



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **120069**

(13) **U**

(51) МПК

**G01F 1/32** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2017 03173**

(22) Дата подання заявки: **03.04.2017**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.10.2017**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.10.2017, Бюл.№ 20**

(72) Винахідник(и):

**Прокопенко Олена Олександрівна (UA)**

(73) Власник(и):

**УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА  
АКАДЕМІЯ,**

вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003  
(UA)

## (54) АНАЛІЗАТОР СКЛАДУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

### (57) Реферат:

Аналізатор складу природного газу містить корпус, збудник вібрації і датчик вимірювання частоти коливань корпусу (п'єзоакселерометр), смуговий фільтр, плату АЦП з комп'ютером, дзвінок. Додатково містить редуктор з трубою, що з'єднують газопровід з корпусом калориметра, датчики температури і тиску, які разом із п'єзоакселерометром зв'язані з підсилювачем заряду.

**UA 120069 U**

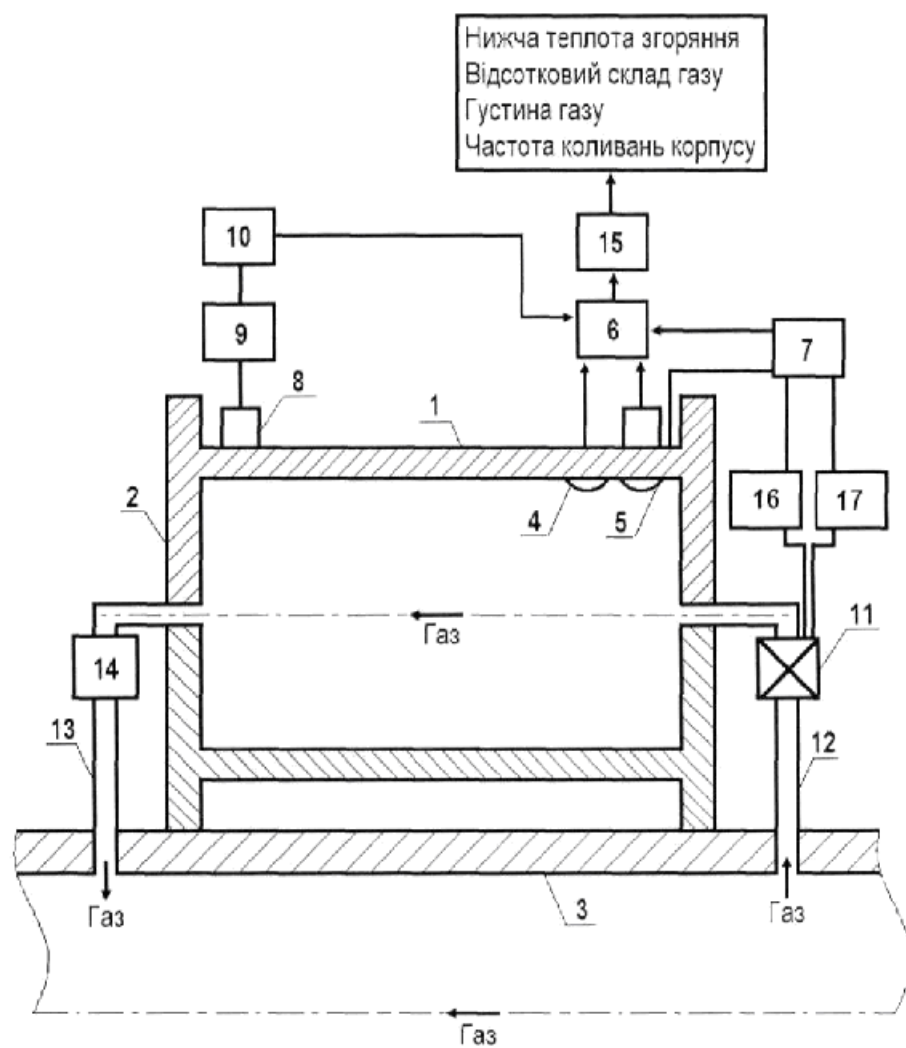


Fig.

Корисна модель належить до галузі приладобудування, а саме до пристроїв для вимірювання витрати рідких і газоподібних середовищ, і може бути використаною для нормування, контролю і обліку витрати природного газу за калорійністю на компресорних станціях, газоперекачувальних агрегатах в процесі експлуатації, до і після ремонту.

