



УКРАЇНА

(19) UA (11) 75703 (13) C2
(51) МПК
G01N 21/61 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ РЕЧОВИН

1

(21) 2004032055

(22) 19.03.2004

(24) 15.05.2006

(46) 15.05.2006, Бюл. № 5, 2006 р.

(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Сітар
Валерія Борисівна

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(56) SU 1616320, 20.03.1995

SU 1828544, 15.07.1993

RU 2012868, 15.05.1994

US 4010368, 01.03.1997

US 3531209, 29.09.1970

US 4302206, 24.11.1981

(57) Цифровий вимірювач концентрації речовин, що містить джерело ультрафіолетового випромінювання, першу фокусуючу лінзу, перший та другий вимірювальні канали, кожен з яких складається з оптично та електрично з'єднаних між собою робочої кювети або кювети порівняння, фокусуючої лінзи, фотоприймача, селективного підсилювача сигналів частоти модуляції та синхронного детектора, світловипромінюючий діод, обтюраторний диск з синхронним двигуном, та з'єднані між собою фотодіод і формувач синхроімпульсів, причому джерело ультрафіолетового випромінювання зв'язане оптично через першу фокусуючу лінзу з кюветами, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введені перший і другий аналого-цифрові перетворювачі, чотири ємності з досліджуванним середовищем різних концентрацій, які оснащені клапанами постачання та зливними клапанами, перший та другий сенсори тиску, блок підсилювачів потужності і з'єднані між собою через загальну шину цифровий відліковий пристрій, оперативний запам'ятовуючий пристрій та мікропроцесор, входи та виходи першого порту якого через загальну шину підключені до вихо-

2

дів першого і другого аналого-цифрових перетворювачів, входи яких з'єднані, відповідно, з виходами першого і другого синхронних детекторів, вхід послідовного порту мікропроцесора підключений до виходу формувача синхроімпульсів, з яким з'єднані вхід першого синхронного детектора та, через інвертор, вхід другого синхронного детектора, перший та другий входи другого порту мікропроцесора підключені, відповідно, до виходів першого та другого сенсорів тиску, входи та виходи третього порту з'єднані з відповідними входами блока підсилювачів потужності, перший, другий і третій входи якого підключені, відповідно, до входів керування першого, другого і третього клапанів постачання, четвертий, п'ятий і шостий входи з'єднані з першим, другим і третім зливними клапанами, відповідно, сьомий вихід підключений до входу керування джерела ультрафіолетового випромінювання, восьмий вихід з'єднаний з входом керування двигуном обтюраторного диска, дев'ятий вихід підключений до світловипромінюючого діода, десятий вихід блока підсилювачів потужності з'єднаний з мікронасосом, вихід якого підключений до входу кювети порівняння, перший вихід якої з'єднаний з входом першого сенсора тиску, другий вихід через перший і другий зливні клапани підключений, відповідно, до першої і другої ємностей з досліджуванним середовищем нормованих за розміром концентрацій речовини, виходи яких через перший і другий клапани постачання з'єднані з входом мікронасоса, при цьому вихід третьої ємності з досліджуванним середовищем через третій клапан постачання підключений до входу робочої кювети, перший вихід якої з'єднаний з входом другого сенсора тиску, а другий вихід робочої кювети через третій зливний клапан підключений до четвертої технологічної ємності.

Винахід відноситься до спектрофотометрії, зокрема, до вимірювання концентрації речовин та матеріалів за поглинанням ультрафіолетового випромінювання і може бути використаний для

визначення концентрації газоподібних та рідинних речовин.

Відомий вимірювач концентрації речовин [див. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей. Пер. с чеш. Под ред. О.С.Арутюнова -М.-: «Энер-

(19) UA (11) 75703 (13) C2

гия». 1970 - 552с.], який містить джерело монохроматичного ультрафіолетового випромінювання, першу фокусуючу лінзу, обтюраторний диск, робочу кювету для досліджуваної речовини та кювету порівняння, другу фокусуючу лінзу, фотоприймач, що підключений через підсилювач до системи обробки сигналів, причому джерело ультрафіолетового випромінювання оптично з'єднано через фокусуючу лінзу з вхідними вікнами кожної кювети.

У відомому вимірювачі нестабільність параметрів функції перетворення фотоприймача ультрафіолетового випромінювання приводить до появи адитивної та мультиплікативної складових похибки вимірювання. Крім того, відомий вимірювач не виключає похибок, обумовлених поглинанням ультрафіолетового випромінювання стінками кювети та елементами оптичного тракту. Все це приводить до недостатньої точності вимірювання.

