

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ИНФРАКРАСНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

Вовна А.В., Хламов М.Г.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра электронной техники

E-mail: Vovna\_Alex@ukr.net

### Abstract

*Vovna A.V., Khlamov M.G. Methods of increase exactness measuring of concentration of carbon oxide by spectrometry infra-red gas analisator. The mathematical model of an absorbing spectrum of infrared radiation by carbon oxide is offered. The model can be used in the defining algorithm of the carbon oxide concentration in automobile exhaust gases. The introduction of an additional channel and a developed algorithm provide termination of soot influence in the working optical channel, and also the influence calculation of temperature, pressure and concentration of dioxide on the measurement result of carbon oxide concentration.*

**Общая постановка проблемы.** С целью дальнейшего развития экологического управления и обеспечения экологической безопасности на территории области в 1999 г. была сформирована «Программа охраны окружающей природной среды Донецкой области на 2000-2010 года», основные положения которой вошли разделом в «Программу социально-экономического развития Донецкой области на 2000-2010 года».

**Постановка задач исследования.** Большое влияние на состояние атмосферного воздуха области оказывают подвижные транспортные средства. На протяжении 2004 года от них поступило в атмосферу 205,3 тысяч тон, которые составляли 11,4% от общего количества, вредных веществ, выброшенных в воздух. Вопросам проектирования и повышения точности и быстродействия систем контроля этих выбросов посвящена настоящая работа.

Создание эффективных средств и способов контроля загрязненности воздуха является одной из наиболее сложных проблем современного газоаналитического приборостроения. Сложность ее в случае анализа токсичных ингредиентов заключается в необходимости использования высокочувствительных методов, обеспечивающих возможность определения микроконцентраций отдельных компонентов воздуха, их предельно допустимых концентраций, а также в специфичности применяемых методов в связи с многокомпонентным составом анализируемой смеси.

Каким-либо одним, даже комбинированным методом трудно обеспечить с достаточной надежностью и простотой требования чувствительности, избирательности, точности и воспроизводимости автоматического анализа в промышленных условиях непрерывной эксплуатации при воздействии многочисленных помех. В последние годы имеют место попытки разработок универсальных автоматических приборов, сконструированных на основе масс-спектрометрии, газовой хроматографии, интерферометрии, чувствительных ко всем вредным примесям в воздухе. В США развивается методика автоматического определения газообразных загрязнений воздуха с помощью светоизлучающих диодов (LED).

Преимуществом LED метода является очень высокая чувствительность и избирательность, прецизионность, мгновенное измерение концентрации различных загрязнителей в самых широких пределах, возможность измерения, как отдельного вида загрязнения, так и плотности загрязняющих веществ вдоль пути распространения светового потока. Благодаря успехам, достигнутым в последнее время в области создания светоизлучающих диодов, LED метод может оказаться в будущем наиболее универсальным и перспективным для контроля

загрязненности воздуха. Большинство специалистов считают, что до создания надежного универсального непрерывно действующего газоанализатора еще очень далеко, и предлагают разрабатывать квазиуниверсальные комплексы из отдельных приборов, работающих на несколько ингредиентов, с общим блоком регистрации и обработки данных.

**Решение задач и результаты исследований.** Разработана математическая модель бездисперсионного измерителя объемной концентрации сажи, оксида и диоксида углерода в выхлопных газах двигателя внутреннего сгорания. В данной модели был применен спектроскопический оптикоабсорбционный метод определения концентраций исследуемой газовой смеси [1]. Этот метод основан, на способности атмосферных газов избирательно поглощать инфракрасное излучение в спектральной области, и относится к бездисперсионным методам абсорбционной спектроскопии [2].

В пакете прикладных программ MathCAD 2000 Pro разработана математическая модель спектрометрического инфракрасного газоанализатора, которая содержит блок формирования оптических сигналов, имитации функционирования электронных узлов, моделирования основных алгоритмов обработки данных и блок оценки метрологических характеристик [3; 4].

В модели учтено отклонение параметров источников излучения от номинальных, что обусловлено: нестабильностью источников питания, нестабильностью токов излучателей, нестабильностью потоков излучения. Причины проявления всех перечисленных изменений параметров взаимно независимы и связаны с временной изменчивостью, температурой, деградацией источников излучения. Степень неидентичности источников излучения учитывается коэффициентом асимметрии источников излучения  $k_{асИИ}$ . Деградация источников излучения учитывается коэффициентом деградации  $k_{дегрСО} = k_{дегрИИ} \cdot (1 + k_{асИИ})$ .

В рабочем канале кроме газовой среды, которая обуславливает поглощение потока, присутствуют возмущающие факторы как дымность и пленка сажи. Они соответственно обуславливают рассеивание и пропускание потока, что приводит к его уменьшению, следовательно, данные факторы были учтены.

