



УКРАЇНА

(19) UA (11) 28992 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 21/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ПОТОКОВИЙ ІНФРАЧЕРВОНИЙ ГАЗОАНАЛІЗАТОР

1

(21) u200710407

(22) 19.09.2007

(24) 25.12.2007

(72) ЧЕХОВСЬКИЙ СТЕПАН АНДРІЙОВИЧ, UA,
РОМАНІВ ВАСИЛЬ МИХАЙЛОВИЧ, UA,
ВАЩИШАК СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ, UA, ВАЩИШАК
ІРИНА РОМАНІВНА, UA

(73) ЧЕХОВСЬКИЙ СТЕПАН АНДРІЙОВИЧ, UA,
РОМАНІВ ВАСИЛЬ МИХАЙЛОВИЧ, UA,
ВАЩИШАК СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ, UA, ВАЩИШАК
ІРИНА РОМАНІВНА, UA

(56)

(57) Швидкодіючий багатоканальний
інфрачервоний газоаналізатор, який складається з
джерела і приймача ІЧ-випромінювання з
інтерференційним фільтром, який відрізняється
тим, що вимірювальна ділянка кювет виконана
кільцеподібною, джерело і приймач ІЧ-

2

випромінювання разом з інтерференційним
фільтром оформлені як суцільна герметична
вставка, різьбова вставка з пластмасовою
вставкою, різьбовим фланцем, роз'ємним
з'єднувачем, електричним кабелем і гумовими
прокладками є елементом кріплення кювети,
вимірювальна та еталонна кювети виконані як
самостійні пристрої, причому вимірювальна
кювета містить внутрішній отвір великого
діаметра, а еталонна кювета додатково містить
вхідний та вихідний патрубки, розсіювач потоку і
компенсатор тиску з приєднаною масою, кожен
вимірювальний канал складається з одної
вимірювальної і двох еталонних кювет з
мінімально і максимально можливими
концентраціями компоненти, усі кювети
вимірювальних каналів розміщуються всередині
трубною вставки з перехідними фланцями.

Корисна модель відноситься до галузі
приладобудування і може бути використаний для
визначення концентрації компонент природного
газу у газопроводах середнього тиску.

Відомий багатоканальний автоматизований
інфрачервоний газоаналізатор [Багатоканальний
автоматизований інфрачервоний газоаналізатор:
Патент України №65504, МКВ G01N21/01,
G01N21/55 /Богданов В.В., Приміський В.П.,
Чемерис І.В., Візнюк А.А.], який складається з
джерела інфрачервоного (ІЧ) випромінювання,
розміщеного у півсферичному дзеркалі, на
оптичній осі джерела інфрачервоного
випромінювання послідовно розміщені механічний
дисковий об'єктиватор, який з'єднаний з валом
електродвигуна, вимірювальної кювети з вхідними
і вихідними вікнами і вхідних і вихідних газових
патрубків. У даному газоаналізаторі
використовується одна вимірювальна кювета з п -
приймачами інфрачервоного випромінювання, на
кожному з яких змонтовано інтерференційний
фільтр з певною для кожного газу смугою
пропускання інфрачервоного випромінювання. Для
калібрування газоаналізатора використовуються

нульовий і юстирувальний гази, що подаються у
вимірювальну кювету з окремих трубопроводів.

Недоліком багатоканального
автоматизованого інфрачервоного
газоаналізатора є складність і громіздкість
конструкції, що суттєво обмежує його
застосування на газопроводах. Крім того,
багатоканальний газоаналізатор має низьку
чутливість за рахунок незначної довжини
вимірювальної кювети.

Найближчим до корисної моделі за принципом
дії є автоматичний інфрачервоний газоаналізатор
[Автоматичний інфрачервоний газоаналізатор:
Патент України №72630, МКВ G01N21/01,
G01N21/55 /Богданов В.В., Приміський В.П.,
Чемерис І.В.], який складається з джерела і
приймача інфрачервоного випромінювання, який
з'єднаний з вихідним реєструючим пристроєм,
вимірювальних кювет з вхідним і вихідним
газовими патрубками, вхідним і вихідним
прозорими вікнами, джерело інфрачервоного
випромінювання розміщене у півсферичному
дзеркалі, на оптичній осі якого послідовно
розміщені вимірювальна кювета і об'єктиватор,
з'єднаний з електродвигуном. У цьому

(19) UA (11) 28992 (13) U

газоаналізаторі для підвищення чутливості застосовано оптичне збільшення довжини вимірювальної кювети вдвічі.