Відомий вимірювач концентрації речовин [а.с. СРСР №1828544, МПК: G01N21/61, Бюл. №26, 1993р.], який містить джерело ультрафіолетового монохроматичного випромінювання, обтюраторний диск, робочу і порівняльну кювети, фотоприймач, відліковий пристрій, систему обробки сигналів приймача, що включає синхронний детектор, фотодіод та формувач синхроімпульсів, при цьому вихід фотоприймача з'єднано з відліковим пристроєм через систему обробки сигналів, фотодіод з'єднано з обтюраторним диском, вихід фотодіоду підключено через формувач синхроімпульсів до управляючих входів синхронного детектору, причому обтюраторний диск виконаний з можливістю отримання на виході фотодіоду сигналу синхронізації з частотою проходження, що дорівнює частоті модуляції пучків випромінювання, яке проходить через кювету.

Відомий вимірювач концентрації речовин не забезпечує високу точність вимірювання концентрації досліджуваної речовини. Це пов'язано з неідентичністю параметрів оптичної системи і характеристик кювет, а також дрейфом нуля синхронного детектора. У відомому вимірювачі виключення систематичної складової похибки перед кожним тактом вимірювання виконується вручну оператором. Це приводить до появи додаткової похибки, що обумовлена калібруванням вимірювача. Старіння фотоприймача приводить до зменшення його чутливості і збільшення дрейфу нуля. Все це зменшує точність вимірювання концентрації речовин.

Відомий також вимірювач концентрації речовин [а.с. СРСР №1616320, МПК: G01N21/61, Бюл. №8, 1995р.], що містить джерело ультрафіолетового випромінювання, першу фокусуючу лінзу, перший та другий вимірювальні канали, кожен з яких складається з оптично та електрично з'єднаних між собою робочої кювети або кювети порівняння, фокусуючої лінзи, фотоприймача, селективного підсилювача сигналів частоти модуляції та синхронного детектора, світловипромінюючий діод, обтюраторний диск з синхронним двигуном, та з'єднані між собою фотодіод і формувач синхроімпульсів, причому джерело ультрафіолетового випромінювання оптично з'єднано через першу

фокусуючу лінзу з кюветами. Крім того, синхронний детектор з'єднаний по управляючих входах через формувач синхроімпульсів з обтюраторним диском.

Відомий вимірювач концентрації речовин не виключає похибки, обумовлені поглинанням ультрафіолетового випромінювання стінками кювети та елементами оптичного тракту. Недостатня точність вимірювання обумовлена ще й нестабільністю і неідентичністю характеристик фотоприймачів каналів вимірювання. До того ж, старіння фотоприймачів приводить до зменшення їх чутливості і збільшення дрейфу нуля, що приводить до збільшення похибки вимірювання.

Крім того, відомий вимірювач не забезпечує повної автоматизації всіх процесів вимірювання. Зокрема, він не забезпечує автоматичне заповнення робочої кювети та кювети порівняння необхідними середовищами в задані проміжки часу. Відсутність автоматизації потребує додаткового часу на проведення вимірювання та обробку результатів.

В основу винаходу покладена задача створити такий вимірювач концентрації речовин, в якому шляхом введення нових елементів та зв'язків забезпечилось би підвищення точності вимірювання у широкому діапазоні значень концентрації за рахунок автоматичної корекції систематичних похибок вимірювання концентрації при нестабільній функції перетворення інтенсивності ультрафіолетового випромінювання у напругу.

Поставлена задача вирішується тим, що в цифровий вимірювач концентрації речовин, який містить джерело ультрафіолетового випромінювання, першу фокусуючу лінзу, перший та другий вимірювальні канали, кожен з яких складається з оптично та електрично з'єднаних між собою робочої кювети або кювети порівняння, фокусуючої лінзи, фотоприймача, селективного підсилювача сигналів частоти модуляції та синхронного детектора, світловипромінюючий діод, обтюраторний диск з синхронним двигуном, та з'єднані між собою фотодіод і формувач синхроімпульсів, причому джерело ультрафіолетового випромінювання оптично з'єднано через першу фокусуючу лінзу з кюветами, згідно з винаходом, додатково введені перший і другий аналого-цифрові перетворювачі, чотири ємності з досліджуваним середовищем різних концентрацій, які оснащені клапанами постачання та зливними клапанами, перший та другий сенсори тиску, блок підсилювачів потужності і з'єднані між собою через загальну шину цифровий відліковий пристрій, оперативний запам'ятовуючий пристрій та мікропроцесор, входи-виходи першого порту якого через загальну шину підключено до виходів першого і другого аналого-цифрових перетворювачів, входи яких з'єднані, відповідно, з виходами першого і другого синхронних детекторів, вхід послідовного порту мікропроцесору підключено до виходу формувача синхроімпульсів, з яким з'єднаний вхід першого синхронного детектора та, через інвертор, вхід другого синхронного детектора, перший та другий входи другого порту мікропроцесора підключено, відповідно, до виходів першого та другого сенсорів тиску, входи-

