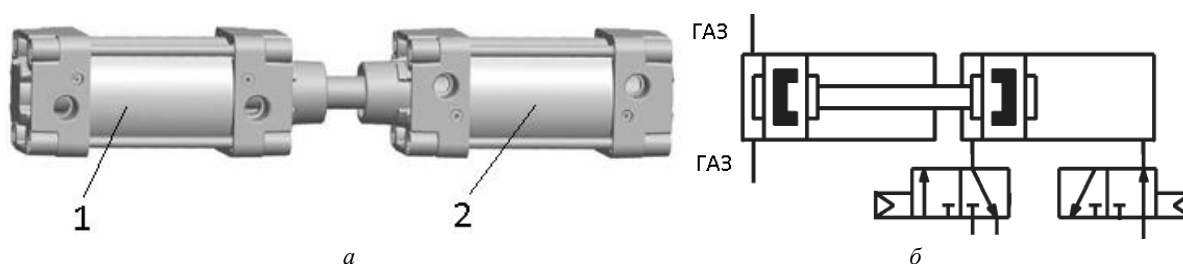


Рис. 1. Типовий опозитний пневмоциліндр (а) та пневматична схема циліндра-дозатора (б)

Fig. 1. Typical opposite pneumatic cylinder (a) and pneumatic circuit of the cylinder-dispenser (b)

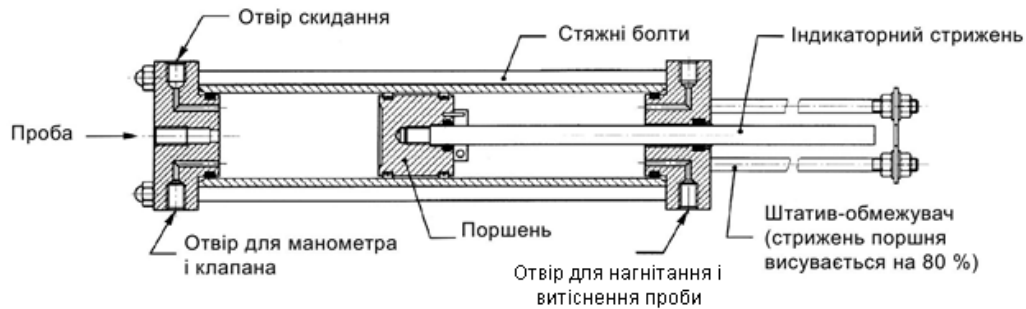


Рис. 2. Типовий балон з рухомим поршнем

Fig. 2. Typical cylinder with movable piston

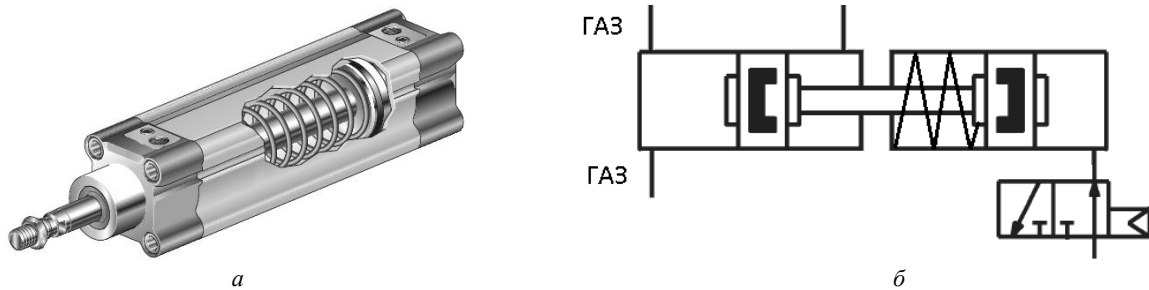


Рис. 3. Типовий пневмоциліндр зі зворотною пружиною (а) та його застосування у пневматичній схемі (б)

Fig. 3. Typical pneumatic cylinder with a return spring (a) and its application in the pneumatic circuit (b)

У разі застосування пневматичного приводу у вигляді ємкості зі стиснутим повітрям з метою підвищення ефективності використання стисненого повітря також можливо застосувати як приводний пневматичний циліндр зі зворотною пружиною, яка вмонтована в його штокову порожнину. Таке технічне рішення дасть змогу істотно підвищити надлишковий тиск відібраної проби газу та, відповідно, його об'єм, приведений до стандартних умов. На рис. 3 показано приклад виконання такого пневматичного циліндра (а) та застосування його як приводу в пневматичній схемі циліндра-дозатора (б).

