



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **100483**

(13) **U**

(51) МПК

G01F 1/32 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 01370**

(22) Дата подання заявки: **18.02.2015**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **27.07.2015**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **27.07.2015, Бюл.№ 14**

(72) Винахідник(и):

**Ігуменцев Євген Олександрович (UA),
Прокопенко Олена Олександрівна (UA)**

(73) Власник(и):

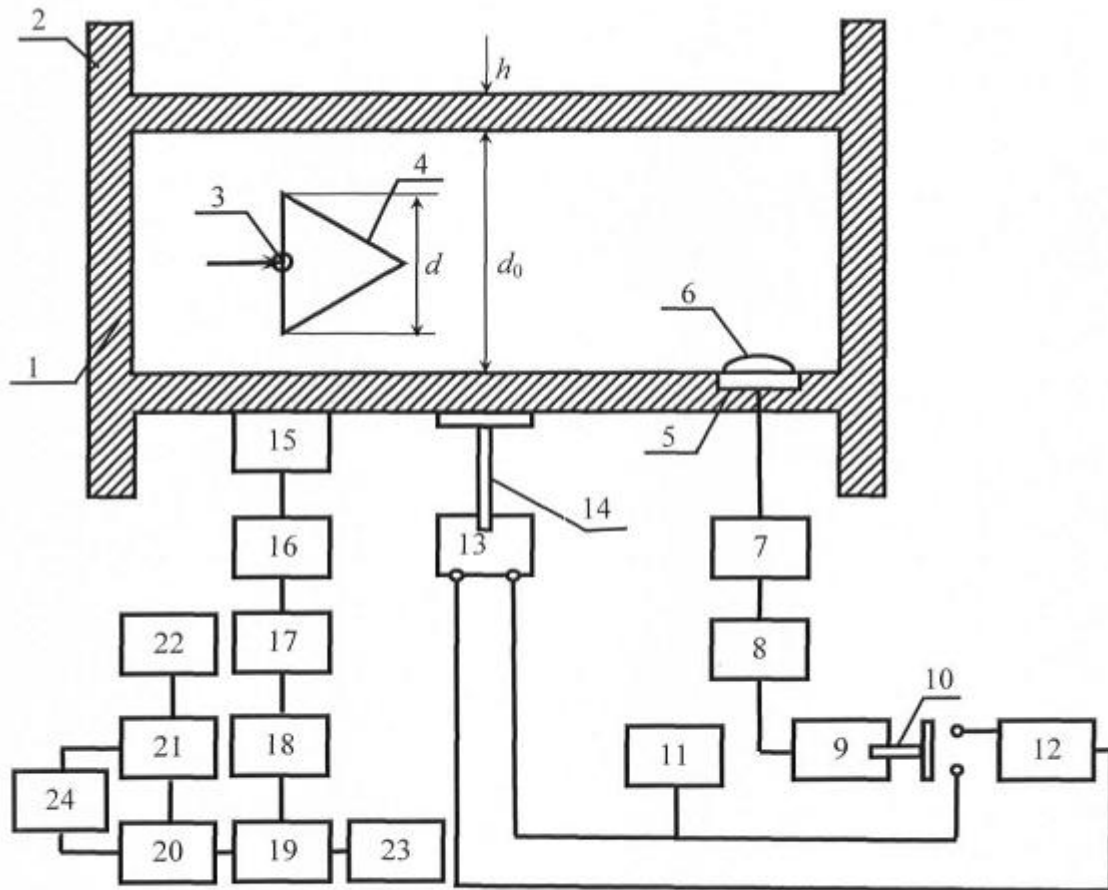
**УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА
АКАДЕМІЯ,
вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003
(UA)**

(54) ВИХРОВИЙ ВИТРАТОМІР ПРИРОДНОГО ГАЗУ

(57) Реферат:

Вихровий витратомір природного газу містить корпус з турбулізатором, який виконаний у вигляді трикутної призми, що встановлена на поворотній вертикальній осі з можливістю взаємодії з розташованими за ним на відстані, яка дорівнює величині зони вихороутворення, електромагнітними датчиками з мембранами, що мають резонанс на частоті, яка дорівнює власній частоті механіко-акустичного каналу. Електромагнітні датчики, пов'язані з першим електромагнітом, містять електричне коло з другим електромагнітом з сердечником, п'єзоакселерометр, який розташовано на корпусі витратоміра і який зв'язано через підсилювач заряду, смуговий фільтр і плату аналого-цифрового перетворювача з комп'ютером.