Відомий пристрій для контролю витрати турбулізатором для вимірювання частоти зриву вихорів циліндрового типу, виконаний з кінцями, які виведені через стінку корпусу і грають роль датчиків вібрації. Дані вібрації надходять через ряд перетворювачів (підсилювач заряду, смуговий фільтр, плату АЦП) на комп'ютер, де визначають витрати газу [1].

Недолік пристрою: в таких приладах автоспектр пульсації тиску газу є розкиданим, що не дає можливості точного виміру витрати газу.

Відомий диференціальний датчик густини (аналог), що містить два здвоєні камертони із збудниками, встановленими між гілками камертонів [2]. Знімання сигналів коливання гілок здійснюється вібродатчиками з передачею сигналу до змішувача частот і вимірювального приладу. Збудження автоколивань камертона здійснюється із застосуванням магнітокерованих контактів.

Недоліком аналогу є відсутність вимірювання швидкості потоку газу, що не дозволяє обчислити масову витрату.

Прототипом по технічній суті і результату, що досягають, є вихровий витратомір природного газу [3].

Поставлена в прототипі задача вирішується тим, що у вихровий витратомір, який містить корпус з турбулізатором і електромагнітними датчиками, підсилювач заряду, смуговий фільтр, плату АЦП і комп'ютер, встановлено турбулізатор, який виконаний у вигляді трикутної призми, закріплений на поворотній вертикальній осі, взаємодіє з розташованими за ньому на відстані, яка дорівнює величині зони вихроутворення, електромагнітним датчиком з мембраною, що має резонанс на частоті, яка дорівнює власній частоті акустичного сигналу, які зв'язані через підсилювач заряду, смуговий фільтр і плату АЦП з комп'ютером.

Електромагнітна сила, яка діє на соленоїд і яку сформовано електромагнітним датчиком, створює послідовність прямокутних механічних ударних імпульсів, частота проходження яких дорівнює частоті зриву вихорів, і яка порушує автоколивання корпусу витратоміру на його власній частоті. Амплітуду автоколивань корпусу фіксують п'єзоакселерометром з подальшим спектральним аналізом вібрації корпусу, що після обробки спектра вібрації дозволяє виділити частоту зриву вихорів турбулізатора і власну частоту коливань корпусу. Отримані таким чином частоти є однозначно пов'язаними з масовою витратою природного газу.

Недоліком прототипу є відсутність можливості вимірювання складу природного газу і густини окремих компонент природного газу (метану, бутану, пропану), які є вихідними даними для обчислення теплоти згоряння (калорійності) природного газу.

В основу корисної моделі поставлена задача поєднати в одній конструкції вібраційний щільномір та пристрій для визначення густини окремих компонент природного газу за законом Менделєєва-Клайперона з використанням температури і тиску.

Поставлена задача вирішується тим, що аналізатор складу природного газу, що містить корпус, збудник вібрації і датчик вимірювання частоти коливань корпусу (п'єзоакселерометр), смуговий фільтр, плату АЦП з комп'ютером, дзвінок, додатково містить редуктор з трубою, що з'єднує газопровід з корпусом калориметру, датчики температури і тиску, які разом із п'єзоакселерометром зв'язані з підсилювачем заряду.

Суть корисної моделі пояснює креслення.

На кресленні показана схема аналізатора складу природного газу.

Аналізатор складу природного газу містить корпус 1 з фланцями 2, які закріплені на газопроводі 3 і забезпечують жорстке кріплення корпусу аналізатору на газопроводі. Усередині корпусу аналізатору природного газу розташовано датчики тиску 4 і температури 5, сигнал з яких надходить на АЦП 6. На корпусі 1 встановлено дзвінок 7 і вібродатчик 8, сигнал з якого надходить в АЦП 6 через підсилювач заряду 9 і смуговий фільтр 10. Тиск газу в аналізаторі природного газу регулюють за допомогою редуктора 11, сполученого з корпусом 1 і газопроводом 3 трубою 12. Корпус з'єднаний з газопроводом 3 трубою 13 з краном 14. Аналіз результатів вимірювань: склад, теплоту згоряння (калорійність) та число Вобле природного газу здійснюють в комп'ютері 15. Аналізатор складу природного газу має пристрій ручного управління 16 і автоматичного управління 17.

Робота аналізатора природного газу відбувається наступним чином. Перекривають кран 14. Редуктор 11 змінює тиск газу усередині корпусу 1 на фіксовану величину. Зміна тиску і температури газу фіксуються датчиками 4 і 5, сигнали з яких надходять в АЦП 6. Дзвінок 7 збуджує автоколивання корпусу 1, заповненого газом. Власну частоту коливань корпусу,

заповненого газом, фіксують вібрдатчиком 8, сигнал з якого надходить в АЦП 6. Оброблений сигнал з АЦП 6 надходить в комп'ютер 15.

