

НАУКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 543.27.08

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

Максименко Ю.Н., Закрытое акционерное общество «Всеукраинский НИИ аналитического приборостроения» (ЗАО "Укрналит"), г. Киев, Украина

В статье проанализированы современные отечественные стационарные многокомпонентные газоанализаторы, предназначенные для непрерывного автоматического контроля выбросов вредных газов промышленными предприятиями и котлоагрегатами ТЭС

Вступление

В последние годы возрос интерес к многокомпонентным газоанализаторам промышленных выбросов. Это вызвано как экологическими вопросами, так и необходимостью управлять многофакторными технологическими процессами. Большинство требований к газоанализаторам (ГА) для решения вышеприведенных задач – противоречивы. Основные из них: необходимость одновременного измерения нескольких компонентов газовой пробы за интервал всего лишь несколько десятков секунд и менее; малые габариты и вес анализаторов; высокая точность измерения; минимальное влияние параметров окружающей среды и газовой пробы на показания ГА.

Необходимость создания многокомпонентного газоанализатора появилась практически одновременно с появлением первых газоанализаторов. Первоначально возникла проблема анализа одной газовой компоненты в составе сложной многокомпонентной газовой смеси. При этом задача состояла в устранении влияния неизмеряемых компонентов смеси на точность измерения основной компоненты [1,2].

Дальнейшим развитием анализа многокомпонентных газовых смесей стало создание двухкомпонентных газоанализаторов, представляющих собой газоанализаторы на один (основной) компонент, и устройства для пропорционального преобразования второго компонента в первый (конвертор). По этому принципу построены газоанализаторы на оксид и диоксид азота [3], в которых происходит пропорциональное преобразование диоксида азота в оксид азота и измерение величины ее концентрации хемилюминесцентным методом. Аналогично построены газоанализаторы сероводорода и диоксида серы, в которых происходит либо пропорциональное преобразование диоксида серы в водород, и измерение величины его концентрации электрохимическим методом, либо пропорциональное преобразование сероводорода в диоксид серы и измерение величины ее концентрации ультрафиолетовым флуоресцентным методом.

Следующий шаг в разработках многокомпонентных газоанализаторов – это создание приборов, представляющих собой газоанализаторы с единой электронной схемой обработки сигнала, но несколькими каналами первичных изме-

Большинство выпускаемых и патентуемых в настоящее время газоанализаторов предназначено для измерения концентрации от одного до трех компонентов смеси [8-12]. Методы анализа, на которых основаны их принципы действия: термокондуктометрический, термокаталитический, электро-химический, рефрактометрический, флуоресцентный, оптико-акустический практически не позволяют разработать ГА, измеряющий большее число компонентов [1, 2]. Поэтому поскольку номенклатура газов, которые можно контролировать каждым из этих методов ограничена, для полного анализа необходимо создавать газоаналитические комплексы, основанные на разных принципах действия.

По сравнению с перечисленными методами газоанализа

В многокомпонентном инфракрасном ГА для каждой аналитической длины волны, выделяемой узкополосным интерференционным фильтром, получаем:

$$\begin{aligned}
k_{11}C_1 + k_{12}C_2 + \dots + k_{1j}C_j + \dots + k_{1n}C_n &= 1/L \cdot \ln(U_{01}/U_1) \\
k_{21}C_1 + k_{22}C_2 + \dots + k_{2j}C_j + \dots + k_{2n}C_n &= 1/L \cdot \ln(U_{02}/U_2) \\
&\vdots \\
k_{i1}C_1 + k_{i2}C_2 + \dots + k_{ij}C_j + \dots + k_{in}C_n &= 1/L \cdot \ln(U_{0i}/U_i) \\
&\vdots \\
k_{N1}C_1 + k_{N2}C_2 + \dots + k_{Ni}C_i + \dots + k_{Nn}C_n &= 1/L \cdot \ln(U_{0N}/U_N)
\end{aligned} \tag{1}$$

где i – порядковый номер уравнения (или соответствующего интерференционного фильтра, или соответствующей аналитической длины волны, или соответствующего измерительного сигнала), причем $i = 1 \dots N$;

j – порядковый номер газовой компоненты смеси, причем $j = 1 \dots n$;

U_i – измерительный сигнал по i -му каналу;

U_{0i} – "нулевой" сигнал по i -му каналу;

L – оптическая длина газовой кюветы;

C_j – концентрация j -й газовой компоненты смеси;

k_{ij} – коэффициент поглощения j -й газовой компоненты на i -ой аналитической длине волны.

Если $n=N$ и ни одно уравнение из (1) не является суперпозицией других, то система (1) имеет единственное решение, т.е. любая из n концентраций равна $C_j = \Delta_j / \Delta$, $j = 1 \dots n$, где Δ – определитель системы, Δ_j – частный определитель для j -го столбца.