UA 100483 U



Фиг. 1

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 на компресорних станціях, газоперекачувальних агрегатах в процесі експлуатації, до і після ремонту.

Відомий пристрій (аналог) 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.

Інший відомий витратомір, який збільшує точність виміру витрат газу за рахунок зміни конструкції турбулізатора і виконання його у вигляді стрижневих елементів різного профілю (трикутного, трапецеїдального, сегментного) [2]. Стрижні встановлюються по потоку газу. Дані частоти зриву вихорів через електромагнітні датчики і ряд перетворювачів подаються на комп'ютер, де визначають витрати газу.

Недолік пристрою - утруднена можливість отримання сигналу в резонансі із-за складності конструкції і не можливо отримати необхідну точність виміру витрат газу. Крім того, щільність газу визначають з рівняння Менделєєва-Клапейрона з використанням датчиків тиску і температури, що знижує точність обчислення масової витрати і розширює номенклатуру вимірювальних параметрів.

Найбільш близьким за технічною суттю і результатом, що досягається, є диференціальний датчик щільності, що містить два здвоєні камертони із збудниками, встановленими між гілками камертонів [3]. Знімання сигналів коливання гілок здійснюється вібродатчиками з передачею сигналу до змішувача частот і вимірювального приладу. Збудження автоколивань камертона здійснюється із застосуванням магнітокерованих контактів.

Недолік найближчого аналога - відсутність вимірювання швидкості потоку газу, що не дозволяє обчислити масову витрату.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалити конструкцію витратоміра, з'єднавши в одній конструкції вібраційний щільномір і вихровий витратомір.

Поставлена 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, рівному величині зони вихороутворення, 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 сердечник і яку сформовано електромагнітним датчиком, створює послідовність прямокутних механічних ударних імпульсів, частота проходження яких дорівнює частоті зриву вихорів, і яка порушує автоколивання корпусу витратоміра на його власній частоті. Амплітуду автоколивань корпусу фіксують п'єзоакселерометром з подальшим спектральним аналізом вібрації корпусу, що після обробки спектру 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.

На Фіг. 1 показано схему витратоміра. На Фіг. 2 показано спектр амплітудно-імпульсної модуляції коливань корпусу витратоміра. На Фіг. 3 показано зовнішній вигляд витратоміра для вимірювання об'ємної і масової витрати паливного газу на газоперекачувальному агрегаті ГТК 10-2.

Витратомір містить корпус 1 з фланцями 2 для закріплення на газових трубах. Фланці забезпечують жорстке закладення корпусу відносно газових труб. Усередині корпусу 1 на поворотній вертикальній осі 3 закріплено турбулізатор 4 у вигляді вертикальної призми, від якого на відстані, що дорівнює величині зони вихороутворення, розташовано електромагнітний датчик 5 з мембраною 6. Датчик 5 через підсилювач заряду 7 і смуговий фільтр нижніх частот 8 сполучено з електромагнітом 9. Сердечник 10 електромагніту 9 здійснює механічні коливання з частотою вихороутворення турбулізатора і замикає і розмикає електричне коло 11. Електричне коло 11 сполучено з джерелом живлення 12 і електромагнітом 13, сердечник якого 14 здійснює коливання з частотою вихороутворення і проводить ударні імпульси по корпусу 1.

На корпусі 1 встановлено п'єзоакселерометр 15, сполучений з підсилювачем заряду 16, смуговим фільтром верхніх частот 17, платою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 18 і комп'ютером 19. Комп'ютер 19 сполучено з блоком результатів спектрального аналізу 20,

блоком виділення частоти зриву вихорів і власної частоти коливань корпусу 21, а також блоком обчислення об'ємної і масової витрати 22.

Витратомір містить пристрій ручного управління 23 і пристрій автоматичного управління 24.