виходи третього порту з'єднані з відповідними входами блоку підсилювачів потужності, перший, другий і третій виходи якого підключено, відповідно, до входів керування першого, другого і третього клапанів постачання, четвертий, п'ятий і шостий виходи з'єднані з першим, другим і третім зливними клапанами, відповідно, сьомий вихід підключено до входу керування джерела ультрафіолетового випромінювання, восьмий вихід з'єднано з входом керування двигуном обтюраторного диску, дев'ятий вихід підключено до світловипромінюючого діоду, десятий вихід блоку підсилювачів потужності з'єднано з мікронасосом, вихід якого підключено до входу кювети порівняння, перший вихід якої з'єднано з входом першого сенсора тиску, другий вихід через перший і другий зливні клапани підключено, відповідно, до першої і другої ємностей з досліджуванним середовищем нормованих за розміром концентрацій речовини, виходи яких через перший і другий клапани постачання з'єднані з входом мікронасосу, при цьому вихід третьої ємності з досліджуванним середовищем через третій клапан постачання підключено до входу робочої кювети, перший вихід якої з'єднано з входом другого сенсора тиску, а другий вихід робочої кювети через третій зливний клапан підключено до четвертої технологічної ємності.

Введення в цифровий вимірювач концентрації речовин чотирьох ємностей з досліджуванним середовищем різних концентрацій, які оснащені клапанами постачання та зливними клапанами, що керуються від мікропроцесора, і мікронасосу з двигуном, який також керується від мікропроцесора, забезпечує прискорення заповнення кювет і спорожнення їх в заданій послідовності технологічними середовищами. Введення сенсорів тиску у робочу кювету та кювету порівняння дає можливість заповнення кювет досліджуваними середовищами в достатньому об'ємі, виключення втрат ультрафіолетового потоку випромінювання та скорочення часу наповнення кювет і видачі відповідних сигналів мікропроцесору. Введення в цифровий вимірювач концентрації речовин першого та другого аналогово-цифрових перетворювачів, цифрового відлікового пристрою, загальної шини, оперативного запам'ятовуючого пристрою, мікропроцесора та блоку підсилювачів потужності забезпечує перетворення аналогових сигналів у цифрові, підвищення точності і швидкодії обробки цих сигналів за допомогою мікропроцесора та повну автоматизацію операцій заповнення, спорожнення кювет та вимірювання, що скорочує загальний час вимірювання і підвищує точність вимірювання концентрації речовини.

На рисунку (див. Фіг.) приведена структурна схема вимірювача концентрації досліджуваної речовини в газоподібних та рідинних середовищах у діапазоні ультрафіолетових довжин хвиль. Вимірювач включає: 1 - джерело монохроматичного ультрафіолетового випромінювання, 2 - лінза фокусує лінза, 3 - робоча кювета, 4 - кювета порівняння, 5 - обтюраторний диск, 6 - двигун синхронний, 7 і 8 - друга і третя фокусуючі лінзи, 9 і 10 - фотоприймач, 11 і 12 - селективні підсилювачі частоти модуляції, 13 і 14 - синхронні

детектори, 15 і 16 - аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), 17 - світловипромінюючий діод, 18 - фотодіод, 19 - формувач синхроімпульсів, 20 - інвертор, 21 - загальна шина, 22 - цифровий відліковий пристрій, 23 - оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), 24 - мікропроцесор, 25 - блок підсилювачів потужності, 26, 27, 28 і 29 - ємності з середовищами відомих (C_1 , C_2) і невідомої (C_x) концентрацій досліджуваної речовини, 30 - мікронасос з двигуном, 31, 32 і 33 - перший, другий і третій клапани постачання, 34, 35 і 36 - перший, другий і третій зливні клапани, 37 і 38 - перший і другий сенсори тиску. Причому, перший та другий вимірювальні канали складаються з оптично та електрично з'єднаних між собою робочої кювети 3 або кювети 4 порівняння, фокусуючої лінзи 7 або 8, фотоприймача 9 або 10, селективного підсилювача 11 або 12 та синхронного детектора 13 або 14, відповідно. Канал формування синхроімпульсів містить світловипромінюючий діод 17, обтюраторний диск 5 з двигуном 6, послідовно з'єднані між собою фотодіод 18 і формувач синхроімпульсів 19. Джерело 1 ультрафіолетового випромінювання оптично з'єднано через фокусуючу лінзу 2 з вхідними вікнами робочої кювети 3 і кювети 4 порівняння. Входи першого і другого АЦП 15 і 16 підключені, відповідно, до виходів першого і другого синхронних детекторів 13 і 14. Цифровий відліковий пристрій 22, оперативний запам'ятовуючий пристрій 23 та мікропроцесор 24 з'єднані між собою через загальну шину 21. Входи-виходи першого порту мікропроцесору 24 підключені до виходів першого і другого АЦП 15 і 16. Вхід послідовного порту мікропроцесора 24 з'єднано з виходом формувача синхроімпульсів 19, до якого підключені вхід першого синхронного детектора 13 та через інвертор 20 вхід другого синхронного детектора 14. Перший та другий входи другого порту мікропроцесора 24 підключено, відповідно, до виходів першого та другого сенсорів тиску 37 і 38. Входи-виходи третього порту з'єднані з відповідними входами блоку 25 підсилювачів потужності, перший, другий і третій виходи якого підключено, відповідно, до входів керування першого, другого і третього клапанів 31, 32 і 33 постачання. Четвертий, п'ятий і шостий виходи блоку 25 підсилювачів потужності з'єднані з першим, другим і третім зливними клапанами 34, 35 і 36, відповідно. Сьомий вихід блоку 25 підсилювачів потужності підключено до входу керування джерела 1 ультрафіолетового випромінювання. Восьмий вихід блоку 25 підсилювачів потужності з'єднано з входом керування синхронного двигуна 6 обтюраторного диску 5. Дев'ятий вихід блоку 25 підсилювачів потужності підключено до світловипромінюючого діоду 17. Десятим вихід блоку 25 підсилювачів потужності з'єднано з мікронасосом 30, вихід якого підключено до входу кювети 4 порівняння. Перший вихід кювети 4 порівняння з'єднано з входом першого сенсора 37 тиску, другий вихід через перший і другий зливні клапани 34 і 35 підключено, відповідно, до першої і другої ємностей 26 і 27 з досліджуванним середовищем нормованих за розміром концентрацій. Їх виходи через перший і другий клапани 31 і 32 постачання з'єднані з входом мікронасосу