На практике вычисляют концентрации C_j с учетом реальных ограничений и допущений: многие недиагональные коэффициенты k_{ij} ($i \neq j$) равны нулю или намного меньше диагональных k_{ij} , т.е. можно понижать степень системы; подбор аппроксимирующей функции (не ухудшая погрешности прибора) позволяет упростить процесс и ускорить нахождение искоемых величин концентраций всех газовых компонент; применение современных быстродействующих микропроцессоров и итерационных алгоритмов расчета дает возможность с высокой точностью вычислять искоемые концентрации газов.

Газоанализатор 305ФА01

Первый отечественный многокомпонентный ГА 305ФА01 [14] (рис. 1) разработан в 1990 г. во ВНИИАП (г. Киев) как базовая модель многокомпонентного ГА промышленных выбросов, и на основе которого в дальнейшем разработаны приборы 304ФА01, 306АС01, Спектр-4.

Газоанализатор 305ФА01 работает следующим образом. От источника инфракрасного излучения 1, снабженного стабилизатором излучаемой мощности 2, излучение через модулятор 3 и узкополосный интерференционный фильтр 4 попадает в многоходовую кювету 5. Через многоходовую кювету прокачивается анализируемый газ с постоянным расходом и давлением внутри кюветы. Инфракрасное модулированное излучение, выделяемое набором узкополосных интерференционных фильтров, поглощается на длинах волн характерных для набора компонент в анализируемой газовой пробе. Величина поглощенного излучения пропорциональна концентрациям компонент газовой пробы (с учетом температуры и давления газовой пробы). С целью увеличения чувствительности прибора и повышения точности измерения применяется многоходовая оптическая кювета, в которой оптический луч многократно (до 20 раз) проходит через кювету, отражаясь от зеркал (оптическая схема – двухрядная).

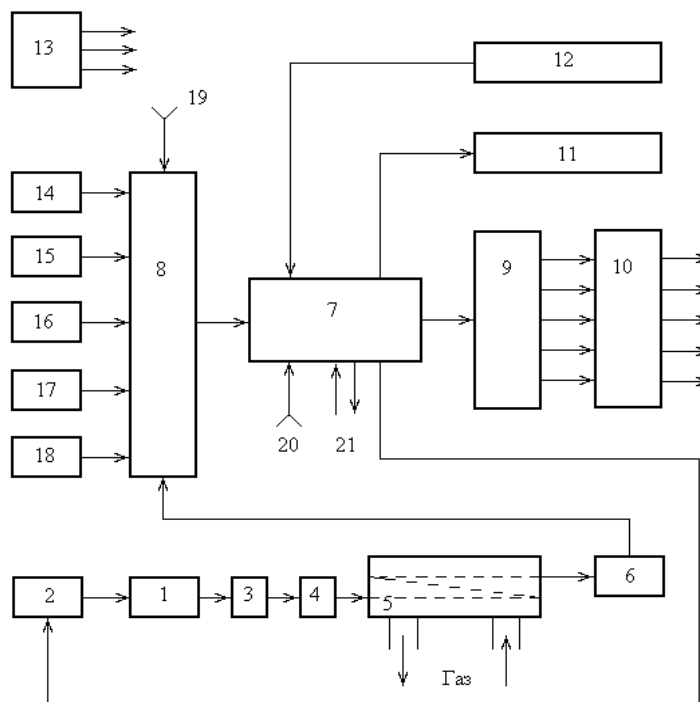


Рисунок 1 – Функціональна схема газоаналізатора 305ФА01

Напряжение с фотоприемника 6, в качестве которого применен пироэлектрический модуль МГ-30, после предварительного усиления и фильтрации сигнала подается на вход многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 8. На входы АЦП подаются также аналоговые нормированные сигналы, необходимые для коррекции результатов измерения (температура и давление в помещении в момент измерения, температура приемника излучения, давление в кювете) от соответствующих датчиков 14-17 и нормированные сигналы контроля работоспособности ГА 18, к которым относятся все напряжения питания ($\sim 220\text{В}$, $+15\text{В}$, -15В , 24В , 9В). Имеется дополнительный аналоговый вход 19, предназначенный для подключения любого внешнего источника унифицированного сигнала 0-10 В. Информационный сигнал, поступающий на вход АЦП, представляет собой последовательность электрических импульсов, период следования которых определяется частотой вращения кассеты с интерференционными фильтрами 4. На цифровые входы 20 микроЭВМ подается синхронно с информационным сигналом двоичный код синхроимпульсов. Микропроцессорное устройство (МПУ) 7, встроенное в прибор, обрабатывает информацию и одновременно выдает цифровую и унифицированную аналоговую, преобразованную с помощью цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) 9, информацию о величине концентрации пяти измеряемых компонент газовой пробы. Информация визуализируется на двух 16-ти разрядных низковольтных катодолюминесцентных индикаторах 11 и, используя 5-ти каналный ЦАП, на пяти самописцах. Для взаимодействия с МПУ газоанализатор снабжен встроенной буквенно-цифровой клавиатурой 12, позволяющей изменять режим работы ГА, контролировать его параметры, выводить на служебную часть индикаторов инфо-

рмацию о состоянии ГА и локализовать (при необходимости) отказавший участок прибора. Имеется канал ИРПС 21.