Робота витратоміра відбувається таким чином. Потік газу зриваючись (турбулізуючись) з турбулізатора 4, створює доріжку Кармана-Рубаха у вигляді пульсації тиску газу. Коливання потоку реєструють електромагнітним датчиком 5, де коливання підсумовують і усереднюють, і дані надходять на підсилювач заряду 7, смуговий фільтр 8 і електромагніт 9, сердечник якого 10 здійснює коливання з частотою вихороутворення турбулізатора. Відомо (див. аналог), що турбулізатори правильної геометричної форми поперечного перерізу (наприклад, трикутні) при обтіканні поперечним потоком газу піддаються дії аеродинамічних збурюючих сил, що виникають унаслідок утворення вихрової доріжки Кармана-Рубаха. Коли частота зриву вихорів є близькою до власної частоти механіко-акустичного каналу, відбувається додаткове захоплення частоти зриву власної частоти механіко-акустичного каналу, і виникають коливання з великими амплітудами.

При числі Рейнольдца $Re > 300$, це явище характеризує значення числа Струхала:

$$Sh = \frac{f_s d}{v} \approx 0,2; \quad (1)$$

де f_s - частота зриву вихорів;

d - діаметр поперечного перерізу турбулізатора;

v - швидкість потоку газу.

Особливість цього явища полягає в тому, що сила є безпосередньо пов'язаною з вихорами, що по черзі відриваються від кожної сторони турбулізатора, так що кожній парі вихорів відповідає один повний період зміни сили. Інша особливість полягає в тому, що виникаючі механіко-акустичні коливання турбулізатора істотно впливають на процес зриву вихорів. Поблизу резонансу основної власної частоти коливань механіко-акустичного каналу процес зриву виявляється надзвичайно впорядкованим, причому вихори йдуть в подовжньому напрямі, а частота зриву "захоплюється" власною частотою турбулізатора, що здійснює механіко-акустичні коливання навколо поворотної осі. Якщо зрив вихорів приводить до самозбудження вібрацій турбулізаторів, то виникає складна нелінійна взаємодія між вихором і турбулізатором, коли істотно посилюється циркуляція вихорів і донний підсос.

Таким чином, принцип визначення об'ємної витрати засновано на ефекті формування вихрових коливань, що виникають за тілом обтікання. Частота вихороутворення є пропорційною витраті або швидкості газу в місці обтікання. Область стійкого існування доріжки оцінюють згідно із законом Кармана-Рубаха. Частоту вихороутворення обчислюють з виразу (1). При постійному значенні числа Струхала Sh лінійність характеристики перетворення частоти в швидкість зберігається при числах Рейнольдца від $2 \cdot 10^4$ до $7 \cdot 10^6$.

Використовуючи співвідношення (1) отримуємо вираз для об'ємної витрати газу у вигляді:

$$Q_v = \frac{\pi d_0}{4} \cdot \frac{f_s d}{Sh} \approx 0,2, \quad (2)$$

де d_0 - внутрішній діаметр корпусу витратоміра.

Періодичний сигнал пульсацій потоку газу порушує коливання мембрани 6 з частотою зриву вихорів f_s датчика 5 електромагнітного типу. Вимірювальний датчик 5 вставлено в корпус витратоміра 1 в циліндровій капсулі, а капсулу кріплять до корпусу витратоміра трьома болтами. Коливання мембрани 6 через підсилювач 7 і фільтр нижніх частот 8 перетворюють в електричні коливання і передають на електромагніт 9, сердечник 10 якого здійснює механічні коливання з частотою f_s і замикає і розмикає з цією частотою f_s електричне коло 11, що містить джерело живлення 12. У електричному колі, яке сполучене з електромагнітом 13, виникають електричні коливання з частотою f_s , які збуджують електричні коливання в соленоїді електромагніту та механічні коливання сердечника 14 з цією ж частотою. Механічні коливання сердечника 14 генерують ударні імпульси по корпусу витратоміра 1 і порушують в ньому вигинисті механічні коливання з власною частотою $f_{с,г}$.

Частота ударних імпульсів дорівнює частоті зриву вихорів турбулізатора f_s і забезпечує амплітудну модуляцію власної частоти $f_{c,r}$ з частотами зриву вихорів f_s .

Спектр амплітудно-модульованого сигналу представлено на Фіг. 2. Він (спектр) містить набір комбінаційних частот $f_{c,r} \pm k f_s$; ($k=1,2, \dots$) з огинаючою у формі резонансної кривої гармонійного осцилятора [4].