Недоліком автоматичного інфрачервоного газоаналізатора є наявність рухомої частини - об'єктора, що суттєво ускладнює його використання на газопроводах, збільшує час, необхідний на проведення вимірювань та призводить до виникнення додаткових похибок. Також доволі низькою залишається чутливість газоаналізатора, оскільки оптичне збільшення довжини кювети вдвічі дає змогу визначати тільки ті гази, концентрація яких у досліджуваному середовищі є досить значною.

В умовах сучасного виробництва визначення компонентного складу природного газу є дуже важливим, тому, що він впливає на хід виробничих процесів та на кінцеву якість продукції. Оскільки, більшість технологічних процесів є швидкоплинними, то аналіз природного газу також повинен займати мінімальну кількість часу. Конструкції ж існуючих газоаналізаторів не дають змоги використовувати їх безпосередньо на газопроводах.

В основу корисної моделі покладено завдання створити такий пристрій, в якому нове конструктивне виконання кювет і нова вимірювальна схема давали б змогу з підвищеною точністю вимірювати концентрацію основних компонент природного газу безпосередньо у газопроводах середнього тиску.

Завдання вирішується наступним чином. У багатоканальному потоковому інфрачервоному газоаналізаторі, який складається з джерела і приймача 14 - випромінювання з інтерференційним фільтром, для зменшення розмірів і підвищення оптичної довжини вимірювальної ділянки її виконано кільцеподібною. Для роботи кювети безпосередньо у потоці природного газу джерело і приймач 14 - випромінювання разом з інтерференційним фільтром оформлені як суцільна герметична вставка. Для подачі сигналів до джерела і приймача 14 - випромінювання використано різьбову вставку, яка з пластмасовою вставкою, різьбовим фланцем, роз'ємним з'єднувачем, електричним кабелем і гумовими прокладками є елементом кріплення кювети. З метою використання газоаналізатора безпосередньо у газопроводах вимірювальні та еталонні кювети виконані як самостійні пристрої. Вимірювальна кювета містить внутрішній отвір великого діаметру, що служить для зменшення лобового опору газовому потоку і зменшення перепадів тиску. Для закачування і викачування певної компоненти газу з необхідною концентрацією та зменшення вібрацій від швидких перепадів тиску газового потоку, еталонна кювета додатково містить вхідний та вихідний патрубки, розсіювач потоку і компенсатор тиску з приєднаною масою. Вимірювання однієї компоненти природного газу здійснюється однією вимірювальною і двома еталонними кюветами з мінімально та максимально можливою концентрацією компоненти, які становлять один вимірювальний

канал газоаналізатора. Для оформлення газоаналізатора у виді закінченої конструкції і монтажу його у газопроводі усі кювети вимірювальних каналів розміщуються всередині трубної вставки з перехідними фланцями.

На Фіг.1 наведена розрахункова схема вимірювальної ділянки кювети з кільцеподібною формою.

Вимірювальна ділянка побудована у вигляді кільцеподібною конструкції прямокутного перерізу з зовнішньою відбиваючою поверхнею, радіусом R_3 і внутрішньою відбиваючою поверхнею, радіусом R_B . Промінь 14 - випромінювання від джерела, яке розміщене в точці СУ вводиться у вимірювальну ділянку кювети під кутом α від вертикалі. При проходженні променя ІЧ-випромінювання відбувається багаторазове його відбивання від внутрішньої і зовнішньої поверхонь ділянки (точки а, b, c).