30. При цьому вихід третьої ємності 28 з досліджуваним середовищем через третій клапан 33 постачання підключено до входу робочої кювети 3. Її перший вихід з'єднано з входом другого сенсора 38 тиску, а другий вихід - через третій зливний клапан 36 підключено до четвертої технологічної ємності 29.

Пристрій працює наступним чином.

В постійний запам'ятовуючий пристрій мікропроцесора 24 записана програма виконання всіх операцій. Після вмикання живлення вимірювача автоматично (по команді з мікропроцесора 24) включаються джерело 1 монохроматичного ультрафіолетового випромінювання, синхронний двигун 6 і світловипромінюючий діод 17 шляхом формування сигналів логічної одиниці, відповідно, на сьомому, восьмому і дев'ятому виходах блоку 25 підсилювачів потужності. Ці сигнали будуть присутні протягом всіх тактів циклу вимірювання. На цифровому відліковому пристрої 22 висвітлюються нулі. Джерело 1 генерує ультрафіолетове випромінювання заданої інтенсивності I_0 та довжини хвилі λ . Світловипромінюючий діод 17 починає випромінювати світловий потік. Вихідний електричний сигнал фотодіоду 18 через формувач синхроімпульсів 19 та інвертор 20 поступає на синхронні детектори 13 і 14. Синхронний двигун 6 обертає з заданою кутовою частотою обертання обтюраторний диск 5, який модулює, шляхом переривання, потоки випромінювання як і від світловипромінюючого діоду 17, так і від першої фокусуючої лінзи 2. Всі клапани постачання і зливні клапани устанавливаються в початкове закриті положення.

Цикл вимірювання складається з наступних тактів.

В першому такті по команді з мікропроцесора 24 на першому та десятому виходах блоку 25 підсилювачів потужності формуються сигнали логічної одиниці. Ці сигнали поступають на входи керування мікронасосу 30 і першого клапана 31 постачання, відповідно. В результаті, кювета 4 порівняння починає заповнюватись середовищем з нормованою за розміром концентрацією C_1 дос-

ліджуваної речовини, яке поступає з першої ємності 26. По заповненню кювети 4 порівняння на виході першого сенсора 37 тиску появляється сигнал "зупинення" мікронасосу 30, який поступає на перший вхід другого порту мікропроцесора 24. За командою мікропроцесора 24 на десятому виході блоку 25 підсилювачів потужності формується сигнал, який відповідає логічному нулю. Цей сигнал вимикає мікронасос 30. Через заданий час затримки t_0 на першому виході блоку 25 підсилювачів потужності з'являється сигнал, який відповідає логічному нулю, що закриває перший клапан 31 постачання. Робоча кювета 3 залишається порожньою, тобто в ній знаходиться середовище з нульовою концентрацією досліджуваної речовини ($\{C_{00}\}=0$).