На корпусі витратоміра 1 встановлено п'єзоакселерометр 15 з'єднаний через підсилювач 16, смуговий фільтр верхніх частот 17, плату АЦП 18 з комп'ютером 19, за допомогою якого виконують спектральний аналіз вібросигналу (перетворення Фур'є часового сигналу) в блоці 20. Результати спектрального аналізу надходять в блок виділення частоти зриву і власної частоти коливань корпусу витратоміра 21. Частоти, які виділені в блоці 21, надходять в блок обчислення витрат 22, де по формулі (2) визначають об'ємні витрати газу.

Щільність газу, а отже, і масову витрату, визначають з співвідношення, що зв'язує різницю частот між власною частотою корпусу порожнього витратоміра і витратоміра з газом Δf з щільністю газу

$$\Delta f = f_{c.v.} - f_{c.g.} = f_{c.v.} \alpha; \quad \alpha = m_g / 2m_m, \quad (3)$$

(див. найближчий аналог),

де $f_{c.v.}$, $f_{c.g.}$ - власна частота порожнього корпусу витратоміра і корпусу з газом;

m_m , m_g - маса порожнього корпусу і газу.

Для циліндрового корпусу заповненого природним газом з робочим тиском P відношення мас (α) дорівнює:

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

де $\rho_{г.н.}$, ρ_m - щільність газу за нормальних умов і щільність матеріалу витратоміра;

h , d_0 - товщина стінки витратоміра і внутрішній діаметр корпусу (див. Фіг. 2);

P - тиск робочого середовища (газу) при подачі паливного газу в камеру згорання газоперекачувального агрегату на компресорній станції, вимірювана відома величина.

Із співвідношень (3) і (4) отримаємо вираз для визначення щільності газу за нормальних умов і з робочим тиском P у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{г.н.} &= \frac{4\Delta f \rho_m h}{P d_0} \\ \rho_g &\equiv \rho_{г.н.} \cdot P \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

що дозволяє обчислити масову витрату Q_m :

$$Q_m = m_g \cdot Q_v, \quad (6)$$

$$\Delta \tilde{f} = \frac{f_{c.v.} - f_{c.g.}}{f_{c.v.}} - \text{відносна частота.}$$

Промислові випробування витратоміра проводилися на КС Дашава УМГ "Львовтрансгаз" для вимірювання витрати паливного газу. При проведенні вимірювань витримували прямолінійність ділянки труби, довжина якої дорівнювала десяти діаметрам труби. Внутрішній діаметр корпусу $d_0=50$ мм, товщина $h=5$ мм.

Швидкість потоку газу при робочому тиску в трубі $P \approx 18$ кг/см² і діаметрі турбулізатора 16 мм забезпечувала чіткі спектральні викиди при зміні частоти зриву потоку доріжки Кармана в діапазоні 300-390 Гц.

Середнє відношення мас, яка складає $\alpha=0,05$, власна частота корпусу $f_{c.v.}=15$ кГц забезпечували різницю частот $\Delta f=750$ Гц.

Результати вимірювання швидкості потоку паливного газу і масової витрати газу запропонованим пристроєм узгоджуються з даними прямого вимірювання витрати по перепаду тиску на витратомірній шайбі.

Джерела інформації:

1. Заявка Японії № 272922, МКИ G01F1/32, опубл. 31.10.89 г.
2. Патент України № 14793 МКИ G01F1/32, опубл. 30.06.97 р.
3. Дифференциальный вибрационный плотномер [а.с. СРСР № 1392451 МКИ G01N 9/00 опубл. 30.04.88 г. - Бюл. № 16]
4. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987 - 284 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Вихровий витратомір природного газу, що містить корпус з турбулізатором, який виконаний у вигляді трикутної призми, що встановлена на поворотній вертикальній осі з можливістю взаємодії з розташованими за ним на відстані, яка дорівнює величині зони вихороутворення, електромагнітними датчиками з мембранами, що мають резонанс на частоті, яка дорівнює власній частоті механіко-акустичного каналу, який **відрізняється** тим, що електромагнітні датчики, пов'язані з першим електромагнітом, містять електричне коло з другим електромагнітом з сердечником, п'єзоакселерометр, який розташовано на корпусі витратоміра і який зв'язано через підсилювач заряду, смуговий фільтр і плату аналого-цифрового перетворювача з комп'ютером.

