



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40957 (13) A

(51) 7 G01N29/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ГАЗОАНАЛІЗАТОР

(21) 2000126991

(22) 06.12.2000

(24) 15.08.2001

(46) 15.08.2001, Бюл. № 7, 2001 р.

(72) Галкін Лев Олексійович

(73) ЗАПОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Газоаналізатор, який містить генератор, індикатор, коло реєстратора температури газової суміші, вимірювальний і зразковий акустичні канали, кожен із яких складений з послідовно з'єднаних приймального перетворювача і підсилювача, який **відрізняється** тим, що до нього додатково уведено: акустична камера, випромінювач, електричний повторювач, нуль-орган, порівняльний пристрій, D-тригер, регулюючий елемент, два ключі, два подільники (частоти та змінної напруги), два лічильники, три детектори (фазовий та два пікових), два амплітудно-імпульсних перетворювачів, два підсилювачі, при цьому вимірювальний і зразковий канали розміщені в акустичній колонці, до виходу підсилювача кожного каналу приєднаний піковий детектор, виходи яких з'єднані зі входами порівняльного пристрою, вихід якого з'єднаний з керуючим входом подільника напруги, увімкненого на виході підсилювача зразкового каналу; входи фазового детектора з'єднані: один - з виходом ке-

рованого подільника напруги, другий - з виходом підсилювача вимірювального каналу, а на виході увімкнений амплітудно-імпульсний перетворювач; послідовно з'єднані, приєднані до виходу генератора, повторювач, нуль-орган, подільник частоти і перший лічильник, виходи якого з'єднані: один - із першим ключем, другий - з іншим двовходовим ключем, входи якого з'єднані з виходами першого і другого амплітудно-імпульсних перетворювачів, а виходи з'єднані з прямим і реверсивним входами другого лічильника, який керуючим входом з'єднаний через D-тригер із другим виходом першого лічильника, а виходом з'єднаний з реєструючим індикатором; коло реєстрації температури виконано як диференційна термopapa, елементи якої розміщені у вимірювальному і зразковому каналах, спай термopapи у вимірювальному каналі з'єднаний виходом через підсилювач постійного струму з регулюючим елементом, увімкненим у коло нагрівального елемента, розміщеного в зразковому каналі, спай диференційної термopapи, розміщений в зразковому каналі, через масштабуючий підсилювач постійного струму, з'єднаний з іншим амплітудно-імпульсним перетворювачем, а випромінювач акустичних каналів приєднаний і увімкнений до виходу першого ключа.

Винахід належить до технічної фізики і може бути використаний для контролю складу і властивостей речовин та матеріалів за швидкістю поширення акустичних коливань.

Відомий акустичний газоаналізатор, що складається з випромінювального і приймального п'єзоелектричних перетворювачів, синхронізуючого генератора, формуючого каскаду, пристрою затримки, підсилювача, амплітудного детектора, вимірювача часових інтервалів, гіперболічного перетворювача (А.с. СССР № 571743, G01N 29/00, 1975).

Ознаки винаходу, спільні з ознаками аналога: випромінювальний і приймальний п'єзоелектричні перетворювачі, синхронізуючий генератор, підсилювач.

Недоліком пристрою є низька точність визначення концентрації складу газової суміші через

температурні коливання швидкості поширення звуку і необхідність попереднього градування за еталоном газом.

Відомий газоаналізатор, що складається з випромінювального і приймального електричних перетворювачів, синхронізуючого генератора, двох формувачів та тригерів, робочої і еталоної камер, спонукача витрати газу, диференціювального кола (А.с. СССР № 610012, G01N 29/00, 1977).

Ознаки винаходу, спільні з ознаками аналога: випромінювальний, приймальний електричні перетворювачі, синхронізуючий генератор, датчик температури, індикатор.

Недоліком пристрою є низька точність визначення газової суміші через температурні змінення коефіцієнтів швидкості поширення звуку в різних за складом газових середовищах. Так, наприк-

лад, температурне змінювання швидкості поширення звуку в повітрі визначають через залежність /Г.Эберт. Краткий справочник по физике.- М.: Госиздат, 1963.- С.201/

$$V_{bt} = (330 \pm 0,6 \cdot \Theta) = V_{b0}(1 \pm D_b \cdot \Theta) \text{ м/с,}$$

де V_{bt} , V_{b0} - швидкості поширення звуку в повітрі відповідно при температурі $+ \Theta^\circ\text{C}$ і 0°C , м/с;

Θ - температура повітря, $^\circ\text{C}$;

$$D_b = \frac{V_{100} - V_{20}}{V_{20} - \Delta\Theta} = \frac{387,2 - 343,8}{343,8} \cdot \frac{1}{80} = \pm 1,578 \cdot 10^{-3} -$$

температурний відносний коефіцієнт швидкості звуку в повітрі в діапазоні температур $+100^\circ\text{C}$ і $+20^\circ\text{C}$.

