



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78366 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01N 15/02
G01N 15/10
G01N 21/01

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ

1

(21) а200502570
(22) 21.03.2005
(24) 15.03.2007
(46) 15.03.2007, Бюл. № 3, 2007 р.
(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Бабенко Андрій Євгенійович
(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ
(56) SU 1758519 A1, 30.08.1992
SU 890166, 15.12.1981
SU 570818, 30.08.1977
SU 739375, 05.06.1980
RU 2000147 C, 07.09.1993
US 3854045, 10.12.1974
EP 0783101 A2, 09.07.1997
JP 63154938, 28.06.1988
JP 61088126, 06.05.1986
DE 19742733 A1, 29.04.1999
(57) Цифровий вимірювач концентрації пилу, що містить цифровий відліковий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, мікроконтролер і перетворювач "код-напруга", які з'єднані між собою через загальну шину, та оптико-механічний блок, що складається із коаксіально розташованих циліндричних патрубків, внутрішній з яких є частиною пилогазопроводу, перпендикулярно вертикальній осі циліндричних патрубків врізані два додаткові патрубки, всередині першого з яких послідовно розташовані вздовж основної оптичної осі перше відбиваюче дзеркало і перше скляне вікно, всередині другого додаткового патрубка розміщені друге скляне вікно і перша фокусуюча лінза, зовні другого додаткового патрубка оптико-механічного блока розташовані вздовж тієї ж оптичної осі напівпрозора пластина, друга фокусуюча лінза і джерело оптичного випромінювання, в місці фокусування якого розташований обтюраторний диск, який жор-

2

стко з'єднаний з синхродвигуном, вхід керування якого приєднаний через перетворювач "код-напруга" до загальної шини, при цьому напівпрозора пластина оптично з'єднана також через третю фокусуючу лінзу з фотоприймачем, вихід якого підключений до сигнального входу синхронного детектора, керуючий вхід якого з'єднаний з виходом фотоприймача-формувача, вхід якого оптично з'єднаний через обтюраторний диск з виходом світлодіода, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введені механізм керування з діафрагмою, силіконова циліндрична камера порівняння з пилогазовою сумішшю заданої концентрації, що змінює форму, третє скляне вікно, направляючий патрубок і поршень з механізмом переміщення, друге і третє рухомі відбиваючі дзеркала з механізмами переміщення і перетворювач "аналог-код", вхід якого підключений до виходу синхронного детектора, а вихід з'єднаний з загальною шиною, до якої підключені також входи керування механізмів переміщення і вхід механізму керування з діафрагмою, що розташований між третьою фокусуючою лінзою і фотоприймачем, в другому додатковому патрубку оптико-механічного блока між третім скляним вікном і першою фокусуючою лінзою розташована силіконова камера порівняння, що змінює форму, з зовнішньою нижньою частиною якої жорстко з'єднаний торець поршня, при цьому друге рухоме відбиваюче дзеркало розташоване між стінками направляючого патрубка і зовнішньою стінкою лівої частини пилогазопроводу, а третє рухоме відбиваюче дзеркало розташоване між зовнішньою стінкою правої частини пилогазопроводу і внутрішньою стінкою зовнішнього коаксіально розташованого циліндричного патрубка оптико-механічного блока.

Винахід відноситься до області вимірювання запиленості газових середовищ оптичними методами, у тому числі для вимірювання концентрації пилу тієї чи іншої фізичної природи.

Відомий вимірювач концентрації пилу [див., наприклад, авторское свидетельство №523790, кл. G01 N15/02, В.И. Труш. Оптический пылемер.], містить з'єднані відповідним чином блок освітлю-

(19) UA (11) 78366 (13) C2

вача, блок фотоприймача, які містять захисні стекла з нанесеним на них провідниковим шаром, а також короніруючі електроди, що підключені до провідникового шару захисних стекел.

Відомий вимірювач концентрації пилу забезпечує зменшення запиленості захисних стекел. Але в ньому не виключаються похибки, що обумовлені нестабільністю функції перетворення фотоприймача в результаті дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Це приводить до зниження точності вимірювання концентрації пилу зазначеним способом.