Алгоритм работы газоанализатора 305ФА01 следующий. В рабочем режиме на каждой длине волны, выделяемой соответствующим интерференционным фильтром, проводится измерение интенсивности инфракрасного сигнала и его величина (U_j) записывается в память МПУ. Предварительно при калибровке в память МПУ записываются величины интенсивности инфракрасного сигнала, соответствующие "нулевому" газу на каждом фильтре (U_{j0}). Далее, используя имеющиеся в памяти МПУ данные, решают систему линейных уравнений

$$Ax = d,$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_8)$ – вектор псевдоконцентраций;

$A = \{A_{ij}\}_{ij=1,8}$ – матрица коэффициентов;

$d = (\ln U_{j0} / U_j)_{j=1,8}$ – вектор результатов измерений.

Искомые концентрации равны $C_i = r_i \ln(1 - x_i)_{i=1,8}$,

где $r = (r_1, r_2, \dots, r_8)$ – вектор масштабирования.

Опыт эксплуатации прибора [15] и обобщенные требования были положены в основу многокомпонентного ГА Марс-5, разработанного предприятием "Эко-мак" (г. Киев) [16, 17].

Газоанализатор МАРС-5

Газоанализатор Марс-5 является одним из лучших современных многокомпонентных ГА. Он предназначен для непрерывного одновременного автоматического измерения и регистрации концентрации четырех вредных газов – NO, NO₂, CO, SO₂ – в отходящих газах котлов ТЭС и выбросах промышленных предприятий. Сертифицирован Госстандартом Украины и внесен в Госреестр средств измерительной техники, допущенной к применению на Украине, за № У1307-04.

Принцип действия ГА – фотоабсорбционный в инфракрасной области спектра с применением узкополосных интерференционных фильтров и микропроцессорного устройства. В серийном приборе, оптимизированном под выбросы котлоагрегатов ТЭС, устанавливаются следующие диапазоны измерения (в г/м³): NO – 0...1,5; NO₂ – 0...0,3; CO – 0...1,0; SO₂ – 0...5,0. Кроме этого, особенности конструкции и программного обеспечения ГА Марс-5 позволяют измерять и индцировать концентрацию CO₂ в диапазоне 0...300 г/м³; углеводороды, аттестованные по метану, в диапазоне 0...3 г/м³; сумму NO_x, приведенную к NO₂, и концентрацию паров воды в измерительной кювете.

В приборе установлен также датчик на кислород, работающий на электрохимическом принципе. Диапазон измерения концентрации кислорода 0...10 %об.; приведенная погрешность ± 2 %; срок службы датчика 2 года. Предел основной приведенной погрешности ГА Марс-5 ± 10 %, воспроизводимость показаний ± 1 %.

ГА Марс-5 имеет аналоговые унифицированные выходные сигналы (0-5) и (4-20) мА и цифровой RS-485, а также одновременную цифровую трехразрядную индикацию всех измеряемых компонент и состояния прибора.

Конструктивно ГА выполнен в виде двух унифицированных блоков размерами 346x440x228 мм – измерительного и пробоподготовки; зонда заборного, длина которого при заказе прибора может устанавливаться от 300 до 1500 мм (стандартная – 700 мм). Блоки газоанализатора, в зависимости от модификации прибора, размещаются в различных конструктивах: термостатированный шкаф, стойка, настольный (лабораторный) вариант, что позволяет устанавливать газоанализатор либо вблизи точки отбора пробы, либо на расстоянии до 100 м от нее.

Газоанализатор Марс-5 работает следующим образом. От источника инфракрасного излучения, снабженного стабилизатором излучаемой мощности, излучение через модулятор, совмещенный с кассетой с восемью узкополосными фильтрами, попадает в многоходовую оптическую кювету. Кювета перестраиваемая, с длиной хода луча от 400 до 8000 мм; изображение лучей на зеркале – однорядное с диаметром изображения луча 4 мм; объем кюветы – около 0,5 л. Через кювету прокачивается анализируемый газ с постоянным расходом (1 л/мин) и давлением (1 атм). Инфракрасное модулированное излучение поглощается на длинах волн, выделяемых набором узкополосных интерференционных фильтров, которые характерны для имеющегося в анализируемой газовой пробе набора газовых компонент, и пропорционально их концентрациям. От приемника (микросхема МГ-30) после предварительного усиления и фильтрации сигнал подается на вход многоканального АЦП, на другие входы которого подаются также аналоговые нормированные сигналы контроля работоспособности ГА: все напряжения питания, температура приемника и окружающей среды. С выхода АЦП сигнал поступает на микропроцессор MSP430.