У той же час для водню, якщо використувати його як газ, що заповнює зразковий акустичний канал, при температурі $+100^\circ\text{C}$ і $+20^\circ\text{C}$:

$$D_{H_2} = D_c = \frac{V_{100} - V_{20}}{V_{20} - \Delta\Theta} = \frac{1466,3 - 1312,1}{80 \cdot 1312,1} = \pm 1,469 \cdot 10^{-3}$$

– температурний відносний коефіцієнт швидкості звуку у водню в діапазоні $+100^\circ\text{C}$ і $+20^\circ\text{C}$.

Найбільш близьким до запропонованого пристрою є пристрій для визначення концентрації складових досліджуваного середовища з урахуванням зміни його температури, що складається з генератора, вимірювального і зразкового акустичних каналів, кожен із яких містить у собі послідовно акустично з'єднані випромінювач, приймач, електрично з'єднані підсилювач та індикатор, спонукач витрати газу і коло реєстрації температури газу (А.с. СССР № 476498, кл. G01N 29/02, 1973), прийнятий за прототип.

Спільні з прототипом ознаки: генератор, вимірювальний і зразковий акустичні канали, випромінювач, приймач, підсилювач, коло реєстрації температури газу та індикатор.

Недоліком пристрою, як і в аналогах, є низька точність через відсутність урахування відмінності температурних коефіцієнтів швидкостей поширення звуку для газу і газової суміші в зразковому і вимірювальному акустичних каналах.

В основу винаходу поставлено задачу розробки пристрою для визначення концентрації складових газового середовища, який шляхом введення в кожен електричний канал двох пікових детекторів, блока зрівняння зразкового каналу; фазового детектора, керованого подільника напруги, двох амплітудно-імпульсних перетворювачів, повторювача, нуля-органа, двох лічильників, подільника частоти, керованого ключа, двохходового керованого ключа, D-тригера; диференційної термопари, як реєстратора температури, елементи якої розміщені в вимірюваному і зразковому каналах, підсилювача постійного струму з регулюючим елементом, нагрівального елемента, розміщеного у зразковому каналі, масштабуючого підсилювача постійного струму, що дозволяє забезпечити підвищення точності визначення концентрації складових газового середовища в широкому температурному діапазоні.

Суттєвими ознаками винаходу є наявність: генератора, вимірювального і зразкового акустичних каналів, випромінювача, приймача, підсилювача,

кола реєстрації температури газу та індикатора.

Ознаками, відмінними від прототипу, є: акустична колонка, два пікові детектори, блок зрівняння зразкового каналу; фазовий детектор, керований подільник напруги, два амплітудно-імпульсні перетворювачі, повторювач, нуля-орган, подільник частоти, два лічильники, керований ключ, двохходовий керований ключ, D-тригер; диференційна термопара як реєстратор температури, елементи якої розміщені у вимірюваному і зразковому каналах, підсилювач постійного струму з регулюючим елементом, нагрівальний елемент, розміщений в зразковому каналі, масштабуючий підсилювач постійного струму.

Існують технічні рішення, у яких використані: амплітудний детектор і пристрій затримки (А.с. СССР № 571743, G01N 29/00, 1978), тригери (А.с. СССР № 920509, G01N 29/00, 1982), фазовий детектор, перемикач (Патент США, № B506744, G01N 29/02, 1976), але елементи: амплітудно-імпульсний перетворювач, повторювач, нуля-орган, подільник частоти, нагрівник і диференційна термопара, лічильники – є суттєво новими, а вся сукупність елементів та їх послідовність з'єднання дозволяє досягти ефекту підвищення точності визначення концентрації складових газового середовища.

Блок-схема газоаналізатора зображена на фіг. 1.