Так потоки излучения можно представить следующим образом [3] см. рис. 1:

а)  $\Phi_{11} = \Phi_{0СО} \cdot (1 - k_{дегрСО}) \cdot (1 + k_{асИИ}) \cdot k_{ногл} \cdot k_{нр} \cdot k_p$  - информационный поток

$\lambda_{СО} = 4,65$  мкм в рабочем канале;

б)  $\Phi_{21} = \Phi_{0контр} \cdot (1 - k_{дегр контр}) \cdot (1 + k_{асИИ}) \cdot k_{нр} \cdot k_p$  - контрольный поток

$\lambda_{контр} = 3,83$  мкм в рабочем канале;

в)  $\Phi_{12} = \Phi_{0СО} \cdot (1 - k_{дегр СО}) \cdot (1 + k_{асИИ})$  - поток от излучения светоизлучающего диода (СИД) для измерения концентрации оксида углерода  $\lambda_{СО} = 4,65$  мкм в контрольном канале;

г)  $\Phi_{22} = \Phi_{0контр} \cdot (1 - k_{дегр контр}) \cdot (1 + k_{асИИ})$  - поток от излучения контрольного СИД  $\lambda_{контр} = 3,83$  мкм в контрольном канале.

Непосредственно алгоритм компенсации можно представить:

$$\frac{\Phi_{11}}{\Phi_{21}} = \frac{\Phi_{0СО} \cdot (1 - k_{дегрСО}) \cdot (1 + k_{асИИ}) \cdot k_{ногл} \cdot k_{нр} \cdot k_p}{\Phi_{0контр} \cdot (1 - k_{дегр контр}) \cdot (1 + k_{асИИ}) \cdot k_{нр} \cdot k_p} = k_{ногл} \quad (1)$$

Как видно из выражения, данный алгоритм позволяет скомпенсировать следующие возмущающие факторы: рассеивание потока дымности, пропускание пленки сажи, деградация источников излучения, асимметрию потоков источников излучения.



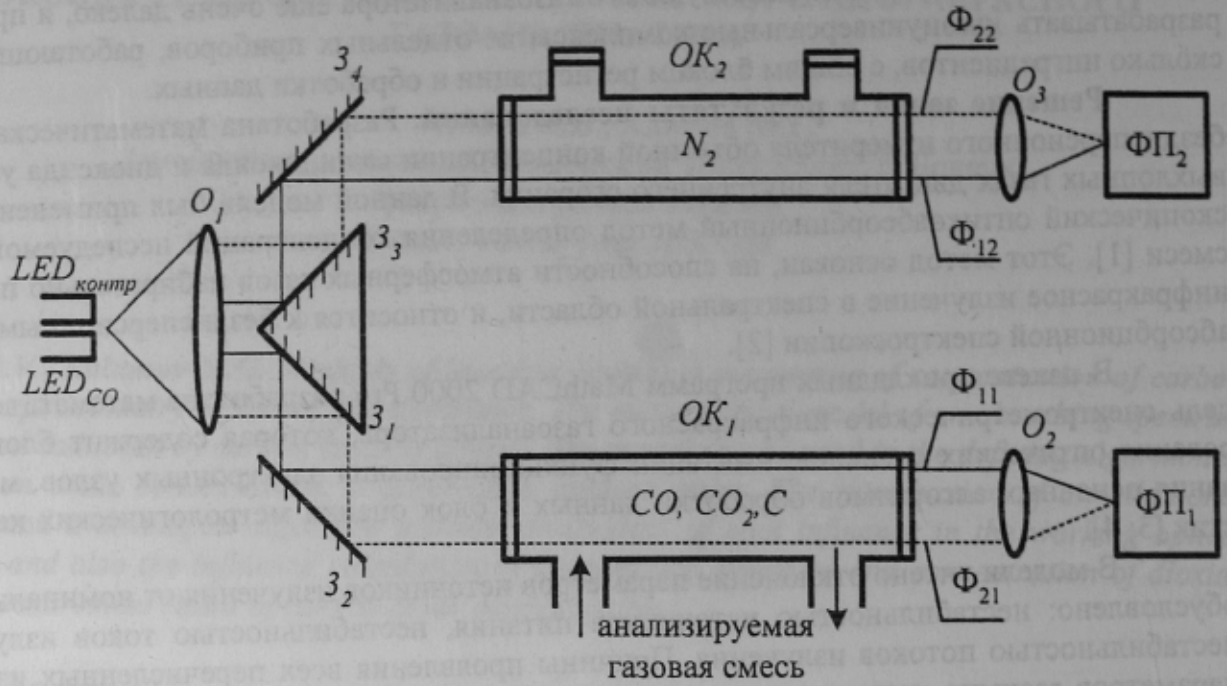


Рисунок 1 – Оптическая схема спектрометрического газоанализатора с указанием потоков излучения, проходящих через систему

Далее аналоговый сигнал преобразовывается и масштабируется до уровня входного сигнала мультимплексора аналоговых сигналов микропроцессорной системы, которая обрабатывает полученную информацию о концентрации исследуемого компонента и выводит результаты измерений на систему цифровых индикаторов [4].