Зміна тиску природного газу в аналізаторі складу природного газу призводить до зміни температури і власної частоти механічних коливань, збуджених дзвінком. Тиск, температура і амплітуда автоколивань корпусу, порушуваних дзвінком, фіксуються датчиками тиску, температури і вібрації з наступним спектральним аналізом вібрації, що після обробки сигналів в персональному комп'ютері (ПК) дозволяє виділити власну частоту автоколивань. Отримана таким чином частота є однозначно пов'язаною із загальною густиною природного газу, що транспортується по газопроводу.

Виміряні тиск і температура дозволяють визначити густину компонент природного газу. Порівняння загальної густини, визначеної з допомогою вібрдатчика, з густинами окремих компонент природного газу дозволяє обчислити процентний склад природного газу та теплоту його згорання.

Густину газу, а, отже, і масову витрату, визначають з співвідношення, що зв'язує різницю частот між власною частотою корпусу порожнього аналізатора і аналізатора з газом  $\Delta f$  з густиною газу:

$$\Delta f = f_{c.в.} - f_{c.г.} = f_{c.в.} \alpha; \alpha = m_r / 2m_m; (1)$$

(див. прототип),

де  $f_{c.в.}$ ,  $f_{c.г.}$  - власна частота порожнього корпусу аналізатора і корпусу з газом;

$m_r$ ,  $m_m$  - маса порожнього корпусу і газу.

Для циліндрового корпусу, який заповнено природним газом з робочим тиском  $P$ , відношення мас ( $\alpha$ ) дорівнює:

$$\alpha = \frac{\rho_{г.н.} \cdot d_0 \cdot P}{4\rho_m \cdot h}, (2)$$

де  $\rho_{г.н.}$ ,  $\rho_m$  - густина газу за нормальних умов і густина матеріалу аналізатора;

$h$ ,  $d_0$  - товщина стінки і внутрішній діаметр корпусу аналізатора природного газу (див. креслення);

$P$  - тиск робочого середовища (газу) при подачі природного газу у аналізатор природного газу.

Із співвідношень (1) і (2) отримаємо вираз для визначення густини газу за нормальних умов і з робочим тиском  $P$  у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{г.н.} &= \frac{4\Delta f \rho_m h}{P d_0} \\ \rho_{г.} &\cong \rho_{г.н.} \cdot P \end{aligned} \right\}, (3)$$

де  $\Delta \tilde{f} = \frac{f_{c.в.} - f_{c.г.}}{f_{c.в.}}$  - відносна частота.

Густина реального природного газу  $\rho_{г.}$  залежить від компонентного складу та дорівнює сумі густин окремих компонент помножених на відсоткові вмісти компонент ( $x_i$ ):

$$\rho_{г.} = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot x_i, (4)$$

де  $\rho_i$  - густина  $i$ -го компоненту природного газу.

Густину окремих компонент реального природного газу визначають з врахуванням фактору стисливості газу  $z$  за формулою [4]:

$$\rho_i = \frac{10^3 \cdot \mu_i \cdot P}{R \cdot T \cdot z}, (5)$$

де  $T = 273,15 + t$ ;  $t$  - температура газу у градусах Кельвіна та Цельсія;

$\mu_i$  - молярна маса окремих компонентів газу;

$R$  - газова стала (постійна величина).

Практично в формулі значення густини газу залежить від густини газу за стандартних умов  $\rho_c$ :

$$\rho_{г.} = \frac{\rho_c \cdot P \cdot T_c}{R \cdot T \cdot K},$$

де  $K = \frac{z}{z_c}$  - відносний коефіцієнт стисливості;

$z, z_c$  - фактори стисливості відповідно за робочих в стандартних умов.  $T_c$  - температура газу за стандартних умов ( $t_c = 20^\circ\text{C}; P_c = 1\text{ата}$ ).

Густина газу за стандартних умов визначають при  $P = P_c$  і  $T = T_c$  згідно з рівнянням:

$$\rho_c = \frac{10^3 \cdot \mu \cdot P}{R \cdot T_c \cdot z_c}$$

Як правило компонентний склад природного газу є відомим в конкретному газотранспортному управлінні. Він складений з  $n$  компонент.