Розглянемо трикутник OaO' . Згідно теореми синусів кут β буде дорівнювати:

$$\beta = \arcsin\left(-\frac{R_3}{R_B} \cdot \sin \alpha\right) + 90^\circ, \quad (1)$$

Відповідно, полярний кут положення точки відбиття буде складати:

$$\gamma = 180^\circ - (\beta + \alpha) \quad (2)$$

Кут падіння променя 14 - випромінювання в точці а буде рівним:

$$\alpha' = \beta - 90^\circ \quad (3)$$

Розглянемо трикутники OaO' і Oba . Ці трикутники мають одну спільну сторону Oa і є подібними ($Ob = OO' = R_3$, $Oa = R_B$, $\beta = \beta'$). З подібності трикутників витікає наступне:

$$\beta'' = \beta' - \alpha'. \quad (4)$$

$$\gamma' = \gamma; \delta = \alpha \quad (5)$$

Виходячи з виразів (2), (4), (5), кут падіння променя 14 - випромінювання δ в точку b зовнішньої поверхні вимірювальної ділянки кювети буде дорівнювати:

$$\delta = 180^\circ - \beta'' - \gamma' = 2\beta + \alpha - 180^\circ \quad (6)$$

Довжину ходу променя 14 - випромінювання від джерела, яке розміщене в точці O' , до точки відбивання від внутрішньої поверхні вимірювальної ділянки а, для трикутника OaO' можна визначити за допомогою теореми синусів:

$$aO' = \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} \cdot R_B, \quad (7)$$

Довжина ходу променя після відбивання в точці а до точки b, враховуючи подібність трикутників OaO' і Oba , буде становити:

$$ab = aO', \quad (8)$$

Враховуючи подібність трикутників Oba і Obc довжина ходу променя be складатиме:

$$be = ab = aO' \quad (9)$$

Таким чином, три відбивання по типу (а, b, c) будуть складати полярний кут γ_3 , значення якого знаходиться з виразу:

$$\gamma_3 = 3\gamma, \quad (10)$$

а довжина ходу променя буде становити:

$$l_{\Pi} = 3 \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} R_B, \quad (11)$$

Кількість елементарних відбивань променя ІЧ -

випромінювання типу (a, b, c) по повному колу вимірювальної ділянки кювети буде складати:

$$n = 360^\circ / 3\gamma = 120^\circ/\gamma, (12)$$

Звідки повна довжина ходу променя на вимірювальній ділянці буде рівною:

$$360^\circ \sin \gamma$$

$$l = l_{\Pi} \cdot n = \frac{360^\circ}{\gamma} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} R_B \quad (13)$$

З виразу (13) видно, що чим менший кут введення ІЧ - променя у кювету а, тим більша кількість відбивань оптичного променя від її від внутрішньої та зовнішньої поверхонь, а отже, вища оптична довжина кювети. Тому, змінюючи кут введення ІЧ - променя а можна регулювати чутливість кювети у широких межах, а також суттєво зменшити її розміри, оскільки висота і ширина кільцеподібної вимірювальної ділянки кювети мало впливають на значення 1.

Конструктивне виконання вимірювальної кювети газоаналізатора з кільцеподібною вимірювальною ділянкою наведено на Фіг.2. Вимірювальна кювета виконується як самостійний пристрій і розміщується всередині трубопровідної вставки з перехідними фланцями 1 перпендикулярно рухові газового потоку. Кювета складається з корпусу 2 та кільцеподібної кришки 3, яка прикріплюється до корпусу 2 за допомогою гвинтів 4. У кришці 3 знаходиться отвір 5 для входження газу у вимірювальну ділянку кювети 6, а у корпусі 2 розміщено отвір 7 для виходу газу з вимірювальної ділянки. Кювета має чотири отвори для кріплення її до стінки трубопровідної вставки 1. Знизу та з боків кювета кріпиться до стінки трубопровідної вставки за допомогою гвинтів 8. Для зменшення напружень у тілі трубно вставки від наявності отворів у місцях кріплень застосовано додаткові посилення 9. Зверху кювета кріпиться до стінки трубопровідної вставки за допомогою різьбової вставки 10. Джерело 11 та приймач ІЧ - випромінювання 12 разом з інтерференційним фільтром 13, оформлені як суцільна герметична вставка, розміщуються у верхній частині вимірювальної ділянки 6 і разом з виступом 14 утворюють герметичне з'єднання, що запобігає перетоку газу. Інтерференційний фільтр 13 налаштований на довжину хвилі досліджуваної компоненти природного газу. Різьбова вставка 10 має отвір, у який встановлено пластмасову вставку 15 з отвором 16, через який пропускаються провідники 17 від джерела та приймача ІЧ - випромінювання. Зверху на різьбовій вставці розміщено різьбовий фланець 18, до якого під'єднується роз'ємний з'єднувач 19. Сигнали управління на джерело 11 та інформація з приймача 12 передаються по електричному кабелю 20. Герметизація різьбової вставки 10 здійснюється за допомогою гумових прокладок 21. Для зменшення лобового опору корпусу кювети та пов'язаних з цим різких перепадів тиску вона має внутрішній отвір великого діаметру 22.