При разработке этой системы была промоделирована работа основных алгоритмов микропроцессорной системы: алгоритм градуировки и алгоритм масштабирования данных. В результате градуировки установлены параметры алгоритма масштабирования, которые представляют собой степенной полином от четырех независимых переменных:

$$C_{CO}(K_{полгCO}, T, P, C_{CO2}) = A_0(T, P, C_{CO2}) + A_1(T, P, C_{CO2}) \cdot K_{полгCO} + A_2(T, P, C_{CO2}) \cdot K_{полгCO}^2 + A_3(T, P, C_{CO2}) \cdot K_{полгCO}^3 \quad (2)$$

где  $C_{CO} = (0 \div 5)\%$  – концентрации оксида углерода, давления  $-P = (100 \div 125) \text{ кПа}$  и температуры  $-T = (273 \div 393)^\circ \text{K}$  исследуемой газовой смеси,  $C_{CO2} = (0 \div 12)\%$  – концентрации диоксида углерода,  $K_{полгCO}$  – информационный сигнал измерения концентрации оксида углерода, после компенсации возмущающих факторов в канала измерения исследуемой концентрации газовой смеси.

Показатели точности имитационной модели спектрометрического абсорбционного газоанализатора (объем выборки составляет 220 точек) [4]:

- максимальная абсолютная погрешности измерения концентрации оксида углерода,  $\Delta_{сmax}, \%$ , не более.....0,05 концентрации CO;
- максимальная приведенная (к концентрации оксида углерода  $C_{COmax} = 5\%$ ) погрешность измерения,  $\delta_{сmax}, \%$ , не более.....1,1.

Оптическая плотность вещества зависит от внешних условий: температуры и давления. В инфракрасной спектрометрии влияние давления и температуры учитывается следующим образом: от давления сильно зависит полуширина спектральной линии поглощения и меньше от изменения температуры, огибающая спектра полосы тоже прямо пропорциональна изменению давления и обратно пропорциональна квадратному корню изменения темпера-

туры. Для учета влияния давления и температуры анализируемой газовой смеси на коэффициент поглощения инфракрасного излучения оксида углерода в рабочем оптическом канале предусмотрены датчики температуры и давления, которые подключены к соответствующим измерительным каналам [3; 4].

На последующих этапах промоделировано функционирование электронной системы в реальных условиях эксплуатации, при воздействии факторов температуры и времени на метрологические характеристики измерителя параметров концентрации газовой смеси. Максимальная приведенная погрешность измерения концентрации оксида углерода при влиянии температуры окружающей среды на изменение параметров аналоговой части спектрометрического газоанализатора не более 8,0 %, что не удовлетворяет поставленным техническим требованиям к проектируемому газоанализатору. Для компенсации этой составляющей применен алгоритмы компенсации влияния температуры.

Принцип действия компенсации влияния температуры окружающей среды на аналоговую часть средства измерения основан на масштабировании измерительной величины с помощью нормирующего усилителей (НУ) 4 (см. рис. 2). В устройстве измерения предусмотрена автоматическая аналоговая коррекция, при изменении температуры микропроцессорное устройство (МПУ) 11 посылает сигнал «Сигнал управления от МПУ. Продувка оптического канала», концентрация измеряемого газового компонента в канале равна нулю, при этом на выходе НУ 4 и соответственно на входе аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) 5 максимальный выходной сигнал. Если при изменении температуры параметры аналоговой части отличны от номинальных, включается алгоритм коррекции и с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) 6 изменяется напряжение на входе НУ 4, пока напряжение на выходе его не достигнет максимального уровня. После этого, формируется корректирующая добавка, что позволяет избежать перегрузок АЦП 5 при больших значениях аддитивной погрешности. Затем МПУ 11 снимает сигнал «СУ от МПУ. Продувка ОК» и система начинает функционировать в обычном режиме.

Максимальная приведенная погрешность измерения концентрации оксида углерода при влиянии температуры окружающей среды и ее компенсации на изменение параметров аналоговой части спектрометрического газоанализатора составляет не более 2,0 %.

Показатели точности при изменении потока излучения светоизлучающих диодов от температуры окружающей среды удовлетворяют условием работы измерительной системы, но с измерением длины волны светоизлучающих диодов и интегральной чувствительности к сигналу от температуры окружающей среды показатели точности измерения концентрации оксида углерода выходят за допустимые пределы.

В связи с этим в схему измерения вводят защитно-предохранительные мероприятия: стабилизацию мощности излучения светоизлучающих диодов и термостатирования светоизлучающих диодов и фотоприемных устройств.