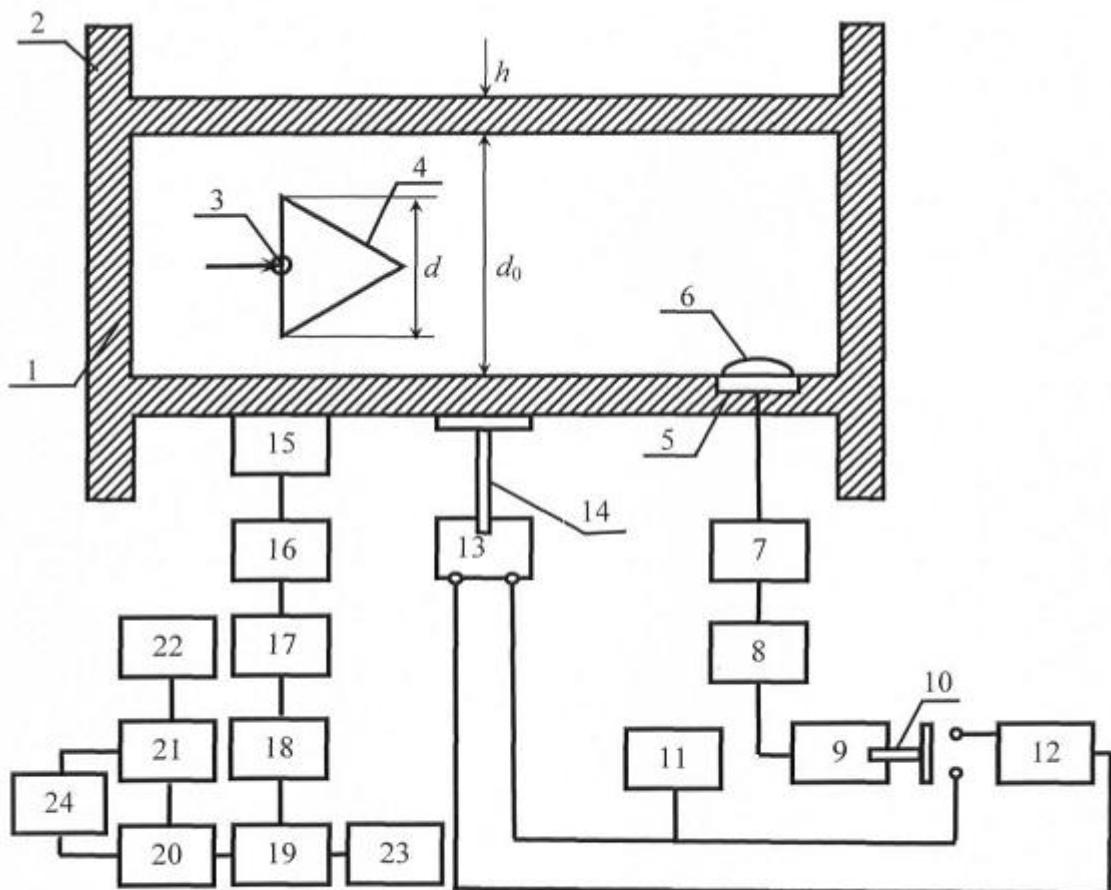
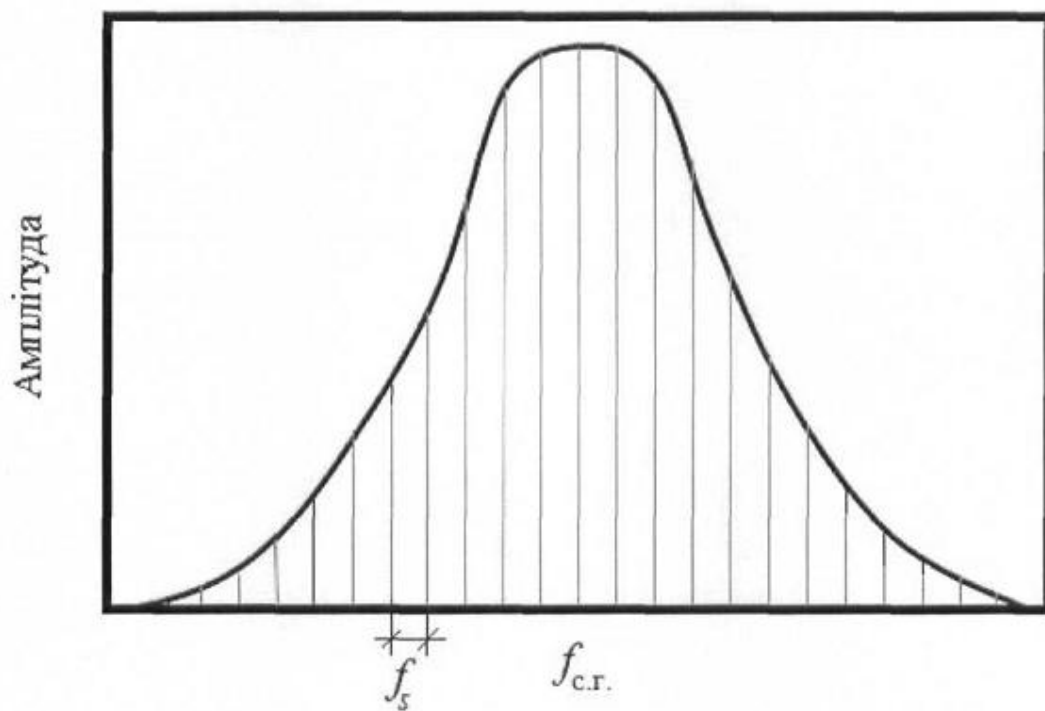
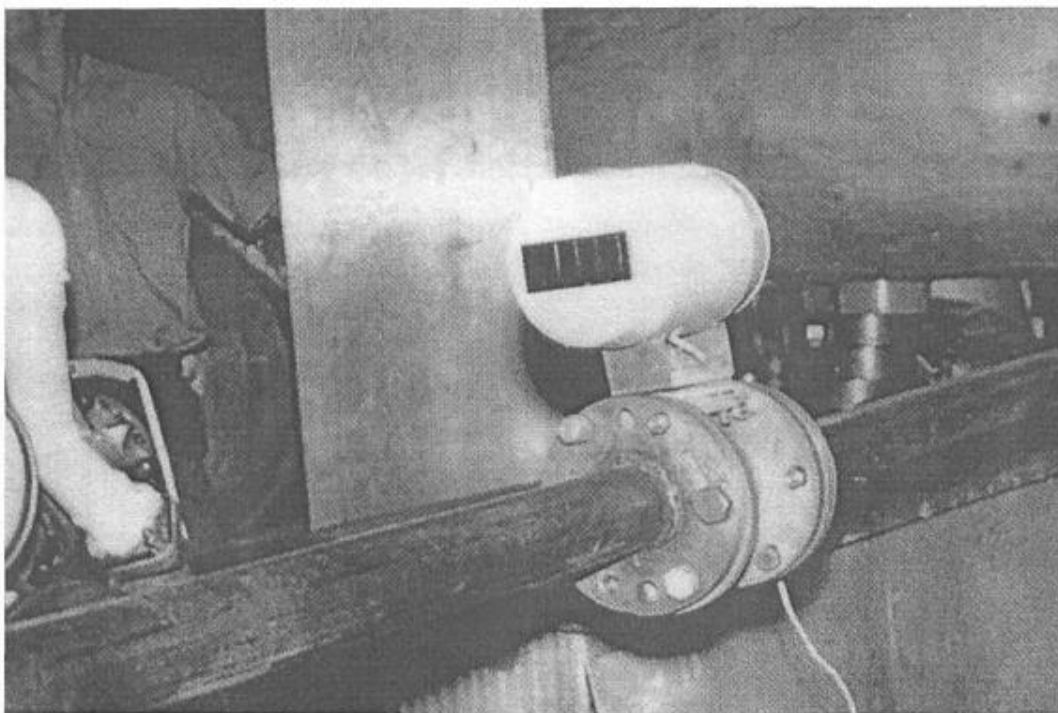


Fig. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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