Пристрій містить акустичну колонку 1 з двома акустичними каналами 2 і 3 однакової довжини L, перший із яких заповнюється газом – зразком або, наприклад, повітрям, а другий – досліджуваною газовою сумішшю; загальний випромінювач 4 і два приймальні перетворювачі 5 і 6. Випромінюючий перетворювач 4 через керований ключ 7 з'єднаний з генератором ультразвукових коливань 8. Вихід генератора 8 через електричний повторювач 9 з'єднаний із нуля-органом 10, подільником частоти 11 і семирозрядним лічильником 12, вихід сьомого розряду якого з'єднаний із замикальним, а вихід п'ятого розряду – із відмикальним виходами керованого ключа 7 і з керованим входом другого керованого ключа, вихід шостого розряду – із амплітудно-імпульсним перетворювачем 20. Приймальний перетворювач 5 зразкового акустичного каналу увімкнений на вхід підсилювача змінного сигналу 13, до виходу якого приєднаний керований подільник змінної напруги 14 і піковий детектор 15, з'єднаний з одним із входів порівняльного пристрою 16, до другого входу якого приєднаний піковий детектор 17 кола формування сигналу вимірювального акустичного каналу 3, яке складається з приймального перетворювача 6, підсилювача змінного сигналу 18, вихід якого та вихід подільника змінної напруги 14 з'єднані з входами фазового детектора 19, на виході якого увімкнений амплітудно-імпульсний перетворювач 20, керований двохходовий ключ 21, виходи яких з'єднані з двома входами реверсивного лічильника 22, на керульованому вході якого увімкнений D-тригер 23, а на виході – реєструючий індикатор 24, приєднаний до виходу сьомого реєстру лічильника 12, диференційна термопара 25 введена до обох акустичних каналів і увімкнена на вхід підсилювача 26, вихід якого з'єднаний із керульованим

входом регулюючого елемента 27, з'єднаного послідовно з нагрівником 28, розміщеним в зразковому акустичному каналі 2, спай 29 диференційної термопари 25 з'єднаний з масштабним підсилювачем 30, на виході якого включений амплітудно-імпульсний перетворювач 31.

Газоаналізатор працює таким чином. При включеному ключі 7 збуджується випромінювальний перетворювач 4 і в обидва акустичних канали синхронно випромінює ультразвуковий пакет звукових коливань. Кількість періодів гармонічних коливань і довжина акустичних каналів пов'язані цілим числом довжин хвиль, які розміщуються в першому "повітряному" каналі 2, прийнятому за зразковий, цілу кількість разів:

$$L = n \cdot \lambda_1 = n \cdot v_1 / f, \quad (1)$$

де $n = 1, 2, 3, \dots$ - ціле число;

f - частота, що задається генератором акустичних сигналів, Гц;

v_1 - швидкість поширення звуку в повітрі за нормальних умов, м/с;

λ_1 - довжина хвилі акустичних коливань у повітрі за нормальних умов, м;

L - відстань між випромінювачем і приймачем акустичного сигналу, м;

Сигнал, який надходить від генератора 8 через відкритий перший ключ 7 на випромінювальний перетворювач 4

$$U_8 = U_m \cdot \cos \omega t, \quad (2)$$

де $\omega = 2\pi f$ - кутова частота сигналу генератора, Гц; перетворюють в акустичний сигнал

$$A_4 = S_4 \cdot U_8 = S_4 \cdot U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_4), \quad (3)$$

де φ_4 - фазовий зсув, пов'язаний з перетворенням електричного сигналу в акустичний, рад;

S_4 - коефіцієнт перетворення, Па/В.

Сигнал, який пройшов акустичний канал 2

$$A_2 = \alpha_2 \cdot A_4 = \alpha_2 \cdot S_4 \cdot U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_4 + \varphi_b), \quad (4)$$

де α_2 - коефіцієнт згасання акустичного сигналу на довжині акустичного каналу;

φ_b - фазовий зсув, який визначає тривалість проходження акустичного каналу в зразковому газовому середовищі, рад;

перетворюють в електричний приймальним перетворювачем 5

$$U_5 = S_5 \cdot A_2 = S_5 \cdot \alpha_2 \cdot S_4 \cdot U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_4 + \varphi_b + \varphi_5), \quad (5)$$

де φ_5 - фазовий зсув, що визначає перетворення акустичного сигналу в електричний, рад;

S_5 - коефіцієнт перетворення, В/Па.

