



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 91262

(13) C2

(51) МПК (2009)  
G01F 1/34МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ТРАНСПОРТОВАНОГО ГАЗУ

1

2

(21) а200810877

(22) 04.09.2008

(24) 12.07.2010

(46) 12.07.2010, Бюл.№ 13, 2010 р.

(72) ХИМКО МИРОСЛАВ ПЕТРОВИЧ, ПЕНЗІЙ  
ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ФИК ІЛЛЯ МИХАЙЛОВИЧ,  
ПОНОМАРЬОВ ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, ГРЕ-  
СЄВ ІГОР ПАВЛОВИЧ, КОТОК ВАЛЕРІЙ БОРИ-  
СОВИЧ, СЕНДЕРОВ ОЛЕГ ОЛЕКСАНДРОВИЧ,  
ТЕВЯШЕВА ОЛЬГА АНДРІЇВНА, БАНТЮКОВ ЄВ-  
ГЕН МИКОЛАЙОВИЧ(73) ДОЧІРНЯ КОМПАНІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКЦІ-  
ОНЕРНОЇ КОМПАНІЇ "НАФТОГАЗ УКРАЇНИ" ДК  
"УКРТРАНСГАЗ"

(56) UA 34698 C2; 15.07.2003

SU 1215008; 28.02.1986

SU 1490490 A1; 30.06.1989

SU 614327; 05.07.1978

US 5396807; 14.03.1995

DE 4339197 A1; 18.08.1994

GB 2085597 A; 28.04.1982

US 5365795; 22.11.1994

(57) Спосіб визначення витрати транспортного  
газу, який включає вимірювання тиску газу на по-

чатку  $P_n$  і наприкінці  $P_k$  ділянки газопроводу і тем-  
ператури газу на початку  $T_n$  і наприкінці  $T_k$  ділянки,  
визначення відносної густини газу за повітрям  $\Delta$  і  
розрахунок витрати газу  $Q$  через ділянку газопро-  
воду, який **відрізняється** тим, що додатково ви-  
значають коефіцієнт гідравлічного опору  $\lambda$ , а ви-  
трату газу  $Q$  через ділянку газопроводу  
розраховують за формулою

$$Q = KD^{2,6} \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{Z \cdot T_{cp} \Delta \cdot \lambda \cdot L}}, \text{ де}$$

 $D$  - внутрішній діаметр труби газопроводу, мм; $L$  - довжина ділянки газопроводу, км; $Z$  - коефіцієнт стисливості газу; $T_{cp}$  - середня температура газу на ділянці газопро-  
воду, К;

$$K = \frac{\pi}{4} \frac{T_{ст}}{P_{ст}} \sqrt{R_{возд}} - \text{коефіцієнт приведення до ста-}$$

ндартних умов:

 $T_{ст} = 293 \text{ К}$  - стандартна температура; $P_{ст} = 101,3 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$  - стандартний тиск; $R_{возд} = 287,1 \text{ м}^2/(\text{с}^2 \text{ К})$  - газова стала повітря.

Передбачуваний винахід належить до техніки  
виміру витрати рідких і газоподібних середовищ і  
призначений для оперативного визначення витрат  
газу, що транспортується через ділянку магістрального  
газопроводу.

Відомий спосіб визначення витрати газу, що  
транспортується (А. с. СРСР №1215008, кл.  
G01F1/34, 1986. Бюл №8) у системі газопроводів,  
що включає вимір тиску і температури газу на вхо-  
ді і виході нагнітача, числа обертів нагнітача і роз-  
рахунок витрати газу через нагнітач при спільному  
використанні паспортної залежності нагнітача  
 $\eta_i / \gamma_{н.ін} = f(Q_{пр})$  і залежності, що зв'язує параметри  
газу, що транспортується,

$$\eta_i / \gamma_{н.ін} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{ZRT}{6120} \left[ \left( \frac{P_{вых}}{P_{вх}} \right)^A - 1 \right] \left( \frac{n_{ном}}{n} \right)^2 Q_{пр}$$