Працює вимірювальна кювета газоаналізатора наступним чином. При подачі газу у трубопровідну вставку 1 він проходить через внутрішній отвір кювети 22 та порожнини 23, створюючи перед

кюветою і за нею певний перепад тиску. Завдяки цьому частина газу втягується у отвір 5 і виходить з отвору 7, пройшовши по всій довжині вимірювальної ділянки кювети. У цей момент джерело 11 випромінює ІЧ - хвилю, у напрямку, вказаному стрілками, яка пройшовши по всій довжині вимірювальної ділянки досягне приймача 12. Інтерференційний фільтр 13 пропустить і прийме ІЧ - хвилю тільки певної довжини, на якій досліджувана компонента газу має максимальне поглинання. Після цього, сигнал від приймача передається по електричному кабелю 20 на пристрій обробки і по його команді вимірювальний цикл повториться.

Конструктивне виконання еталонної кювети газоаналізатора наведено на Фіг.3. Еталонна кювета відрізняється від вимірювальної наявністю вхідного 24 та вихідного 25 патрубків для закачування і викачування газу, суцільної кришки 26 з конусним розсіювачем газового потоку та компенсатора тиску у виді сільфона з приєднаною масою 27, які разом з вимірювальною ділянкою утворюють герметичну конструкцію.

Працює еталонна кювета наступним чином. Спочатку в неї під тиском, що дорівнює приблизно тискові у газопроводі закачується компонента природного газу, вміст якої необхідно вимірювати. Концентрація компоненти повинна відповідати максимально допустимій її концентрації у досліджуваному газопроводі. Компенсатор тиску, при цьому, повинен видовжитись на половину своєї довжини. Після цього, патрубків 24 і 25 герметично закриваються і для калібрування еталонної кювети здійснюється цикл вимірювань як у вимірювальній кюветі. Потім еталонна кювета розміщується у трубній вставці 1 перед, або після вимірювальної кювети. При подачі газу у газопровід компонента, що знаходиться всередині кювети, через певний час матиме тиск і температуру газового потоку, яким омивається кювета. Після цього, синхронно з вимірювальною кюветою здійснюється цикл вимірювань і за результатами порівнянь даних про інтенсивність ІЧ - випромінювання на приймачах обох кювет робиться висновок про концентрацію досліджуваної компоненти. Така схема вимірювань є двохкюветною, де вимірювальна та еталонна кювети для визначення певної компоненти природного газу становлять один вимірювальний канал.

Однак, при двохкюветній схемі вимірювань компоненти природного газу з низькою концентрацією виникає похибка, пов'язана з необхідністю розраховувати молярний питомий коефіцієнт поглинання, який для кожної з компонент природного газу згідно закону Ламберта-Бера знаходиться з виразу:

$$\varepsilon = \frac{A}{C \cdot l}, (14)$$

де С - молярна концентрація,

l - довжина вимірювальної ділянки,

A - коефіцієнт пропускання.

Коефіцієнт пропускання вимірювальної ділянки для виразу (14) розраховується з формули:

$$a = -\lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (15)$$

де I_0 - інтенсивність випромінювання на вході вимірювальної ділянки кювети,

I - інтенсивність випромінювання на виході вимірювальної ділянки кювети.