Електричну напругу U_5 підсилюють підсилювачем 13:

$$U_{13} = K_{13} \cdot U_5 = K_{13} \cdot S_5 \cdot \alpha_2 \cdot S_4 \cdot U_m \times \cos(\omega t + \varphi_4 + \varphi_b + \varphi_5 + \varphi_{13}), \quad (6)$$

де K_{13} - коефіцієнт підсилення підсилювача;

φ_{13} - фазовий зсув вихідного сигналу, що вноситься підсилювачем 13, рад.

Аналогічно для сигналу другого акустичного каналу 3, що пройшов через газову суміш, можна записати

$$A_3 = \alpha_3 \cdot A_4 = \alpha_3 \cdot S_4 \cdot U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_4 + \varphi_c), \quad (7)$$

де φ_c - фазовий зсув, який визначає тривалість проходження акустичного сигналу в газовому середовищі вимірювального каналу, рад;

α_3 - коефіцієнт згасання акустичного сигналу на довжині акустичного каналу 3.

Акустичний сигнал A_3 перетворюють в електричний приймальним перетворювачем 6

$$U_6 = S_6 \cdot A_3 = S_6 \cdot \alpha_3 \cdot S_4 \cdot U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_4 + \varphi_c + \varphi_6), \quad (8)$$

де φ_6 - фазовий зсув на перетворення акустичного сигналу в електричний, рад;

S_6 - коефіцієнт перетворення, В/Па; і підсилюють підсилювачем 18:

$$U_{18} = K_{18} \cdot U_6 = K_{18} \cdot S_6 \cdot \alpha_3 \cdot U_m \times \cos(\omega t + \varphi_4 + \varphi_c + \varphi_6 + \varphi_{18}), \quad (9)$$

де K_{18} - коефіцієнт підсилення підсилювача;

φ_{18} - фазовий зсув вихідного сигналу, що вноситься підсилювачем 18, рад.

Обидва сигнали за тривалістю являють собою пакет з n -періодів гармонічних коливань частоти, яка задається генератором 8, що формується періодичним включенням ключа 7. При цьому скважність пакетів є обмеження тривалості станів ключа 7: періоду надходження пакетів (тривалість відкритого та закритого станів) до тривалості відкритого стану.

Тривалості обох станів задаються за заповненням розрядів лічильника 12, із виходів якого подаються керувальні сигнали на ключ 7. Лічильниковий режим лічильника 12 забезпечується ланцюгом, що має нуль-орган 10 і подільник частоти 11.

При умові ідентичності обох каналів сигнали на виходах підсилювачів 13 і 18 відрізняються амплітудами і фазами через різні коефіцієнти згасання звуку акустичного сигналу в базовому каналі, який заповнений зразковою сумішшю, наприклад, повітрям (78% азоту, 20% кисню, 0,9% аргону, 0,05% вуглекислого газу, 0,14% водню, решта - інертні гази і гази групи $C_xH_{(n-1)x}$), і у каналі з газовою сумішшю, що контролюється, наприклад, викид ДВЗ з коефіцієнтом надлишку повітря $\delta=1$ (84% азоту, 1,5% кисню, 12% вуглекислого газу, 2% окису вуглецю, решта - водень), в моменти надходження акустичних сигналів на приймальні перетворювачі 5 і 6

$$U_{18} = U_{13}; \quad \varphi_b = \omega \cdot \tau_b = L/V_b; \quad \varphi_c = \omega \cdot \tau_c = L/V_c; \quad (10)$$

де V_b, V_c - швидкості поширення акустичного сигналу в повітрі і газовій суміші відповідно, м/с;

τ_b, τ_c - час проходження пакету сигналу акустичними каналами, с.

Для вилучення фазової похибки через неоднаковість амплітуд на виході підсилювачів 13 і 18 увімкнені пікові детектори 15 і 17, які перетворюють пікові сигнали в постійні, амплітуди яких по-

рівнюються в пристрої зрівняння 16; різницевий сигнал керує коефіцієнтом поділення подільника 14. Таким чином забезпечується умова надходження на входи фазового детектора 19 сигналів змінної напруги однакової амплітуди.

Через те, що тривалість пакету випромінених перетворювачем 4 і сигналів однакова, на виході фазового детектора одержимо постійну напругу, яка пропорційна різниці фаз вхідних змінних напруг

$$\begin{aligned} U_{19} &= S_{19} \cdot (U_{14} - U_{18}) = S_{19} \cdot \omega \cdot \Delta\tau = \\ &= S_{19} \cdot \omega \cdot \frac{L}{V_b} \left(1 - \frac{V_b}{V_c} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

де $\Delta\tau = (\tau_b - \tau_c) = \frac{L}{V_b} (1 - \beta)$ - різницевий час проходження сигналу співвідношення швидкостей поширення звуку в середовищах каналів 2 та 3 однакової температури, с.