де:  $A = \lg(T_{вых}/T_{вх}) / \lg(P_{вых}/P_{вх})$ ; $\eta_i / \gamma_{н.ін} = f(Q_{пр})$  - приведена відносна внутрі-  
шня потужність нагнітача квт/(кг/м<sup>3</sup>); $\gamma_{н.ін}$  - густина газу на вході в нагнітач при умовах  
всмоктування, кг/м<sup>3</sup>; $Q_{пр}$  - об'ємна витрата газу, приведена до умов  
приведених характеристик нагнітача, м<sup>3</sup>/хв; $k$  - показник адиабати газу; $Z$  - коефіцієнт стисливості газу, що транспор-  
тується, при умовах всмоктування; $R$  - газова постійна, кг·м/(кг·К); $P_{вх}$  і  $P_{вых}$  - відповідно тиск газу на вході і виході  
нагнітача, кгс/см<sup>2</sup>; $T_{вх}$  і  $T_{вых}$  - відповідно температура газу на вхо-  
ді і виході нагнітача, К; $n_{ном}$  і  $n$  - номінальне і фактичне число обертів  
нагнітача відповідно, об/хв.

(13) C2

(11) 91262

(19) UA

Даний спосіб визначення витрати газу, що транспортується, так само, як і спосіб визначення витрати газу, що транспортується, який заявляється, включає вимір тиску і температури газу. Однак, відсутність виміру тиску і температури газу на вході і виході ділянки, визначення коефіцієнта гідравлічного опору -  $\lambda$  і розрахунку витрати газу -  $Q$  через ділянку газопроводу по приведеній формулі зводить до функціональних можливостей даного способу, тому що не дозволяє визначати витрату газу через ділянку магістрального газопроводу у тих випадках, коли на ділянці працюють більш одного нагнітача.

Відомий спосіб визначення витрати газу по нитках газопроводу з міжнитковими перемичками (А. с. СРСР №1490490. кл. G01F1/34, 1989. Бюл №24). підключеними до виходів установок охолодження газу компресорних станцій, що включає вимір температури газу за міжнитковими перемичками і на виході установок охолодження газу, зміну режиму роботи однієї або декількох установок охолодження, вимір після стабілізації температурного режиму протікання газу по нитках температури газу за міжнитковими перемичками і на виході тих установок охолодження, режим яких був змінений, і визначення витрати газу по кожній з ниток трубопроводу шляхом вирішення системи з  $n$  рівнянь виду

$$Q_{ni} = Q_i \pm \sum Q_{nj}$$

$$Q_{ni} (T_{ni} - T_{yi}) = Q_i (T_{yi} - T_{yi}) \pm \sum Q_{nj} (T_{nj} - T_{yj})$$

де:

$Q_{ni}$  - витрата газу по  $i$ -й нитці газопроводу;

$Q_i$  - витрата газу через  $i$ -у установку охолодження;

$q_{ni}$  - витрата газу по  $j$ -й перемичці;

$T_{ni}, T_{yi}$  - відповідно температура газу в  $i$ -й нитці газопроводу за між нитковою перемичкою до і після зміни режиму роботи установок охолодження;

$T_{yi}, T_{yj}$  - відповідно температура газу на виході  $i$ -ої установи охолодження газу до і після зміни режиму роботи установок охолодження;

$T_{nj}, T_{yj}$  - відповідно температура газу в  $j$ -й перемичці установи охолодження газу до і після зміни режиму роботи установок охолодження, що дорівнює найбільшій з температур на виході установок охолодження газу, з якими через нитки газопроводу з'єднана  $j$ -а перемичка;

$i$  - порядковий номер нитки газопроводу;

$j$  - порядковий номер міжниткової перемички.

при цьому вибір установок охолодження, режим яких змінюється, здійснюють виходячи з умови з'єднання їхніх виходів з міжнитковими перемичками газопроводу, при якій забезпечується зв'язок кожної перемички, принаймні, одним її кінцем через нитку газопроводу з виходом однієї з цих установок охолодження газу.

Даний спосіб визначення витрати газу по нитках газопроводу з міжнитковими перемичками так само, як і спосіб визначення витрати транспортного газу, що заявляється, включає вимір температури газу на вході ділянки газопроводу (тем-

ператури газу за міжнитковими перемичками і на виході установок охолодження газу). Однак, відсутність виміру тиску газу на вході, тиску і температури газу на виході ділянки, визначення густини газу, коефіцієнта гідравлічного опору -  $\lambda$  і розрахунку витрати газу -  $Q$  через ділянку газопроводу по приведеній формулі не дозволяє оперативно визначити витрату газу через ділянку.