З формул (14) та (15) випливає вираз для визначення молярної концентрації компоненти природного газу:

$$C = \frac{A}{\varepsilon \cdot l} = K \cdot A = K \cdot \lg\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (16)$$

де $K = \frac{1}{\varepsilon \cdot l}$ - безрозмірний коефіцієнт.

Для двохкюветної схеми вимірювань, що містить вимірювальний та еталонний тракти, вираз (16) матиме вид:

$$\begin{cases} C_B = K \cdot \lg I_{0B} - K \cdot \lg I_B \\ C_e = K \cdot \lg I_{0e} - K \cdot \lg I_e \end{cases}, \quad (17)$$

де C_B та C_e - концентрації компоненти природного газу у вимірювальній та еталонній кюветах;

I_{0B} та I_B - інтенсивності випромінювання на вході та виході вимірювальної ділянки кювети;

I_{0e} та I_e - інтенсивності випромінювання на вході та виході вимірювальної ділянки еталонної кювети.

При достатньо близьких характеристиках джерел ІЧ - випромінювання у кюветах $I_{0e} = I_{0B}$. Враховуючи, що для обох трактів коефіцієнт K є однаковим, випишемо перше рівняння системи (17) з другого:

$$C_e - C_B = K \cdot \lg I_B - K \cdot \lg I_e = K \cdot \lg\left(\frac{I_B}{I_e}\right), \quad (18)$$

Звідси концентрація компоненти природного газу для двохкюветної схеми вимірювань знаходиться з виразу:

$$C = C_e - K \cdot \lg\left(\frac{I_B}{I_e}\right), \quad (19)$$

З виразу (19) видно, що для розрахунку концентрації компоненти природного газу, крім інформації від приймачів про інтенсивність ІЧ - випромінювання необхідно знати значення ε , яке залежить від багатьох факторів, які на практиці важко врахувати.

Щоб позбутися необхідності визначення ε , розширити діапазон вимірювань і зменшити похибку від впливу дестабілізуючих факторів у потоковому газоаналізаторі доцільно використати трьохкюветну схему, де для вимірювання однієї компоненти використовуються одна вимірювальна та дві еталонні кювети. При цьому, у одну еталонну кювету закачується

компонента з мінімально, а у другу - з максимально можливими її концентраціями у досліджуваному газопроводі.

У відповідності з вищенаведеним, вираз (16) для трьохкюветної схеми вимірювання матиме

вид:

$$\begin{cases} C_B = K \cdot \lg I_{0B} - K \cdot \lg I_B \\ C_{e1} = K \cdot \lg I_{0e1} - K \cdot \lg I_{e1} \\ C_{e2} = K \cdot \lg I_{0e2} - K \cdot \lg I_{e2} \end{cases}, \quad (20)$$

де C_{e1} , C_{e2} - концентрації компонент природного газу у еталонних кюветах;

I_{0e1} , I_{0e2} - інтенсивності ІЧ - випромінювання на входах вимірювальних ділянок у еталонних кюветах;

I_{e1} , I_{e2} - інтенсивності ІЧ - випромінювання на виходах вимірювальних ділянок у еталонних кюветах.

Враховуючи, що для усіх трьох трактів коефіцієнти K однакові і $I_{0B} = I_{0e1} = I_{0e2}$ випишемо з другого рівняння системи (20) перше і з третього друге:

$$\begin{cases} C_{e1} - C_B = K \cdot \lg I_B - K \cdot \lg I_{e1} \\ C_{e2} - C_{e1} = K \cdot \lg I_{e1} - K \cdot \lg I_{e2} \end{cases}, \quad (21)$$

З першого рівняння системи (21) отримаємо:

$$C = C_{e1} - K \cdot \lg\left(\frac{I_B}{I_{e1}}\right), \quad (22)$$

Відповідно, з другого рівняння системи (21):

$$K = \frac{(C_{e2} - C_{e1})}{\lg\left(\frac{I_{e1}}{I_{e2}}\right)}, \quad (23)$$