Відомий вимірювач концентрації пилу [див. авторское свидетельство №811 1758519 А1, кл. G01N 15/02 В.И. Тупихин, П.У. Костогрыз и О.Н. Сидельникова. Способ автоматического измерения пыли в газопылевых средах.], що містить джерело, дзеркала, лінзи, обтюратор, вимірювальний об'єм, фотоприймач, діафрагму, плоский імітатор досліджуваного пилу, підсилювач, виконуючий механізм, шкалу концентрації пилу та пастку, що з'єднані між собою відповідним чином.

Відомому вимірювачу концентрації пилу також притаманна недостатня точність вимірювання, яка обумовлена наявністю мультиплікативної складової похибки вимірювання, похибки, що обумовлена неідентичністю характеристик каналів перетворення, наявністю похибки імітації газопилового потоку, а також похибки позиціонування діафрагми. Крім того, на результат вимірювання впливає запотівання і забруднення стекел, через які проходить оптичне випромінювання.

Найбільш близьким по своїй технічній сутності є вимірювач концентрації пилу [Клименко А.П. и др./ А.П. Клименко, В.И. Королёв, В.И. Шевцов, - К.: Техника, 1980. - 181с., Оптические абсорбционные пылемеры, выпускаемые зарубежными фирмами, ст. 89 рис.21], що містить оптико-механічний блок, що складається із коаксіально розташованих патрубків, внутрішній із яких є частиною пилогазопроводу, перпендикулярно вертикальній осі циліндричних патрубків врізано два додаткових патрубки, всередині першого із яких послідовно розташовані вздовж основної оптичної осі відбивне дзеркало і перше скляне вікно, всередині другого додаткового патрубка розміщене друге скляне вікно і перша фокусуюча лінза, назовні другого додаткового патрубка оптико-механічного блока розташована вздовж тієї ж оптичної осі напівпрозора пластина, друга фокусуюча лінза і джерело оптичного випромінювання, в місці концентрації (фокусування) якого розташований обтюраторний диск, який жорстко з'єднаний з синхродвигуном, при цьому напівпрозора пластина оптично з'єднана також, через третю фокусуючу лінзу, з фотоприймачем.

Відомому вимірювачу концентрації пилу властиві недоліки, обумовлені неідентичністю каналів перетворення потужності потоків випромінювання в електричний сигнал, нестабільністю функції перетворення фотоприймача, обумовленої дією зовнішніх дестабілізуючих факторів, труднощами формування двох ідентичних потоків випромінювання, а також запотіванням і забрудненням дзеркал, розташованих у газопилових потоках.