$B = V_b/V_c$ - коефіцієнт, що визначається різницею складу середовищ в акустичних каналах 2 і 3.

Вихідний сигнал фазового детектора 19 перетворюється амплітудно-імпульсним перетворювачем 20 у кількість імпульсів

$$\begin{aligned} U_{20} &= S_{20} \cdot U_{19} = S_{20} \cdot S_{19} \cdot \omega \cdot x \\ &\times \frac{L}{V_b} (1 - B) = N_k, \end{aligned} \quad (12)$$

де S_{20} - коефіцієнт перетворення часово-імпульсного перетворювача 20, в/с;

N_k - кількість імпульсів на виході перетворювача, яка пропорційна різниці складів середовищ в каналах 2 і 3;

S_{19} - коефіцієнт перетворення фазового детектора 19, рад/в.

На виході амплітудно-імпульсного перетворювача увімкнений ключ 21, керований імпульсами з виходу лічильника 12, який в одному стані відмикає його прямий канал лічби для пропускання кількості N_k імпульсів, пропорційної складу середовища, із виходу амплітудно-імпульсного перетворювача 20, а в другому - відмикаючи його для пропускання на вхід лічильника 22 кількості імпульсів N_m , яка пропорційна температурі газової суміші в акустичному каналі 3. Між каналами 2 і 3 забезпечується сильний тепловий зв'язок, тому що обидва канали виконуються в одному корпусі акустичної колонки 1.

Урахування температурної залежності швидкості звуку здійснюють у вимірному колі, виконаному на базі спая 29 термopар 25, масштабуючого підсилювача 30 і амплітудно-імпульсного перетворювача 31.

Температурна зміна фази сигналу через існуючу температурну залежність швидкості звуку в каналі газової суміші 3 у діапазоні температур:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{\tau} &= \omega \cdot (\tau_{cT} - \tau_{c0}) = \left(\frac{L}{V_{cT}} - \frac{L}{V_{c0}} \right) = \\ &= \frac{\omega \cdot L}{V_{c0}} \left(\frac{1}{1 + D_c \cdot \Theta} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

де D_c - температурні коефіцієнти змінення швидкості звуку в газовій суміші.

Фазовий зсув вхідних сигналів, пропорційний температурному змінненню швидкості поширення звуку в повітрі у відношенні до температурного змінненню швидкості звуку в каналі 3 газової суміші:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{\tau} &= \omega \cdot (\tau_{bT} - \tau_{cT}) = \frac{\omega \cdot L}{V_{b0} \cdot (1 \pm D_b \cdot \Theta)} \times \\ &\times \left(1 - \frac{V_{b0}}{V_{c0}} \cdot D \right) \end{aligned} \quad (14)$$

де $\Delta\varphi_{\tau}$ - температурна різниця фазового зсуву вхідних сигналів, рад;

$$D = \frac{(1 \pm D_b \cdot \Theta)}{1 \pm D_c \cdot \Theta} - \text{різницевий температурний}$$

відносний коефіцієнт швидкості звуку в повітрі і газовій суміші.

Амплітуду вихідного сигналу масштабуючого підсилювача 30 настроюють пропорційно до температурних змін швидкості звуку в повітрі

$$U_{30} = K_{30} \cdot S_{29} \cdot \Theta = D_b \cdot \Theta, \quad (15)$$

де K_{30} - коефіцієнт підсилення масштабуючого підсилювача 30;

S_{29} - чутливість термopар 29 (напрямо до термopар мідь-константал $5 \cdot 10^{-5}$ в/град.).

Звідки коефіцієнт підсилення масштабуючого підсилювача 30 має мінімальне необхідне значення ($\Delta\Theta \rightarrow 0$):

$$\begin{aligned} K_{30} &= \frac{D_b}{S_{29} \cdot \Theta} = \frac{1,8182 \cdot 10^{-3} \cdot \Theta}{S_{29} \cdot \Theta} = \\ &= \frac{1,8182 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-5}} \approx 36,4. \end{aligned}$$

На виході амплітудно-імпульсного перетворювача 31 формують вихідний сигнал, пропорційний температурі у вигляді кількості імпульсів:

$$U_{31} = K_{31} \cdot U_{30} = K_{31} \cdot K_{30} \cdot S_{29} \cdot \Theta = N_m, \quad (16)$$

де K_{31} - чутливість перетворення амплітудно-імпульсного перетворювача;

N_m - число імпульсів, пропорційне температурному фазовому зсуву, тобто змінненню швидкості поширення звуку від температури в газовій суміші по відношенню до змінненню швидкості поширення звуку від температури повітря.