Разом з тим, під час відбирання проби природного газу, наприклад, з трубопроводу низького надлишкового тиску [6], виникає потреба додаткового збільшення об'єму та надлишкового тиску проби шляхом кількаразового стискування. Відповідно, для реалізації такого відбору та для збільшення зусилля доцільно використати як привід пневмоциліндр типу «тандем» (рис. 4, а), виконаний у вигляді двох послідовно з'єднаних циліндрів. Тоді на етапі стискування потік повітря подається одночасно в дві порожнини циліндрів: поршневу першого циліндра та задню штокову другого (рис. 4, б), чим збільшується загальне зусилля  $F$  на приводний шток, яке становить:

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

де  $P_p$  – тиск повітря з ємкості, Па;  $S_C$  – площа приводного циліндра,  $\text{м}^2$ ;  $S_S$  – площа спільного штока,  $\text{м}^2$ .

Принцип роботи розробленого циліндра-дозатора пояснено на рис. 5. На пневматичній схемі (рис. 5, а) відображено етап проведення відбирання проби природного газу із газопроводу за допомогою дозувального циліндра з приводом, виконаним у вигляді пневматичного тандем-циліндра [8]. Процедура відбирання проби газу полягає у кількаразовому нагнітанні відібраного об'єму газу в балон, який монтується послідовно з циліндром-дозатором, причому кожний наступний об'єм газу з дозувального циліндра, який нагнітається у балон, додатково підвищує тиск та збільшує відібраний корисний об'єм газу. Для реалізації розробленої процедури відбирання проби газу на входному та вихідному патрубках пробовідбірника додатково встановлено зворотні клапани. На рис. 5, б показано зовнішній вигляд пробовідбірника з пневматичним приводним тандем-циліндром. Пневматичний привід реалізується за рахунок застосування ємкості із попередньо стиснутим повітрям. Така комбінація, безперечно, відповідає правилам техніки безпеки під час виконання робіт, пов'язаних з природним газом безпосередньо в споживача.

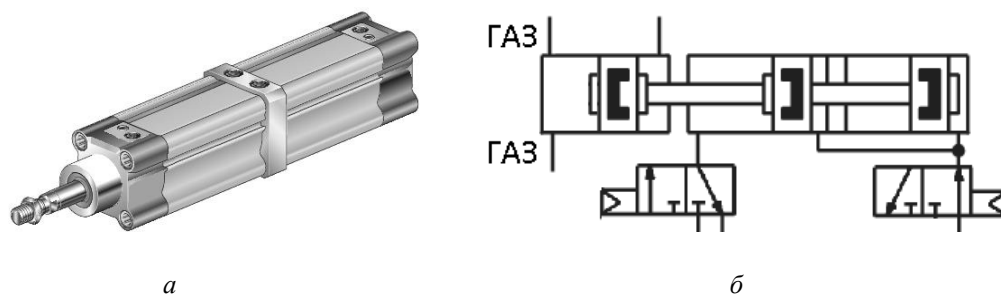


Рис. 4. Типовий пневмоциліндр типу тандем (а) та принцип його застосування в циліндрі-дозаторі

Fig. 4. Typical pneumaticylinder type tandem (a) and the principle of its use in a cylinder-dispenser