З виразів (22) та (23) отримаємо формулу для розрахунку концентрації шуканої компоненти природного газу при трьохкюветній схемі вимірювань:

$$C = C_{e1} - (C_{e2} - C_{e1}) \cdot \frac{\lg\left(\frac{I_B}{I_{e1}}\right)}{\lg\left(\frac{I_{e1}}{I_{e2}}\right)}, \quad (24)$$

Конструкція вимірювальної частини потокового газоаналізатора з трьохкюветною схемою вимірювання компонент природного газу наведена на Фіг.4. Всередині трубопровідної вставки з перехідними фланцями 1 для вимірювання однієї компоненти природного газу встановлено по одній вимірювальній В1 та дві еталонні А1, С1 кювети з розсіювачами газового потоку 26 та сильфонами 3 приєднаною масою 27, які становлять один вимірювальний канал. Кількість вимірювальних каналів n відповідає кількості досліджуваних компонент природного газу. Оскільки, завдяки використанню кільцеподібних вимірювальних ділянок кювети мають незначні розміри, то при їх великій кількості збільшуватиметься тільки поздовжній розмір потокового газоаналізатора.

Структурна схема потокового багатоканального інфрачервоного газоаналізатора наведена на Фіг.5.

Газоаналізатор складається з джерел ІЧ - випромінювання Д1 - Дп, оптичних систем ОС1 - ОСп, кювет вимірювальних каналів А1, В1, С1 - Ап, Вп, Сп, давачів тиску і температури природного газу у газопроводі Р і Т, приймачів ІЧ-випромінювання ПА1, ПВ1, РС1, ПСп, мультиплексорів М1 - Мп, мікропроцесорного

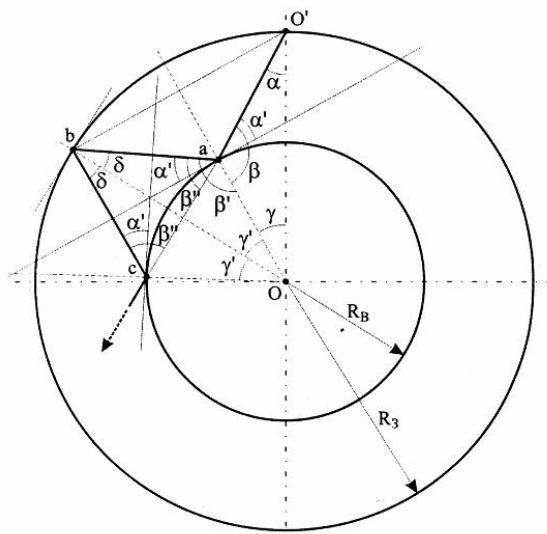
контролера МК та пристрою передачі інформації ППІ.

Працює пристрій наступним чином. По команді з контролера МК по чергово вмикаються джерела ІЧ-випромінювання Д1 - Дп кожного з вимірювальних каналів, сигнал з яких надходить на оптичні системи ОС1 - ОСп, які розділюють його на три промені. Пройшовши через вимірювальні ділянки вимірювальної та еталонних кювет кожного з каналів промінь ІЧ-випромінювання попадає на приймачі ПА1, ПВ1, ПС1, ПСп. Одночасно з джерелами мікропроцесорний контролер МК вмикає мультиплексори М1 - Мп для по чергового прийому сигналів від давачів кожного вимірювального каналу. Після цього контролер МК розраховує концентрації кожної з досліджуваних компонент і вводить поправки на зміну тиску та температури газового потоку, що знімаються безпосередньо з газопроводу давачами Р і Т. Розраховані концентрації компонент природного газу передаються до споживача пристроєм передачі інформації ППІ.