В основу винаходу покладена задача створення такого цифрового вимірювача концентрації пилу, у якому шляхом введення заданої кількості функціональних блоків та їх зв'язків між собою та з відомими блоками, забезпечувало б підвищення точності визначення концентрації пилу при нестабільній функції перетворення оптичного сигналу в електричний сигнал та при запотіванні і забрудненні оптичних елементів, що розташовані поблизу газопилового потоку.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що цифровий вимірювач концентрації пилу містить цифровий відліковий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, мікроконтролер і перетворювач "код-напруга", що з'єднані між собою через загальну шину, оптико-механічний блок, що складається із коаксіально розташованих патрубків, внутрішній із яких є частиною пилогазопроводу, перпендикулярно вертикальній осі циліндричних патрубків врізано два додаткових патрубки, всередині першого із яких послідовно розташовані вздовж основної оптичної осі відбивне дзеркало і перше скляне вікно, всередині другого додаткового патрубка розміщене друге скляне вікно і перша фокусуюча лінза, назовні другого додаткового патрубка оптико-механічного блока розташована вздовж тієї ж оптичної осі напівпрозора пластина, друга фокусуюча лінза і джерело оптичного випромінювання, в місці концентрації (фокусування) якого розташований обтюраторний диск, який жорстко з'єднаний з синхродвигуном, вхід управління якого під'єднаний через перетворювач "код-напруга" з загальною шиною, при цьому напівпрозора пластина оптично з'єднана також через третю фокусуючу лінзу, з фотоприймачем, вихід якого підключений до сигнального входу синхронного детектора, управляючий вхід якого з'єднаний з виходом фотоприймача-формуєвача, вхід якого оптично з'єднаний через обтюраторний диск, з виходом світлодіода, що відрізняється тим, що в вимірювачі додатково введені діафрагма з механізмом управління, силіконова камера порівняння з пилогазовою сумішшю заданої концентрації, що змінює форму, третє і четверте скляні вікна, направляючий патрубок і поршень з механізмом переміщення, друге і третє рухомі відбиваючі дзеркала з механізмами переміщення і перетворювач "аналог-код", вхід якого підключений до виходу синхронного детектора, вихід з'єднаний з загальною шиною, до якої підключені і входи управління механізмів переміщення і механізму управління з діафрагмою, що розташована між третьою фокусуючою лінзою і фотоприймачем, в першому додатковому патрубку між відбиваючим дзеркалом і другим скляним вікном розташовано перпендикулярно основній оптичній осі третє скляне вікно, в другому додатковому патрубку оптико-механічного блока між другим скляним вікном і першою фокусуючою лінзою розташовані перпендикулярно основній оптичній осі відповідно четверте скляне вікно і силіконова камера порівняння, що змінює форму, з зовнішньою нижньою частиною якої жорстко з'єднаний торець поршня, при цьому друге рухоме відбиваюче дзеркало розташовано між стінками направляючого патрубка і зовнішньою стінкою лівої частини пилогазопроводу, третє ру-

хоме відбиваюче дзеркало розташовано між зовнішньою стінкою правої частини пилогазопроводу і внутрішньою стінкою зовнішнього із коаксіально розташованого циліндричного патрубка оптико-механічного блока.

На малюнку наведена структурна схема пристрою для вимірювання концентрації пилу, де 1 - генератор оптичного випромінювання; 2 - перетворювач "код-напруга"; 3 - фокусуюча лінза; 4 - синхродвигун; 5 - світлодіод; 6 - обтюраторний диск; 7 - напівпрозора пластина; 8 - механізм управління з діафрагмою; 9 - фотоприймач з підсилювачем; 10 - фокусуюча лінза; 11 - фотоприймач-формував; 12 - синхронний детектор; 13 - оптико-механічний вузол, що включає в себе лінзу 14, циліндричну камеру змінної форми 15, поршень 16, три оглядові стекла 17, 18, 19, 20 - перше відбивне дзеркало; друге і третє відбиваючі дзеркала 21 і 22 відповідно; 23 - механізм переміщення; 24 - трубопровід для пилогазового потоку; 25 - перетворювач "аналог-код"; 26 і 27 - синхродвигуни; 28 - мікроконтролер; 29 - постійний запам'ятовуючий пристрій; 30 - цифровий відліковий пристрій; 31 - загальна шина.

Припустимо, що реальна функція перетворення фотоприймача описується рівнянням величин

$$U_x = S'_n \Phi_x + \Delta U'_n,$$

де S'_n - крутість (чутливість) перетворення реальної функції перетворення вимірювального каналу ($\{S'_n\} = \{S_n\} \cdot (1 + \gamma_n)$); γ_n - відносне відхилення чутливості вимірювального каналу від номінального значення ($\gamma_n = \Delta S_n / S_n$); $\{\Delta U'_n\}$ - реальне за розміром зміщення функції перетворення $\{\Delta U'_n\} = \{\Delta U_n\} + \{\Delta_a\}$, ΔU_n - номінальне за розміром зміщення функції перетворення; Δ_a - адитивна складова похибки перетворення.

Відомо, що потужність потоку оптичного випромінювання, який пройшов через пилогазове середовище, послаблюється згідно з законом Ламберта-Бугера-Бера

$$\Phi_x = \Phi_0 e^{(-k_1 C_x l_0)},$$

де Φ_0 - початкова потужність потоку випромінювання, k_1 - питомий показник поглинання світла на одиницю концентрації речовини, l_0 - товщина шару речовини, C_x - концентрація речовини.