Найбільш близьким по технічній сутності є спосіб визначення витрати газу, що транспортується, (Патент України №34698, кл. G01F1/34. Бюл, №7. 2003). який включає вимір тиску, температури і витрати газу на вході ділянки і тиску і температури газу на виході ділянки, визначення абсолютної густини газу на вході ділянки, газової постійної і середніх і приведених значень тиску і температури на ділянці і розрахунок витрати газу через ділянку по формулі:

$$Q_y = Q + Q_{пр} + \delta W - Q_{пот}$$

де:  $Q$  - витрата газу на вході в ділянку трубопроводу;

$Q_{пр}$  - витрата газу по притоках (доборах) на ділянці газопроводу;  $Q_{пот}$  - витрата по технологічних втратах газу на ділянці, кг/с;

$\delta W$  - зміна запасу газу в трубі за одиницю часу;

$Z$  - коефіцієнт стисливості газу;

$$Z = 1 - P_{пр} \cdot ((0,04 \cdot P_{пр} - 0,41) / T_{ин}^2 - 0,61) / T_{пр}$$

$T_{ср}$  - середнє значення температури газу на ділянці трубопроводу;  $K$ ;

$P_{ср}$  - середнє значення тиску газу на ділянці трубопроводу, кгс/см<sup>2</sup>;

$f$  - площа поперечного перерізу труби, м<sup>2</sup>;

$l$  - довжина контрольованої ділянки трубопроводу, м;

$P_{пр}$  і  $T_{пр}$  - приведені значення тиску і температури газу відповідно.

Даний спосіб визначення витрати газу, що транспортується, так само, як і спосіб визначення витрати транспортного газу, що заявляється, включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході ділянки, визначення густини газу і розрахунок витрати газу через ділянку як пропускної здатності ділянки. Однак, відсутність визначення коефіцієнта гідравлічного опору -  $\lambda$  і розрахунку витрати газу -  $Q$  через ділянку газопроводу по приведеній формулі не дозволяє оперативно визначати витрату газу через ділянку, тому що визначення значень витрати газу на вході ділянки, витрати газу на технологічні втрати - витрати газу на власні потреби на ділянці і запасу газу здійснюється за фіксований інтервал часу, рівний, наприклад одній або двом годинам.

В основу передбачуваного винаходу поставлена задача удосконалення способу визначення витрати газу, що транспортується, шляхом розширення його функціональних можливостей, за рахунок отримання можливості визначення витрати газу оперативно в режимі реального часу.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомий спосіб визначення витрати газу, що транспортується, який включає вимір тисків газу на початку -  $P_n$  і наприкінці -  $P_k$  ділянки і температур газу на початку -  $T_n$  і наприкінці -  $T_k$  ділянки, визначення відносної густини газу по повітрю  $\Delta$  і розрахунок

витрати газу - Q через ділянку. Згідно з винаходом введені визначення коефіцієнта гідравлічного опору -  $\lambda$  і розрахунок витрати газу - Q через ділянку газопроводу по формулі

$$Q = KD^{2,6} \sqrt{\frac{P_H^2 - P_K^2}{Z \cdot T_{cp} \Delta \cdot \lambda \cdot L}}, \text{ де:}$$

D - внутрішній діаметр труби газопроводу, мм;

L - довжина ділянки газопроводу, км;

Z - коефіцієнт стисливості газу;

$P_{cp}$  - середній тиск на ділянці, кгс/см<sup>2</sup>;

$T_{cp}$  - середня температура на ділянці, К;

$$K = \frac{\pi}{4} \frac{T_{ст}}{P_{ст}} \sqrt{R_{возд}} - \text{коефіцієнт приведення до}$$

стандартних умов:

$T_{ст}=293$  К - стандартна температура;

$P_{ст}=101,3 \cdot 10^3$  Н/м<sup>2</sup> стандартний тиск;

$R_{возд}=287,1$  м<sup>2</sup>/(с<sup>2</sup>К) - газова постійна повітря.