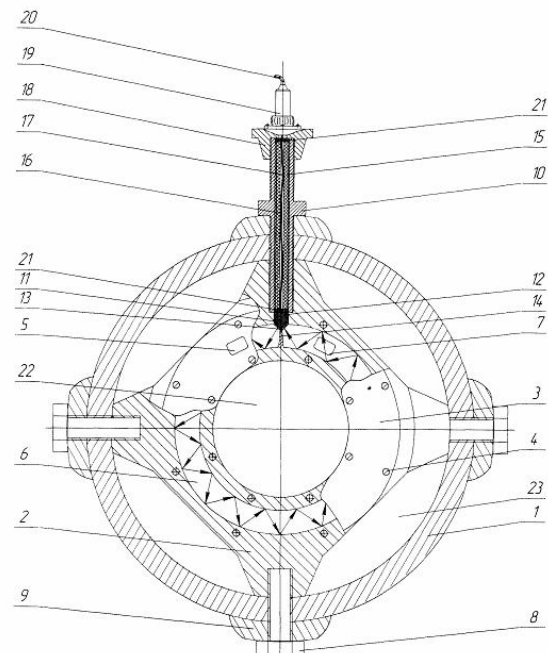
Завдяки використанню мікропроцесорного контролера суттєво зростає швидкість обробки і передачі інформації.

Основні переваги запропонованого газоаналізатора такі:

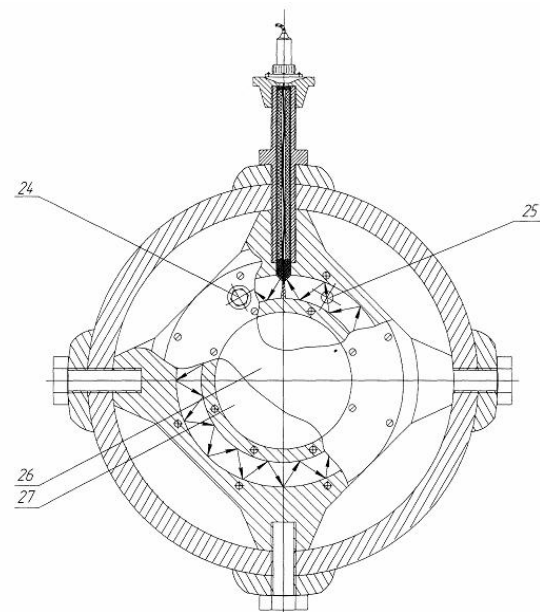
- можливість його використання безпосередньо у газопроводі середнього тиску завдяки відсутності рухомих частин, джерел потужних струмів і напруг та можливості монтажу усіх кювет всередині однієї трубної вставки;
- можливість одночасного вимірювання кількох компонент природного газу;
- підвищення чутливості кювет завдяки застосуванню кільцеподібних вимірювальних ділянок, що призводить до суттєвого підвищення їх оптичної довжини;
- підвищення точності вимірювань за рахунок використання трьохкюветної схеми;
- підвищення швидкодії завдяки застосуванню мікропроцесорного контролера.



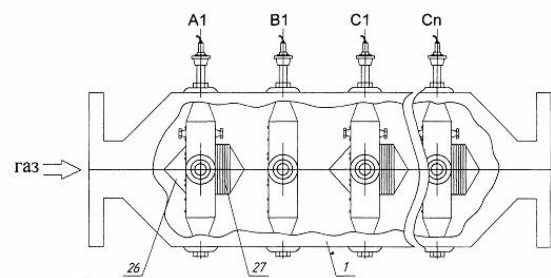
Фиг. 1



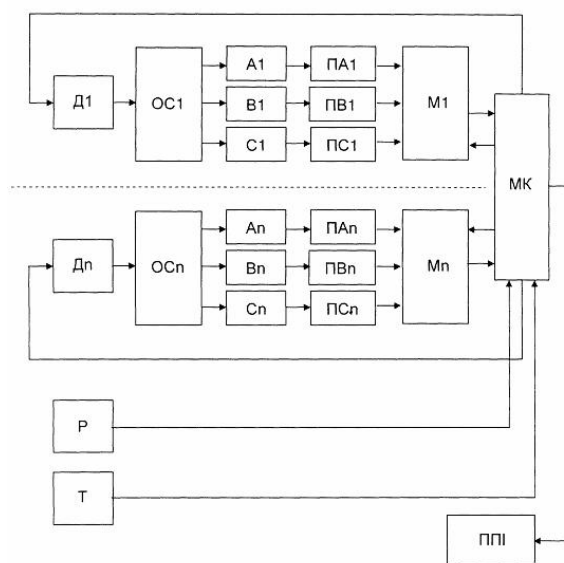
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5