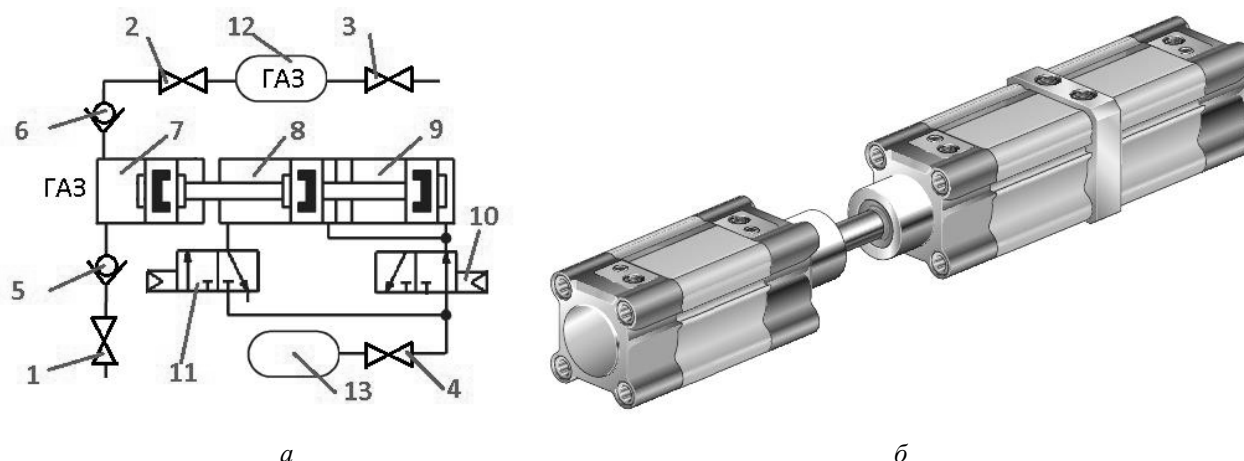


Рис. 5. Пневматична схема відбирання природного газу (а) та зовнішній вигляд циліндра-дозатора із пневматичним приводом (б)

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

### 1.3. Методика проведення відбору проби газу

Методика відбирання проби газу згідно з рис. 5, а полягає у послідовному встановленні циліндра-дозатора 7 з балоном 12 перед газоспоживальним обладнанням, вентиль 1 у комплекті з гнучким шлангом монтується на підвідний трубопровід, а вентиль 3 встановлюється перед обладнанням. Перед початком відбирання проби поршневі розділювачі циліндрів 7, 8 і 9 в крайньому лівому положенні. Наступний етап – операція продування системи для витіснення повітря та заміщення його газом, для цього вентиля 1, 2 і 3 переводять у відкрите положення і за допомогою пневморозподільника 11 та вентиля 4 подають стиснене повітря з балона 13 в циліндр 8, рух поршня якого, за рахунок спільного штока, переміщає поршні циліндрів 7 і 9 у крайнє праве положення. За рахунок встановлення зворотного клапана 6 газ надходить тільки у циліндр 7. Коли поршні досягають крайнього правого положення, здійснюється перемикаання пневморозподільника 10 у режим подавання повітря з балона 13, причому пневморозподільник 11 перемикається у режим, з'єднаний з атмосферним тиском, і після

подавання тиску у циліндр 8 і 9 вони рухаються у крайнє ліве положення. У цей період зворотний клапан 5 не допускає виходу газу в підвідний трубопровід, а клапан 6 забезпечує його рух послідовно через балон 12 до газоспоживального обладнання, у якому здійснюється його спалювання із залишками повітря. Надалі вентиль 3 переводиться у закритє положення і етап відбору – нагнітання за допомогою перемикаання пневморозподільників, коли поршневі розділювачі досягають крайніх положень, повторюється до отримання в балоні 12 необхідного розрахункового об'єму або надлишкового тиску.

Після відбирання та нагнітання проби газу з газопроводу в балон здійснюється його транспортування у лабораторію для проведення послідовного спалювання та визначення теплотворної здатності природного газу. На рис. б наведена схема виконання 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 здійснюється його витіснення з відомою незмінною швидкістю руху поршневого роздільника. Для визначення об'єму природного газу застосовано вимірювач 4, який, для підтримання стабільних умов, додатково обладнано давачем для вимірювання температури газу, що надходить до пальника 5. Враховуючи особливості роботи приладу в реальному газовому середовищі, як вимірювач об'єму природного газу доцільно застосувати еталонний лічильник газу роторного типу з вбудованим елементом вимірювання температури газу, який рухається.

Таке розподілення функцій задавання значення об'ємної витрати газу та визначення його кількості зумовлено декількома об'єктивними особливостями. По-перше: розроблений циліндр-дозатор виконано у вигляді моноблочної конструкції, відповідно, для визначення витісненого об'єму газу його необхідно додатково обладнати вимірювальною лінійкою, що, з урахуванням його конструкції, проблематично, оскільки прямого доступу до штоку немає. По-друге: роторний лічильник газу, за суттю, є пристроєм камерного типу, основне завдання якого полягає у визначенні точної кількості газу, який рухається, а не задавання стабільного значення

об'ємної витрати газу, для чого потрібно здійснювати регулювання обертів лічильника. Разом з тим, необхідно зазначити, що для підвищення точності та зменшення кількості впливових факторів треба розробити задавач та вимірювач значення об'єму та об'ємної витрати газу з урахуванням досвіду застосування поршневих систем, що є метою подальших наукових досліджень для авторів.