Введення визначення коефіцієнта гідравлічного опору -  $\lambda$  і розрахунку витрати газу - Q через ділянку газопроводу по наведеній формулі розширює функціональні можливості способу, тому що дозволяє визначати витрату газу через ділянку як пропускну здатність ділянки в оперативному режимі тільки за обмірюваними значеннями тисків і температур газу на початку і наприкінці ділянки газопроводу, не використовуючи значення витрати газу на вході на ділянку, витрати на технологічні втрати газу - витрати на власні потреби на ділянці і запасу газу, які оперативно в режимі реального часу визначити не можна.

Спосіб визначення витрати газу, що транспортується, реалізується в такий спосіб.

Попередньо, у моменти часу, встановлені регламентом технологічного процесу, наприклад, один раз на добу, визначають лабораторним шляхом або вимірюють (при наявності відповідних датчиків) густину газу за нормальних умов, по якій розраховують відносну густину газу по повітрю -  $\Delta$ . Також попередньо, у встановлені моменти часу, наприклад у перший день місяця, і способом, установленим регламентом технологічного процесу на даному газопроводі, визначають значення коефіцієнта гідравлічного опору -  $\lambda$ .

Визначення витрати газу, що транспортується, здійснюється або періодично з установленим періодом, або по командах оперативного персоналу при виникненні необхідності.

При надходженні команди на проведення визначення витрати газу вимірюють тиск -  $P_H$  і температуру -  $T_H$  на початку і тиск -  $P_K$  і температуру -  $T_K$  на кінці ділянки. За значеннями цих обмірюваних параметрів обчислюють середні значення тис-

ку  $P_{cp}$  і температури  $T_{cp}$  і коефіцієнта стисливості газу Z, наприклад, по формулах:

$$P_{cp} = \frac{2}{3} (P_H + \frac{P_K^2}{P_H + P_K}), T_{cp} = \frac{2}{3} (P_H + \frac{T_H + T_K}{2}),$$

$$Z = 1 - 5,5 \cdot 10^{-6} \frac{\Delta^{1,3}}{P_{cp}^{3,3}}$$

і розраховують витрату по формулі

$$Q = KD^{2,6} \sqrt{\frac{P_H^2 - P_K^2}{Z T_{cp} \Delta \cdot \lambda \cdot L}}.$$

де: D - внутрішній діаметр труби газопроводу (мм);

L - довжина ділянки газопроводу (км);

$$K = \frac{\pi}{4} \frac{T_{ст}}{P_{ст}} \sqrt{R_{возд}} - \text{коефіцієнт приведення до}$$

стандартних умов, при цьому

$T_{ст}=293$  К,  $P_{ст}=101,3 \cdot 10^3$  Н/м<sup>2</sup>,  
 $R_{возд}=287,1$  м<sup>2</sup>/(с<sup>2</sup>К), ( $K=0,326 \cdot 10^{-6}$  при P в кгс/см<sup>2</sup>. L у км, D у мм, Q у млн. м<sup>3</sup>/доба).

Розглянемо як приклад визначення витрати на лінійній ділянці газопроводу при наступних характеристиках.

Довжина ділянки газопроводу L=120км;

Внутрішній діаметр трубопроводу D=1388мм;

Відносна густина газу  $\Delta=0,566$ ;

Середня температура газу на ділянці  $T_{cp}=303$ К;

Підставивши у наведені формули значення D=1388мм.  $\Delta=0,566$ .  $T_{cp}=303$ К,

$$\frac{K}{\sqrt{\lambda}} = 1,67 \cdot 10^{-6}, \text{ отримаємо таку формулу для}$$

визначення витрати газу:

$$Q = 0,188738 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{\frac{P_H^2 - P_K^2}{ZL}} \text{ млн. м}^3 / \text{доба}$$

У результаті вимірювання отримано, що тиск на початку ділянки  $P_H=70$ кгс/см<sup>2</sup>, а наприкінці ділянки  $P_K=54,48$ кгс/см<sup>2</sup>.

Витрата газу по ділянці в цьому випадку буде такою:

$$P_{cp}=0,6667(70+2968,0707/124,48)=62,56;$$

$$Z=1-0,16674 \cdot 10^{-2} \cdot 62,56=0,89568.$$

$$Q = 0,188738 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{\frac{P_H^2 - P_K^2}{ZL}} =$$

$$= 0,188738 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{\frac{70^2 - 54,48^2}{0,89568 \cdot 120}} =$$

$$= 80,00 \text{ млн. м}^3 / \text{доба}$$