Після заповнення кювети 4 порівняння, у електричний сигнал перетворюється монохроматичне ультрафіолетове випромінювання, що пройшло через робочу кювету 3 і кювету 4 порівняння. Послаблені за інтенсивністю потоки ультрафіолетового випромінювання поступають на фотоприймачі 9 і 10. Вихідні електричні сигнали фотоприймачів 9 і 10 підсилюються по амплітуді в k рази за допомогою селективних підсилювачів 11 і 12 (сигналів частоти модуляції). Вихідні сигнали підсилювачів 11 і 12 детектуються за допомогою синхронних детекторів 13 і 14. Після синхронного детектування з використанням вихідних сигналів формувача синхроімпульсів 19 та інвертора 20 на виходах останніх формуються постійні напруги U_1 і U_2 . Отримані напруги за допомогою АЦП 15 і 16 перетворюються в коди чисел N_1 ($N_1 = \{S'_{np}\} \{U_1\}$) і N_2 ($N_2 = \{S'_{np}\} \{U_2\}$, де S'_{np} і S''_{np} - крутість перетворення напруг в цифрові коди). Коди чисел N_1 і N_2 по команді з мікропроцесора 24 через загальну шину 21 поступають в ОЗП 23. Потім за допомогою мікропроцесора 24 проводиться обчислення значень добутку напруг U_1 і U_2

$$N_{B1} = N_1 \cdot N_2 = \{S'_{np}\} \cdot \{U_1\} \cdot \{S''_{np}\} \cdot \{U_2\} = \{S_p\} \cdot \left[\{S'_{np} I_0 e^{-k \cdot C_{00}}\} \cdot \{S''_{np} I_0 e^{-k \cdot C_1}\} \right] = \{S_p\} \cdot \{S'_{np} S''_{np} I_0^2 e^{-k \cdot (C_1 + C_{00})}\} = \{S_p\} \cdot \{U_0 e^{-k \cdot (C_1 + C_{00})}\} \quad (1)$$

де $\{S_p\} = \{S'_{np}\} \cdot \{S''_{np}\}$ - значення результуючої крутості перетворення напруг в цифрові коди, $\{U_0\} = \{S'_{np} S''_{np} I_0^2\}$, S'_{np} і S''_{np} - крутості перетворення ультрафіолетового випромінювання у напругу, причому $\{S'_{np}\} = \{S_n\} (1 + \gamma'_n)$ і $\{S''_{np}\} = \{S_n\} (1 + \gamma''_n)$, де $\gamma'_n = \{\Delta S'\} / \{S'_{np}\}$ і $\gamma''_n = \{\Delta S''\} / \{S''_{np}\}$ - відносні похибки чутливостей від зміни нахилу характеристик фотоелектричного перетворення фотоприймачів 9 і 10, відповідно, під дією дестабілізуючих факторів.

Результат обчислень (1) запам'ятовується в ОЗП 23.

Одночасно мікропроцесор 24 формує сигнал логічної одиниці на четвертому виході блоку 25 підсилювачів потужності. Цей сигнал поступає на вхід керування першого зливного клапана 34, відкриває його і здійснюється спорожнення сере-

довища з концентрацією C_1 речовини з кювети 4 порівняння в першу ємність 26.

В другому такті на другому і десятому виходах блоку 25 підсилювачів потужності формуються сигнали логічної одиниці, які поступають на входи керування другого клапана 32 постачання і мікронасосу 30. В результаті кювета 4 порівняння заповнюється середовищем з нормованою за розміром концентрацією C_2 досліджуваної речовини, яке поступає з другої ємності 27. Після заповнення кювети 4 порівняння спрацьовує перший сенсор 37 тиску, на виході якого появляється сигнал "зупинення" мікронасосу 30. Цей сигнал поступає на перший вхід другого порту мікропроцесора 24. Останній формує сигнал логічного нуля на десятому виході блоку 25 підсилювачів потужності. Цей сигнал вимикає мікронасос 30. Через заданий інтервал часу затримки t_0 на дру-

гому виході блоку 25 підсилювачів потужності з'являється сигнал, що відповідає логічному нулю, який закриває другий клапан 32 постачання.

Після заповнення кювети 4 порівняння, у електричний сигнал перетворюється монохроматичне ультрафіолетове випромінювання, що пройшло через робочу кювету 3 і кювету 4 порівняння. Послаблені за інтенсивністю потоки ультрафіолетового випромінювання поступають на фотоприймачі 9 і 10. Вихідні електричні сигнали фотоприймачів 9 і 10 підсилюються по амплітуді в k рази за допомогою селективних підсилювачів 11 і 12 (сигналів частоти модуляції). Вихідні сигнали підсилювачів 11 і 12 детектуються за допо-