На цифровые входы микропроцессора подается синхронно с информационным сигналом двоичный код синхроимпульсов. Микропроцессорное устройство, встроенное в ГА, управляет режимами работы прибора, обрабатывает информацию, решает систему 7-ми нелинейных уравнений итерационным методом, одновременно подает цифровую и унифицированную аналоговую, преобразованную с помощью ЦАП, информацию о величине концентрации четырех измеряемых компонент газовой пробы. Информация визуализируется на цифро-буквенном жидкокристаллическом индикаторе и многоточечном самописце типа РП-160.

Для взаимосвязи с МПУ прибор снабжен четырьмя кнопками, изменение режима работы ГА (нагрев, проверка, работа, служебный режим, аттестация), что позволяет контролировать его параметры, выводить на индикатор информацию о концентрациях измеряемых газов с более высокой точностью, а также информацию о концентрации CO_2 , CH_4 , H_2O и суммы NO_x в оптической кювете; проводить самоконтроль и локализацию, при необходимости, отказавшего участка прибора.

4. Проспект на газоанализатор ENOA-C201, (Horiba), Япония.
5. Максименко Ю.Н. и др. Применение элементов волоконной оптики в газоанализаторах // Приборы, средства автоматизации и системы управления. ТС-4 "Аналитические приборы и приборы для научных исследований". – М.: Информприбор. – 1988. – Вып.7. – 37 с.
6. Максименко Ю.Н. и др. Инфракрасные абсорбционные газоанализаторы // Приборы, средства автоматизации и системы управления. ТС-4 "Аналитические приборы и приборы для научных исследований". – М.: Информприбор. – 1990. – Вып.1. – 64 с.
7. Проспект на тестер отходящих газов SGA9111, (Sun), США.
8. Газоанализаторы ГИАМ. Номенклатурный перечень изделий. – Смоленское ПО "Аналит-прибор". – 2000. – 75 с.
9. Газоанализатор PGA1000, Astech Ins. США - Intech, 1989, т.36, № 6.
10. Проспект на газоанализатор PSA402, (Servomex LTD), Англия.
11. Проспект на газоанализатор UNOR-6N, (Maichak), Германия.
12. Патент США № 4549080, МКИ G01j1/00 // Газовый анализатор с двумя каналами. L.L. Baskins, J.M. Keene, J.G. Montfort. Оpubл. 17.06.83.
13. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика. – М.: Гос. изд. физ-мат литературы, 1961.- 560 с.
14. Максименко Ю.Н. и др. Оптический газоанализатор для одновременного измерения n-компонентов смеси // Основные направления повышения технического уровня газоаналитических приборов. - Сб. научных трудов ВНИИАП.- К -1988.- С.94-104.
15. Максименко Ю.Н. и др. Опыт эксплуатации газоанализатора 305ФА01 на Трипольской ГРЭС // Энергетика и электрификация. – К.- 1993.- Вып.1.- С.13-15.
16. Максименко Ю.Н. Перспективы разработки многокомпонентных газоанализаторов // Рекомендации по снижению вредных выбросов на ТЭС в атмосферу. – М.: СПО Союзтех-энерго. –1990. - С.27-31.
17. Максименко Ю.Н. Многокомпонентный газоанализатор для контроля выбросов на ТЭС // Энергетика и электрификация. – К. – 1992. – Вып.4. – С. 37–38.

Максименко Ю.М. Багатокомпонентні газоаналізатори. В статті описані сучасні вітчизняні стаціонарні багатокомпонентні газоаналізатори, призначені для безперервного автоматичного контролю викидів шкідливих газів промисловими підприємствами та котлоагрегатами ТЕС.	Maksimenko Y.N. Multicomponent gas analyzers. In the article are described modern home stationary multicomponent gas analyzers, which are intended for continuously automatic control of exhaust gases of industrial plants and boiler units of Thermal Power Stations.
---	---

*Надійшла до редакції
24 червня 2005 року*

УДК 621.3.049.77

ЦИФРОВА РЕАЛІЗАЦІЯ АКТИВАЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ ШТУЧНОГО НЕЙРОНА

Котенко Ю.В., Закрите акціонерне товариство Всеукраїнський НДІ аналітичного приладобудування (ЗАТ "Украналіт"), м. Київ, Україна

У статті розглянуті основні типи активаційних функцій штучних нейронів, наведено простий метод обчислення сигмоїдальної функції. Запропонований підхід обчислення «класичного»