### Результати

Отже, під час дослідження теплоти згоряння газу забезпечується вимірювання об'єму, тиску та температури газу, який рухається, для приведення до стандартних умов. Отримані дані застосовують для розрахунку теплоти згоряння природного газу  $H$  відповідно до такої 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,  $\text{м}^3$ ;  $c_W$  – теплоємність рідини,  $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ;  $T_{W1}$ ,  $T_{W2}$  – температура рідини на початку і в кінці дослідження,  $\text{К}$ ;  $V_G$  – об'єм спожитого газу,  $\text{м}^3$ ;  $P_G$  – надлишковий тиск газу,  $\text{Па}$ ;  $P_A$  – атмосферний тиск,  $\text{Па}$ ;  $T_G$  – температура газу,  $\text{К}$ ;  $T_A$  – температура навколишнього середовища,  $\text{К}$ .

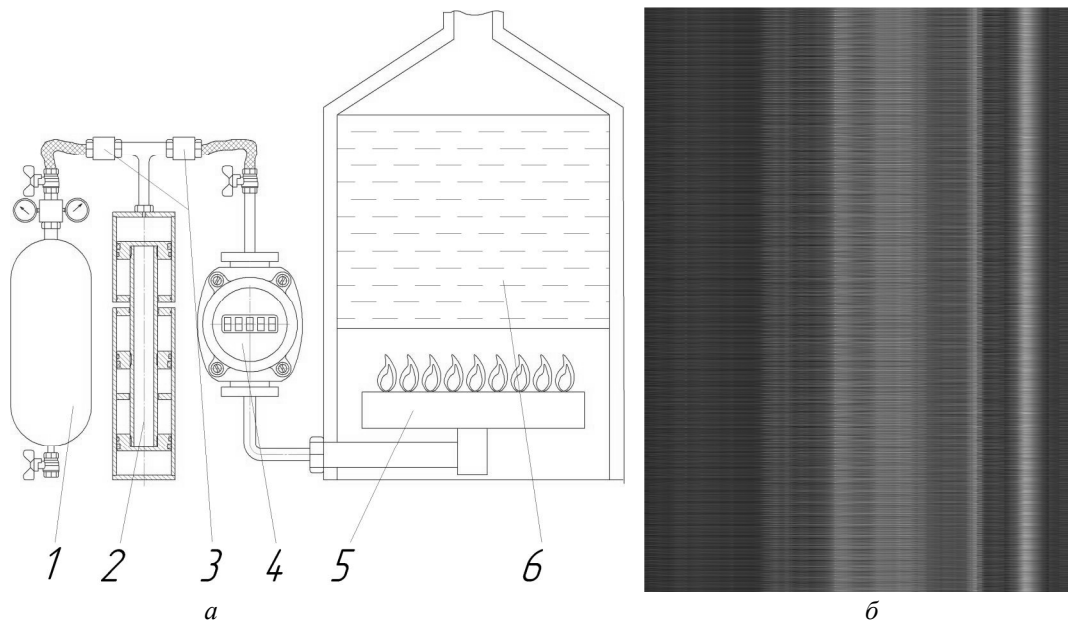


Рис. 6. Схема вимірювань теплоти згоряння природного газу за допомогою калориметра (а) та зовнішній вигляд вимірювача кількості природного газу (б): 1 – балон з відібраною пробою газу і вузол редукування та вимірювання тиску газу, 2 – циліндр-дозатор; 3 – зворотні клапани; 3 – вимірювач кількості природного газу із вбудованою функцією вимірювання температури газу, 4 – пальник лабораторного калориметра, 5 – термоізований теплообмінник

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)

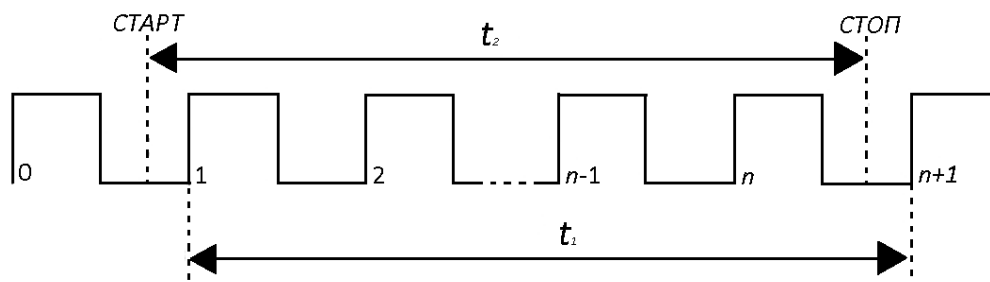


Рис. 7. Реалізація процедури імпульсної інтерполяції для урахування частин імпульсу від еталонного лічильника