Розглянемо роботу цифрового вимірювача концентрації пилу. Після включення живлення механізм управління з діафрагмою 8, поршень 16, дзеркала 21 та 22 встановлюються в положення, що показано на малюнку. Включається генератор оптичного випромінювання 1, а також синхродвигун 4 з обтюраторним диском 6. За допомогою обтюраторного диску 6 здійснюється модуляція потоку оптичного випромінювання. Цифровий відліковий пристрій 30 показує нулі.

Робота пристрою складається з п'яти тактів вимірювання і одного такту обчислення кінцевого результату.

В першому такті по команді з мікроконтролера 28 на механізм управління з діафрагмою 8 поступає код числа, що забезпечує закриття діафрагми. В результаті світловий потік, що проходить від джерела оптичного випромінювання по оптичному

каналу, відбивається від дзеркала 20 і напівпрозорої пластини 7 і через фокусуючу лінзу 10 на фотоприймач з підсилювачем 9 не поступає.

В першому такті в постійну напругу U_1 перетворюється потужність Φ_1 потоку випромінювання нульової інтенсивності, тобто $\{\Phi_1\} = 0$. Напруга

$$U_1 = \Delta U_n \quad (1)$$

за допомогою АЦП 25 перетворюється у код числа:

$$N_1 = S_{np} \cdot U_1, \quad (2)$$

де S_{np} - крутизна перетворення АЦП.

Отримане значення N_1 (2) напруги U_1 (1) запам'ятовується у ПЗП 29. В другому такті по команді з мікроконтролера 28 включається синхродвигун 26, за допомогою якого відбивне дзеркало 21 встановлюється в крайнє верхнє положення (див. малюнок). Також такті по команді з мікроконтролера 28 сигнал керування поступає на механізм управління з діафрагмою 8 і відкриває останню.

Потік оптичного випромінювання, що формується генератором оптичного випромінювання 1 і проходить по оптичному каналу через фокусуючу лінзу 3, обтюраторний диск 6, напівпрозору пластину 7, лінзу 14, циліндричну камеру змінної форми 15 і оглядове скло 17, відбивається від дзеркала 21 і через оглядове скло 17, циліндричну камеру змінної форми 15, лінзу 14 поступає на напівпрозору пластину 7, відбивається від неї і через фокусуючу лінзу 10 і відкриту діафрагму 8 поступає на фотоприймач з підсилювачем 9.

Оскільки в цьому такті потік оптичного випромінювання проходить через пилогазовий потік з товщиною шару l_0 та з відомою концентрацією C_0 , то у цьому такті вимірюється потужність послабленого потоку оптичного випромінювання Φ_0 . В результаті на вихід АЦП поступає напруга

$$U_2 = S_n e^{(-k_1 C_0 l_0 - A_\infty)} + \Delta U, \quad (3)$$

де A_∞ - коефіцієнт поглинання потоку оптичного випромінювання за рахунок запотівання оптичних елементів.

За допомогою АЦП 25 напруга U_2 (3) перетворюється у код числа

$$N_2 = S_{np} \cdot U_2, \quad (4)$$

Отримане значення N_1 (4) запам'ятовується у ПЗП 29.

У третьому такті за командою з мікроконтролера 28, що поступає на вхід керування механізму переміщення 23, здійснюється переміщення у верхнє положення поршня, що показано на малюнку пунктирними лініями. В результаті товщина шару l_0 пилогазового потоку збільшиться у k_n раз, тобто

$$\{l_2\} = k_n \{l_0\}.$$

Потік оптичного випромінювання від генератора оптичного випромінювання 1 проходить по оптичному каналу через фокусуючу лінзу 3, обтюраторний диск 6, напівпрозору пластину 7, лінзу 14, циліндричну камеру змінної форми 15 (з товщиною шару l_2), оглядове скло 17 і друге оглядове скло 18, поступає на дзеркало 21, відбивається і зворотнім ходом поступає на напівпрозору пластину 7, відбивається від неї і за допомогою фокусуючої лінзи 10 фокусується на вхід фотоприймача з підсилювачем 9.