Число імпульсів, пропорційне складу газової суміші N_k і температурі N_m , надходить до лічильника 22 і подається в цифровому вигляді.

Різниця значень

$$N = N_k - N_m, \quad (17)$$

відповідає складу газової суміші при 0°C .

Якщо в обох акустичних каналах знаходиться однакове газове середовище при однаковій температурі, то число імпульсів, пропорційне складу середовища, дорівнює нулю і газоаналізатор виступає як акустичний термометр.

Газоаналізатор розв'язує задачу: визначення складу суміші в широкому температурному діапазоні з температурною корекцією за "повітрям" (газом -зразком).

Урахування температури газової суміші дозволяє в діапазоні до 100°C з точністю до $\left[\frac{v_{100} - v_0}{v_0} \cdot 100\% = 0,2143\% \right]$ записати залежність

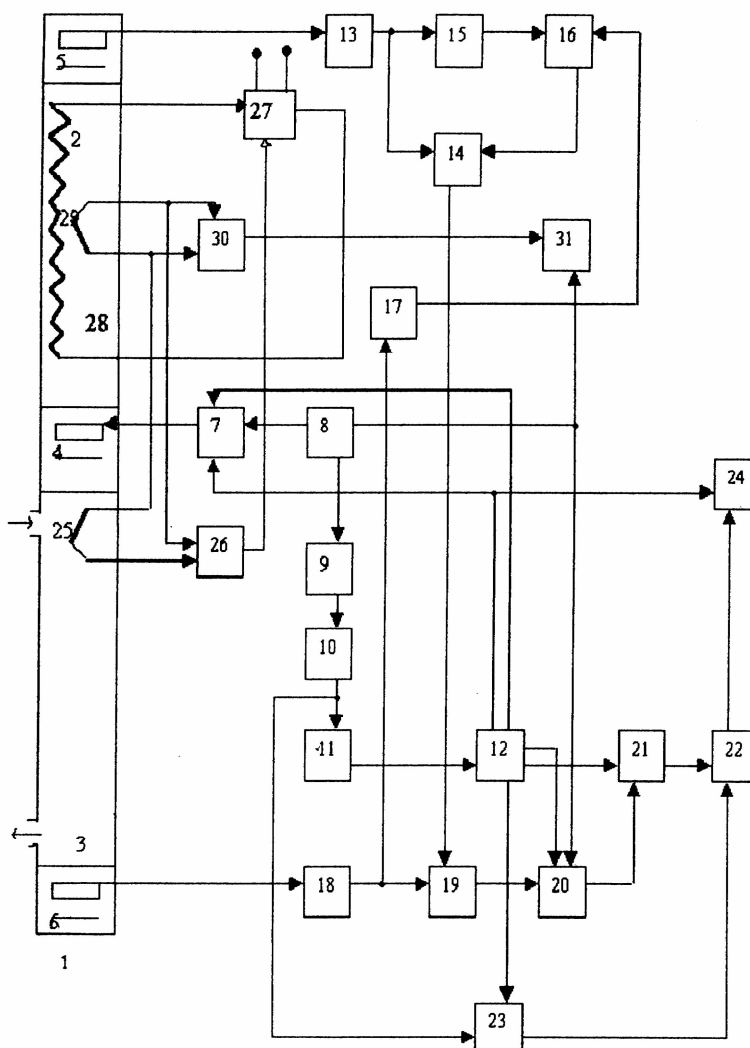
швидкості поширення звуку в газовому середовищі від його молекулярного складу

$$v_c = Q \cdot f \cdot (\mu_c)^{1/2} = 56,357 / \sqrt{\mu_c}, \quad (18)$$

де $Q \cdot f = 56,357$ (Дж/моль) – постійний коефіцієнт;

$$Q = (\gamma_m \cdot T \cdot R)^{1/2} = 56,356738 [\text{Дж/моль}].$$

Таким чином, урахування температури за "повітрям" (газ-зразок) або за складом газової суміші забезпечує виключення з результату визначення складу газу температурних похибок.



Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03