могою синхронних детекторів 13 і 14. Після синхронного детектування з використанням вихідних сигналів формувача синхроімпульсів 19 та інвертора 20 на виходах останніх формуються постійні напруги U_2 і U_2' . Отримані напруги за допомогою АЦП 15 і 16 перетворюються в коди чисел N_2 ($N_2 = \{S_{np}\} \{U_2\}$) і N_2' ($N_2' = \{S_{np}'\} \{U_2'\}$). Коди чисел N_2 і N_2' по команді з мікропроцесора 24 через загальну шину 21 поступають в ОЗП 23. Потім за допомогою мікропроцесора 24 проводиться обчислення значень добутку напруг U_2 і U_2'

$$N_{B2} = N_2 \cdot N_2' = \{S_{np}\} \cdot \{U_2\} \cdot \{S_{np}'\} \cdot \{U_2'\} = \{S_p\} \cdot \left[\{S_{np}'\} e^{-k_c C_{00}} \cdot \{S_{np}'\} e^{-k_c C_2} \right] = \{S_p\} \cdot \{S_{np}'\} e^{-k_c (C_2 - C_{00})} = \{S_p\} \cdot \{U_0\} e^{-k_c (C_2 + C_{00})} \quad (2)$$

Результат обчислень (2) запам'ятовується в ОЗП 23.

В третьому такті по команді мікропроцесора 24 на третьому виході блоку 25 підсилювачів потужності формується сигнал логічної одиниці, який поступає на вхід керування третього клапану 33 постачання. В результаті робоча кювета 3 заповнюється середовищем з невідомою концентрацією C_x , яке поступає з третьої ємності 28. Після заповнення робочої кювети 3 спрацьовує другий сенсор 38 тиску, на виході якого появляється сигнал "зупинення" заповнення робочої кювети 3. Цей сигнал, що еквівалентний логічній одиниці, поступає на другий вхід другого порту мікропроцесора 24. Останній формує сигнал логічного нуля на третьому виході блоку 25 підсилювачів потужності. Цей сигнал закриває третій клапан 33 постачання.

Після заповнення робочої кювети 3, у електричний сигнал перетворюється монохроматичне ультрафіолетове випромінювання, що пройшло через робочу кювету 3 і кювету 4 порівняння. По-

слаблені за інтенсивністю потоки ультрафіолетового випромінювання поступають на фотоприймачі 9 і 10. Вихідні електричні сигнали фотоприймачів 9 і 10 підсилюються по амплітуді в k рази за допомогою селективних підсилювачів 11 і 12 (сигналів частоти модуляції). Вихідні сигнали підсилювачів 11 і 12 детектуються за допомогою синхронних детекторів 13 і 14. Після синхронного детектування з використанням вихідних сигналів формувача синхроімпульсів 19 та інвертора 20 на виходах останніх формуються постійні напруги U_3 і U_3' . Отримані напруги за допомогою АЦП 15 і 16 перетворюються в коди чисел N_3 ($N_3 = \{S_{np}\} \{U_3\}$) і N_3' ($N_3' = \{S_{np}'\} \{U_3'\}$). Коди чисел N_3 і N_3' по команді з мікропроцесора 24 через загальну шину 21 поступають в ОЗП 23. Потім за допомогою мікропроцесора 24 проводиться обчислення значень добутку напруг U_3 і U_3'

$$N_{B3} = N_3 \cdot N_3' = \{S_{np}\} \cdot \{U_3\} \cdot \{S_{np}'\} \cdot \{U_3'\} = \{S_p\} \cdot \left[\{S_{np}'\} e^{-k_c C_x} \cdot \{S_{np}'\} e^{-k_c C_2} \right] = \{S_p\} \cdot \{S_{np}'\} e^{-k_c (C_x - C_2)} = \{S_p\} \cdot \{U_0\} e^{-k_c (C_x + C_2)} \quad (3)$$

Результат обчислень (3) запам'ятовується в ОЗП 23.

Одночасно мікропроцесор 24 формує сигнал логічної одиниці на п'ятому виході блоку 25 підсилювачів потужності. Цей сигнал поступає на вхід керування другого зливного клапану 35, відкриває його і здійснюється спорожнення середовища з концентрацією C_2 з кювети 4 порівняння в другу ємність 27.

В четвертому такті по команді з мікропроцесора 24 на першому та десятому виходах блоку 25 підсилювачів потужності появляються сигнали, які відповідають логічній одиниці. Ці сигнали поступають на входи керування мікронасосу 30 і першого клапану 31 постачання, відповідно. В результаті кювета 4 порівняння заповнюється середовищем з нормованою за розміром концентрацією C_1 досліджуваної речовини, яке поступає з першої ємності 26. Після заповнення кювети 4 порівняння спрацьовує перший сенсор 37 тиску, на виході якого появляється сигнал "зупинення" мікронасосу 30. Цей сигнал, що еквівалентний

логічній одиниці, поступає на перший вхід другого порту мікропроцесора 24. Мікропроцесор 24 формує сигнал логічного нуля на десятому виході блоку 25 підсилювачів потужності. Цей сигнал вимикає мікронасос 30. Через заданий час затримки τ_0 на першому виході блоку 25 підсилювачів потужності з'являється сигнал, що відповідає логічному нулю, який закриває перший клапан 31 постачання.