За допомогою редуктору утворюють  $n$  режимів тиску і вимірюють  $n$  параметрів тиску, температури і вібрації (див. густини за формулою (3)). Після цього обчислюють загальну густину газу за формулою (3) і густини компонентів за формулою (5). Складають лінійні рівняння (4) та вирішують його на ПК відносно  $x_i (i = n)$ . Таким чином визначають відсотковий склад газу  $x_i$ .

Результати розрахункових випробувань аналізатора для природного газу Боярського і Лубенського ЛВУ УМГ Київтрансгаз приведені у табл. 1 і табл. 2, де показано зсуви частот автоколивань для газу різного складу  $x_i$  при різних тисках.

Для експрес-оцінки складу газу застосовано наближену формулу, де умовно вважали, що газ складається з метану, який характеризує (представляє) усі вуглеводні, вуглекислого газу та азоту. Такий підхід (спрощення) обумовлений тим, що для більшості вуглеводнів ступінь стисливості розраховується з великими похибками.

Таблиця 1

Результати розрахунків зміни власної частоти коливань аналізатора природного газу природного газу в залежності від тиску та компонентного складу (Лубенське ЛВУМГ)

Склад газу	CH <sub>4</sub> -91,7 %; N <sub>2</sub> -1,44 %; CO <sub>2</sub> -1,28 %; C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> -4,23 %; C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> -0,96 % i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> -0,1 %; n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> -0,15 %; i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> -0,04 %; n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> -0,03 %; C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> -0,06 %									
Температура, С	293,15									
Тиск, ат	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Зміна частоти, Гц	9,056	45,965	95,491	140,970	195,627	236,537	306,002	276,854	380,397	466,142
Густина газу при ст. у., кг/м <sup>3</sup>	0,733									
Нижча теплота згоряння, кКал	8224,455									
Число Вобле нижче, кКал/м <sup>3</sup>	10543,725									
Вища теплота згоряння, кКал	9110,929									
Число Вобле вище, кКал/м <sup>3</sup>	11680,182									

Таблиця 2

Результати розрахунків зміни власної частоти коливань аналізатора природного газу природного газу в залежності від тиску та компонентного складу (Боярське ЛВУМГ)

Склад газу	CH <sub>4</sub> -93,26 %; N <sub>2</sub> -1,13 %; CO <sub>2</sub> -0,98 %; C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> -3,42 %; C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> -0,87 % i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> -0,1 %; n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> -0,14 %; i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> -0,03 %; n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> -0,02 %; C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> -0,03 %									
Температура, °С	293,15									
Тиск, ат	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Зміна частоти, Гц	8,898	45,079	92,617	138,971	191,347	234,664	300,461	275,889	372,212	454,828
Густина газу при ст. у., кг/м <sup>3</sup>	0,701									
Нижча теплота згоряння, кКал	8162,982									

Продовження таблиці 2

Число Вобле нижче, кКал/м <sup>3</sup>	10700,506
Вища теплота згоряння, кКал	9049,945
Число Вобле вище, кКал/м <sup>3</sup>	11863,187

Для наближеної оцінки нижчу та вищу теплоту згоряння газу ( $H_H$  і  $H_B$  відповідно) обчислюють за такими формулами:

$$H_H = 84,45(0,522 \cdot \rho_C + 0,042 - 0,652 \cdot x_a - x_y);$$

$$H_B = 92,82(0,514 \cdot \rho_C - 0,056 - 0,657 \cdot x_a - x_y).$$

Значення відносних компонент газу  $x_r$ ,  $x_y$ ,  $x_a$  визначають рішення рівняння (4) при  $n = 3$ .

За результатами вимірювань частоти коливань корпусу, температури і тиску корисної моделі на комп'ютері було обчислено калорійність, склад та число Вобле [4] для природного газу у двох ЛВУМГ: Лубенському і Боярському, результати наведено у табл. 3 і табл. 4.