Послаблений потік оптичного випромінювання перетворюється у постійну напругу

$$U_3 = S_{\text{л}} e^{(-k_1 C_0 I_0 - A_{\infty})} + \Delta U, (5)$$

яка поступає на АЦП 25. На виході АЦП 25 формується код числа

$$N_3 = S_{\text{пр}} \cdot U_3, (6)$$

який запам'ятовується у ПЗП 29.

У четвертому такті за командою з мікроконтролера 28 за допомогою синхродвигуна 26 дзеркало 21 встановлюється в початкове положення, яке показано на малюнку, а за допомогою синхродвигуна 27 дзеркало 22 встановлюється у верхнє положення. Після цього по команді з мікроконтролера 28 на вхід керування механізму переміщення 23 поступає код числа, що встановлює поршень 16 в нижнє положення.

Потік оптичного випромінювання Φ_0 проходить через пилогазові потоки з відомою C_0 і невідомою C_x концентраціями при їх товщинах шарів l_0 і l_1 відповідно. Потік оптичного випромінювання від генератора оптичного випромінювання 1 проходить по оптичному каналу, поступає на відбиваюче дзеркало 22, відбивається і зворотнім ходом поступає на напівпрозору пластину 7. Відбитий від напівпрозорої пластини 7, потік оптичного випромінювання за допомогою фокусувальної лінзи 10 фокусується на вхід фотоприймача з підсилювачем 9.

Перетворюють послаблений потік оптичного випромінювання Φ_4 у напругу

$$U_4 = S_{\text{л}} e^{(-k_1 C_0 I_0 - k_2 C_x I_1 - A_{\infty} - A_{\text{л}})} + \Delta U, (7)$$

де $A_{\text{л}}$ - коефіцієнт поглинання потоку оптичного випромінювання за рахунок забруднення оптичних елементів. Після АЦП маємо:

$$N_4 = S_{\text{пр}} \cdot U_4, (8)$$

Отримане значення N_1 (4) запам'ятовується у ПЗП 29.

У п'ятому такті за командою з мікроконтролера 28 за допомогою синхродвигуна 27 дзеркало 22 встановлюється в крайнє нижнє положення, яке показано на малюнку. По іншій команді з мікроконтролера 28 на вхід керування механізму переміщення 23 поступає код числа, що встановлює поршень 16 в верхнє положення.

Змінюють товщину l_1 шару в k_n раз, тобто встановлюють значення товщини шару рівним

$$\{l_3\} = k_n \{l_1\}$$

Пропускають потік оптичного випромінювання Φ_0 через пилогазові потоки з відомою C_0 і невідомою C_x концентраціями при одних і тих же значеннях товщин шарів l_2 і l_3 ($\{l_2\} = k_n \{l_0\}$, $\{l_3\} = k_n \{l_1\}$) відповідно. Потік оптичного випромінювання від генератора оптичного випромінювання 1 проходить по оптичному каналу через фокусувальну лінзу 3, обтюраторний диск 6, напівпрозору пластину 7, лінзу 14, циліндричну камеру змінної форми 15 (з товщиною шару l_2), оглядові стекла 17, 18 і 19 відповідно, поступає на відбиваюче дзеркало 20, відбивається і зворотнім ходом поступає на напівпрозору пластину 7. Відбитий від напівпрозорої пластини 7, потік оптичного випромінювання за

допомогою фокусувальної лінзи 10 фокусується на вхід фотоприймача з підсилювачем 9.

Постійна напруга

$$U_5 = S_{\text{л}} e^{(-k_1 C_0 I_0 k_n - k_2 C_x I_1 k_n - A_{\infty} - A_{\text{л}})} + \Delta U (9)$$

в яку перетворено потік оптичного випромінювання Φ_5 , що пройшов через пилогазові потоки з відомою і невідомою концентраціями при одних і тих же значеннях товщин шарів l_2 і l_3 ($\{l_2\} = k_n \{l_0\}$, $\{l_3\} = k_n \{l_1\}$) за допомогою АЦП 25 перетворюється у код числа:

$$N_5 = S_{\text{пр}} \cdot U_5, (10)$$

Даний код числа запам'ятовується у ПЗП 29.