Після заповнення кювети 4 порівняння, у електричний сигнал перетворюється монохроматичне ультрафіолетове випромінювання, що пройшло через робочу кювету 3 і кювету 4 порівняння. Послаблені за інтенсивністю потоки ультрафіолетового випромінювання поступають на фотоприймачі 9 і 10. Вихідні електричні сигнали фотоприймачів 9 і 10 підсилюються по амплітуді в k рази за допомогою селективних підсилювачів 11 і 12 (сигналів частоти модуляції). Вихідні сигнали підсилювачів 11 і 12 детектуються за допомогою синхронних детекторів 13 і 14. Після синхронного детектування з використанням вихідних

сигналів формувача синхроімпульсів 19 та інвертора 20 на виходах останніх формуються постійні напруги U'_4 і U''_4 . Отримані напруги за допомогою АЦП 15 і 16 перетворюються в коди чисел N_4 ($N_4 = \{S'_{np}\} \{U'_4\}$) і N''_4 ($N''_4 = \{S''_{np}\} \{U''_4\}$). Коди

$$N_{B4} = N_4 \cdot N''_4 = \{S'_{np}\} \cdot \{U'_4\} \cdot \{S''_{np}\} \cdot \{U''_4\} = \{S_p\} \cdot \left[\{S'_{np} e^{-k_c C_x}\} \cdot \{S''_{np} e^{-k_c C_1}\} \right] = \{S_p\} \cdot \{S'_{np} S''_{np} e^{-k_c (C_x - C_1)}\} = \{S_p\} \cdot \{U_0 e^{-k_c (C_x + C_1)}\} \quad (4)$$

Результат обчислень (4) запам'ятовується в ОЗП 23.

Одночасно мікропроцесор 24 формує сигнали логічної одиниці на четвертому і шостому виходах блоку підсилювачів потужності 25. Ці сигнали поступають на входи керування першого і третього зливних клапанів 34 і 36, відкривають їх і здійснюється спорожнення середовищ з робочої кювети 3 та кювети 4 порівняння.

Отримані результати вимірювання (1)-(4) (N_{B1} , N_{B2} , N_{B3} і N_{B4}) оброблюються згідно з рівнянням числових значень

$$N_x = (\{C_2\} - \{C_1\}) \frac{\ln(N_{B1} \cdot N_{B2}) - \ln(N_{B3} \cdot N_{B4})}{n_2 \cdot (\ln N_{B1} - \ln N_{B2})} \quad (5)$$

або згідно з рівнянням числових значень

$$N_x = (\{C_2\} - \{C_1\}) \frac{\ln(N_{B1} \cdot N_{B3}) - \ln(N_{B2} \cdot N_{B4})}{n_2 \cdot (\ln N_{B1} - \ln N_{B2})} \quad (6)$$

де C_1 та C_2 - нормовані за розміром концентрації розчинів порівняння; коефіцієнт пропорційності $n_2=2$.

Результат обробки висвітлюється на цифровому відліковому пристрої 22.

Після закінчення циклу вимірювання, по програмі з мікропроцесора 24 всі блоки встановлюються в початкове положення. Цифровий вимірювач концентрації речовин готовий до проведення другого циклу вимірювання.

Завдяки введенню першого та другого аналого-цифрових перетворювачів, першого та другого сенсорів тиску, першої, другої, третьої і четвертої ємностей з розчинами відомих (C_1 , C_2) і невідомої (C_x) концентрацій досліджуваної речовини, першого, другого і третього клапанів постачання, першого, другого і третього зливних клапанів, блоку підсилювачів потужності, оперативного запам'ятовуючого пристрою та мікропроцесора, які з'єднані між собою певним чином, забезпечується повна автоматизація всіх процесів вимірювання концентрації досліджуваної речовини у газоподібних та рідинних середовищах.

Запропонований пристрій реалізує надлишковий спосіб вимірювання концентрації, згідно з яким концентрація визначається за новими рівняннями надлишкових вимірювань

$$C_x = (C_2 - C_1) \frac{\ln(U_1 \cdot U_2) - \ln(U_3 \cdot U_4)}{n_2 \cdot (\ln U_1 - \ln U_2)} \quad (7)$$

чисел N'_4 і N''_4 по команді з мікропроцесора 24 через загальну шину 21 поступають в ОЗП 23. Потім за допомогою мікропроцесора 24 проводиться обчислення значень добутку напруг U'_4 і U''_4

або

$$C_x = (C_2 - C_1) \frac{\ln(U_1/U_3) - \ln(U_2/U_4)}{n_2 \cdot (\ln U_1 - \ln U_2)} \quad (8)$$

де C_1 та C_2 - нормовані за розміром концентрації розчинів порівняння; U_1 , U_2 , U_3 , U_4 - напруги, що отримані в результаті перетворень інтенсивностей монохроматичного ультрафіолетового випромінювання, яке пройшло через робочу кювету і кювету порівняння з зазначеними концентраціями середовищ; коефіцієнт пропорційності $n_2=2$.