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

Оскільки під час проведення відбирання та послідовного витіснення проби з балона об'єм відібраного газу порівняно невеликий, для підвищення точності вимірювання його об'єму необхідно обладнати еталонний лічильник формувачем високо-частотних вихідних сигналів, що дасть можливість відсікати з високою точністю необхідну кількість газу. Крім того, під час оброблення вихідного сигналу необхідно передбачити процедуру імпульсної інтерполяції (рис. 7) для врахування частин імпульсу, згідно з формулою:

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

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

Отже, об'єм спалюваного у пальнику калориметра газу  $V_G$ , з урахуванням формули (4), визначатиметься за таким співвідношенням:

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

де  $K_M$  – коефіцієнт перетворення еталонного лічильника газу, імп. / м<sup>3</sup>, який визначається під час калібрування лічильника.

## Висновки

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

## Конфлікт інтересів

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

## Список літератури

1. Schley P., Beck M., Uhrig M., Sarge S. M., J. Rauch, Haloua F., Filtz J.-R., Hay B., Yakoubi M., Escande J., Benito A., Cremonesi P. L. Measurements of the Calorific Value of Methanewith the New GERG Reference Calorimeter // *International Journal of Thermophysics* May 2010. Vol. 31. Issue 4–5. P. 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. – 55 с.
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. – 131 с.
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 р. № 2493.
6. Природний газ. Наставниці щодо відбирання проб (ISO 10715:1997, IDT): ДСТУ ISO 10715:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 36 с.
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 Всеукр. наук.-техн. конфер. молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018», 13–18 лютого 2018 року: тези доповідей*. – К.: 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 між нар. наук.-техн. конфер. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазпромислового обладнання»: зб. тез доповідей*. – Івано-Франківськ: Факел, 2017. – С. 93–95.

## References

1. Schley P., Beck M., Uhrig M., Sarge S.M., J. Rauch, Haloua F., Filtz J.-R., Hay B., Yakoubi M., Escande J., Benito A., Cremonesi P. L. *Measurements of the Calorific Value of Methane with the New GERG Reference Calorimeter // International Journal of Thermophysics* May 2010. Vol. 31. Issue 4–5. P. 665–679.
2. *Natural gas. Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition (ISO 6976:1995/Cor.2:1997, Cor.3:1999, IDT): DSTU ISO 6976:2009. – [Effective as of 2011-01-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukraine, 2010. – 55 p.*
3. *State building codes Ukraine. Engineering equipment of buildings and structures. External networks and facilities. Gas supply: DBN V.2.5-20-2001. – [Effective as of 2001-08-01]. – K.: Derzhbud Ukraine, 2001. – 131 p.*
4. Petryshyn I. S. *Research the natural gas energy value to domestic household sector consumers / I. S. Petryshyn, T. I. Prysyazhnyuk, O. A. Bas // Metrology and devices. – 2015. – No. 6 (56). – P. 42–49.*
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. September 30, 2015, No. 2493.*
6. *Natural gas. Sampling guidelines (ISO 10715:1997, IDT): DSTU ISO 10715:2009. – [Effective as of 2011-01-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukraine, 2010. – 36 p.*
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. *Petrishin I. S. Method of organization of samples and measurement gas characteristics for a laboratory calorimeter / I. S. Petryshyn, O. A. Bas, L. O. Prisyajnyuk // IV All-Ukrainian scientific and technical conference of young scientists in the field of metrology "Technical Use of Measurement - 2018", February 13–18, 2018: abstracts of reports. – Kyiv: Academy of Metrology of Ukraine, 2018. – C. 67–68.*
9. *Petrishin I. S. Portable gas calorimeter direct action / I. S. Petryshyn, O. A. Bass, L. O. Prisyajnyuk // VIII International Scientific and Technical Conference "Modern Instruments, Materials and Technologies for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics of Machine-Building and Oil and Gas Equipment", Sb. Abstract theses, Ivano-Frankivsk: Torch, 2017. – P. 93–95.*