Таблиця 3

Результати розрахунків зміни власної частоти коливань аналізатора природного газу в залежності від тиску та компонентного складу (Лубенське ЛВУМГ)

Склад газу	Метан - 92 % Азот - 6 % Вуглекислий газ - 2 %		
Температура, С	293,15		
Тиск, ат	1	30	60
Зміна частоти, Гц	8,9	281,8	687,1
Тиск, ат	1	15	30
Зміна частоти, Гц	8,9	136,8	281,8
Тиск, ат	1	8	15
Зміна частоти, Гц	8,9	72	136,8
Густина газу при ст. у., кг/м <sup>3</sup>	0,72		
Нижча теплота згоряння, кКал	7333,57		
Число Вобле нижче, кКал/м <sup>3</sup>	9485,11		

Таблиця 4

Результати розрахунків зміни власної частоти аналізатора природного газу природного газу в залежності від тиску та компонентного складу (Боярське ЛВУМГ)

Склад газу	Метан - 98 % Азот - 1 % Вуглекислий газ - 1 %		
Температура, °С	293,15		
Тиск, ат	1	30	60
Зміна частоти, Гц	8,4	267,7	639,2
Тиск, ат	1	15	30
Зміна частоти, Гц	8,4	129,9	267,7
Тиск, ат	1	8	15
Зміна частоти, Гц	8,4	68,4	129,9
Густина газу при ст. у., кг/м <sup>3</sup>	0,567		
Нижча теплота згоряння, кКал	7814,53		
Число Вобле нижче, кКал/м <sup>3</sup>	10373,53		

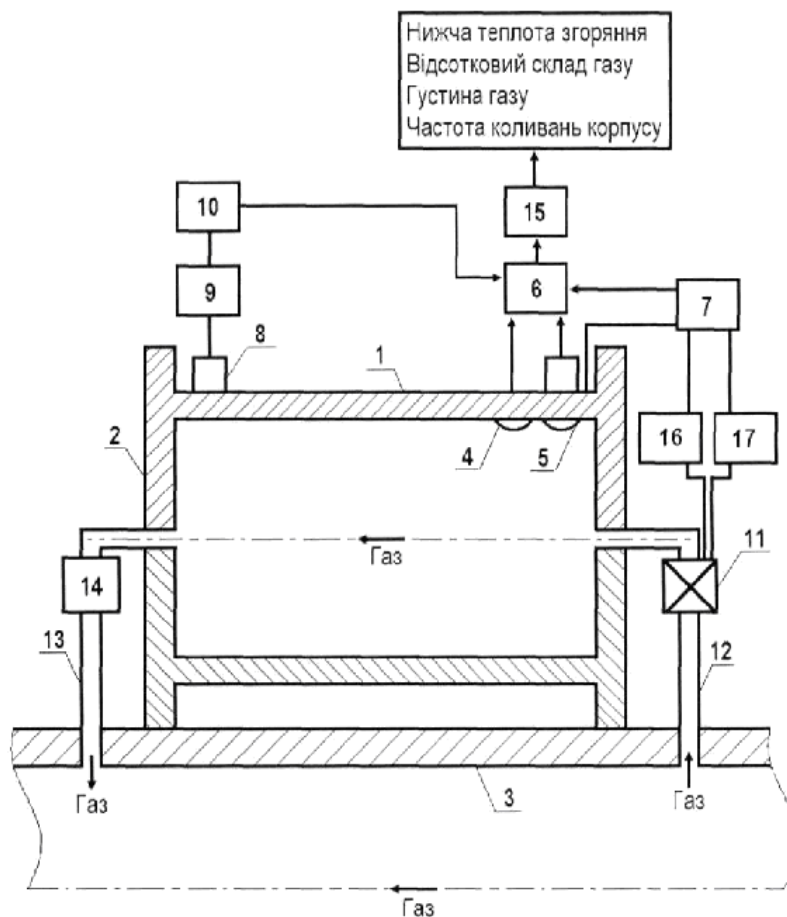
Корисна модель дозволяє спростити і прискорити експрес-аналіз складу природного газу та використовувати аналізатори природного газу в системах безперервного контролю.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ:

1. Заявка Японії № 272922, МКИ G01F 1/32, опубл. 31.10.89 г.
2. Дифференциальный вибрационный плотномер [а.с. СРСР № 1392451 МКИ G01N 9/00 опубл. 30.04.88 г. - Бюл. № 16]
3. Патент України № 100483 МКИ G01F 1/32 (2006.01), опубл. 27.07.2015 р. - Бюл. № 14.
4. Андрієшин М.П. і др. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник. - Івано-Франківськ: ПП. "Сімик", 2004. - 160 с.

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Аналізатор складу природного газу, що містить корпус, збудник вібрації і датчик вимірювання частоти коливань корпусу (п'єзоакселерометр), смуговий фільтр, плату АЦП з комп'ютером, дзвінок, який **відрізняється** тим, що містить редуктор з трубою, що з'єднують газопровід з корпусом калориметра, датчики температури і тиску, які разом із п'єзоакселерометром зв'язані з підсилювачем заряду.



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601