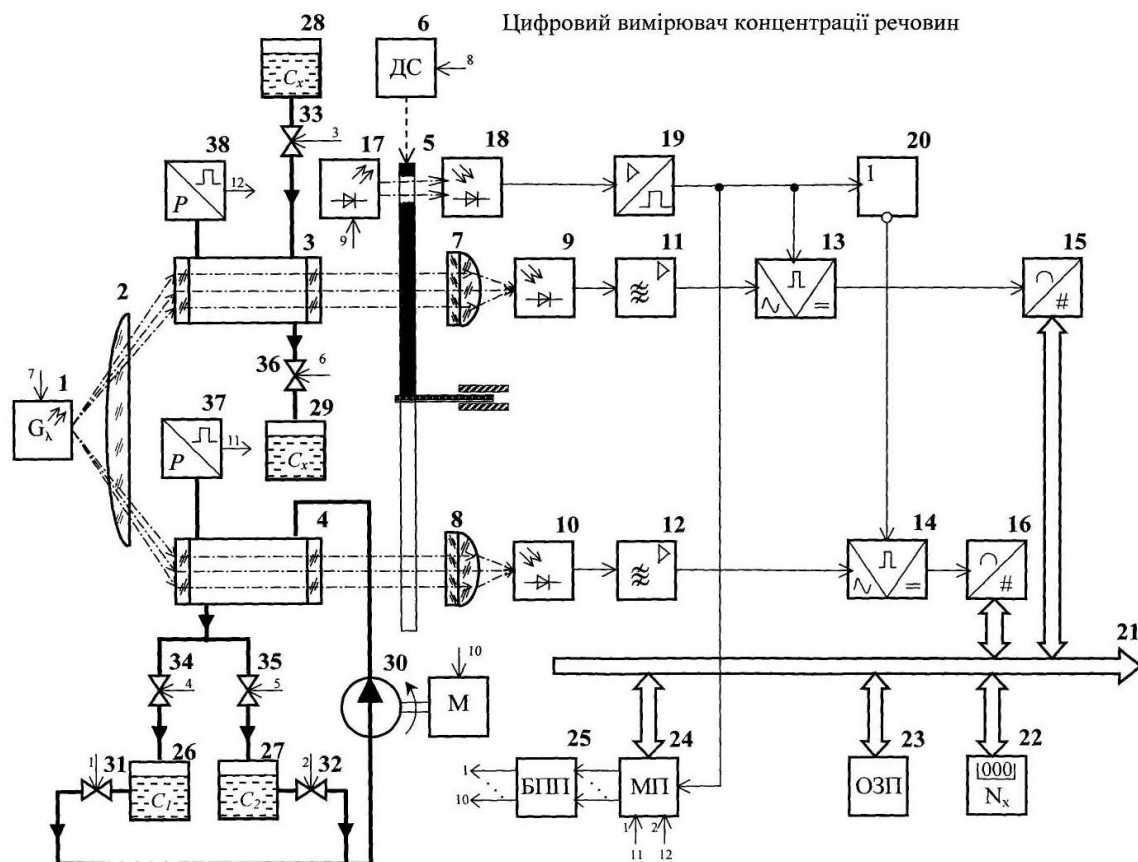
Рівняння надлишкових вимірювань (7) використовується в запропонованому цифровому вимірювачі, як рівняння числових значень (5), а рівняння надлишкових вимірювань (8) - як рівняння числових значень (6).

Згідно з (5)-(6) запропоноване технічне рішення не тільки забезпечує автоматизацію процесу вимірювання, але й автоматично виключає похибки, обумовлені абсолютними значеннями нестабільності функції перетворення фотоприймачів, їх відхилень від номінальних значень (тобто, адитивної і мультиплікативної складових похибки вимірювання). Крім того, запропонований цифровий вимірювач виключає похибки, обумовлені поглинанням ультрафіолетового випромінювання стінками кювети та елементами оптичного тракту.

Рішення зазначеної задачі легко перевірити шляхом підстановки значень N_{B1} , N_{B2} , N_{B3} і N_{B4} у рівняння числових значень (5) і (6).

Необхідно відмітити, що використання мікропроцесору в цілому забезпечує високу точність обробки результатів проміжних вимірювань, автоматизацію процесу вимірювання та високу надійність запропонованого цифрового вимірювача концентрації речовин.

Таким чином, запропонований цифровий вимірювач концентрації речовин забезпечує вирішення зазначеної технічної задачі автоматичної корекції систематичних похибок вимірювання концентрації при нестабільній функції перетворення інтенсивності ультрафіолетового випромінювання у напругу та автоматизацію процесу вимірювання.



Фіг.