Отримані результати проміжних вимірювань обробляють згідно з рівняннями числових значень

$$N_{C_x} = \frac{1}{(1 - k_{\text{л}}) k_2 \{l_0\}} \ln \left(\frac{N_5 - N_1}{N_4 - N_1} \cdot \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \right)$$

де k_2 - коефіцієнт поглинання пилу на одиницю речовини, $\{l_0\}$ - розмір товщини шару, причому вибрано $\{l_0\} = \{l_1\}$

Покажемо, що дійсно за допомогою запропонованого рівняння надлишкових вимірювань забезпечується одержання позитивного ефекту. Для цього в рівняння (11) підставимо аналітичні вирази (2), (4), (6), (8), (10) та зробимо спрощення:

$$\begin{aligned} N_{C_x} &= \frac{1}{(1 - k_{\text{л}}) k_2 \{l_0\}} \ln \left(\frac{N_5 - N_1}{N_4 - N_1} \cdot \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \right) = \frac{1}{(1 - k_{\text{л}}) k_2 \{l_0\}} \times \\ &\times \ln \left(\frac{\left(\frac{S_{\text{пр}} \cdot S_{\text{л}} e^{(-k_1 C_0 I_0 k_n - k_2 C_x I_1 k_n - A_{\infty} - A_{\text{л}})} + \Delta U \right) - (S_{\text{пр}} \cdot \Delta U)}{(S_{\text{пр}} \cdot S_{\text{л}} e^{(-k_1 C_0 I_0 - k_2 C_x I_1 - A_{\infty} - A_{\text{л}})} + \Delta U) - (S_{\text{пр}} \cdot \Delta U)} \right) / \left(\frac{S_{\text{пр}} \cdot S_{\text{л}} e^{(-k_1 C_0 I_0 k_n - A_{\infty} - A_{\text{л}})} + \Delta U \right) - (S_{\text{пр}} \cdot \Delta U)}{(S_{\text{пр}} \cdot S_{\text{л}} e^{(-k_1 C_0 I_0 - A_{\infty} - A_{\text{л}})} + \Delta U) - (S_{\text{пр}} \cdot \Delta U)} \right) = \\ &= \frac{1}{(1 - k_{\text{л}}) k_2 \{l_0\}} \times \\ &\times \ln e^{(-k_1 C_0 I_0 k_n - k_2 C_x I_1 k_n - A_{\infty} - A_{\text{л}} + k_1 C_0 I_0 + k_2 C_x I_1 + A_{\infty} + A_{\text{л}} + k_1 C_0 I_0 k_n + A_{\infty} - k_1 C_0 I_0 - A_{\infty})} = \\ &= \frac{1}{(1 - k_{\text{л}}) k_2 \{l_0\}} \cdot C_x k_2 l_0 (-k_{\text{л}} + 1) = C_x \end{aligned}$$

Описаний вимірювач концентрації пилу забезпечує виключення адитивної та мультиплікативної складових похибки вимірювання, впливу абсолютних значень параметрів функції перетворення фотоприймача та їх відхилень від номінальних значень, а також похибок, обумовлених запотіванням та забрудненням оптичних елементів, що знаходяться в області дії газопилового потоку, на кінцевий результат вимірювання.

Позитивний ефект, отриманий завдяки введенню в цифровий вимірювач концентрації пилу заданої кількості функціональних блоків та їх зв'язків між собою та з відомими блоками, забезпечує підвищення точності визначення концентрації пилу при нестабільній функції перетворення оптичного сигналу в електричний сигнал та при запотіванні і забрудненні оптичних елементів, що розташовані поблизу газопилового потоку.

Таким чином, запропонований цифровий вимірювач концентрації пилу забезпечує вирішення зазначеної задачі.