При стабилизации мощности светоизлучающих диодов часть светового потока, попадает на фоторезистор (ФР), который подключен в одно из плеч равновесного моста. Изменение светового сопротивления ФР приводит к изменению его сопротивления, а также расогласованию моста и появлению напряжения на выходе. Напряжение с моста подается на измерительный усилитель. Затем изменение потока излучения LED преобразовывается усилителем мощности и подается на LED, чем и стабилизируется мощность излучения LED.

Принцип термостатирования заключается в охлаждении LED и фотоприемных устройств до низких температур (порядка 220<sup>0</sup>К), что приводит к стабилизации длины волны и интегральной чувствительности ФП к сигналу от изменения температуры.

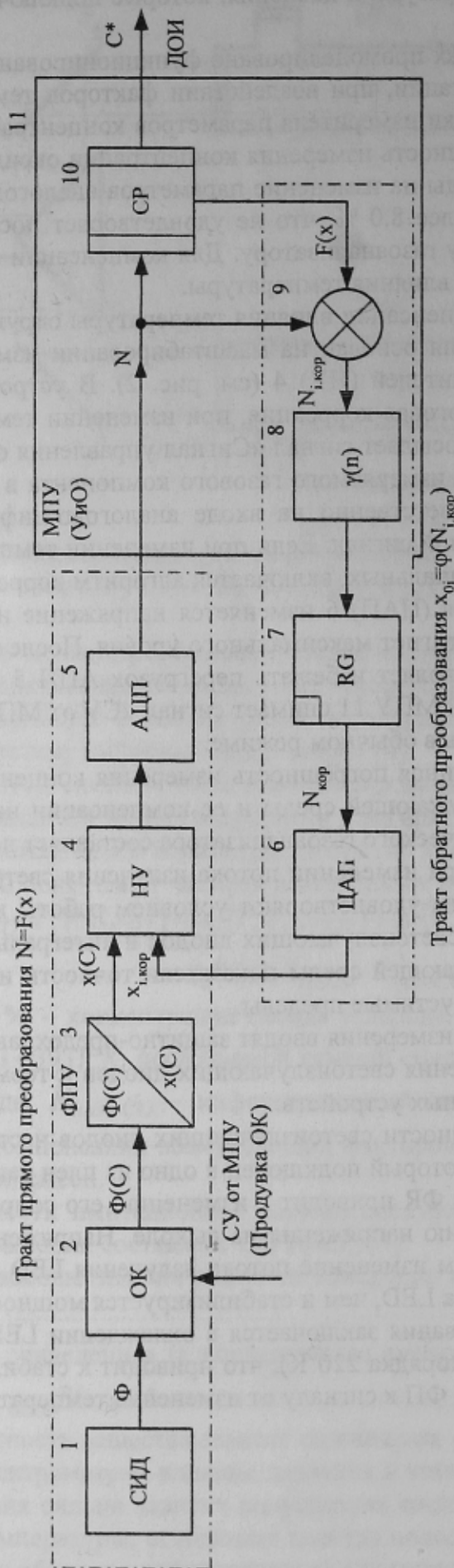


Рис. 2.- Схема средства измерения с итерационной коррекцией погрешности



Температура термоэлектрического охладителя (ТЭО), который охлаждает LED, падает на терморезистор. Изменение температуры ТЭО приводит к изменению сопротивления терморезистора, а также рассогласованию моста и появлению напряжения на выходе. Напряжение с моста подается на измерительный дифференциальный усилитель. Затем изменение температуры ТЭО подается в микропроцессорную систему, где вычисляется поправка по температуре, которая преобразовывается в напряжение цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и через схему согласования (СС) по току поправка поступает на термоэлектронный охладитель, чем стабилизируется и контролируется температура термоэлектронного охладителя.

Характеристики фоторезисторов также сильно зависят от температуры чувствительного слоя. Охлаждение его до низких температур приводит к уменьшению интегральной чувствительности, уменьшению темнового тока, сдвигу спектральной характеристики, изменению темнового сопротивления и постоянной времени. В связи с этим аналогичная схема используется для термостатирования фотоприемного устройства.

#### **Выводы.**

1. Разработана математическая модель и обоснована структура канала измерителя концентрации оксида углерода автоматизированной системы на основе спектрометрического оптикоабсорбционного метода с использованием оптического канала и метода компенсации, который позволяет устранить динамические возмущения среды, влияющие на результаты измерений неинформационных параметров (рассеивание потока дымности, пропускание пленки сажи, деградация источников излучения, асимметрию потоков источников излучения, температура и давления анализируемой газовой смеси) и информационных параметров (концентрация диоксида углерода) среды на основе предложенных методов компенсации.

2. Учет перечисленных выше факторов и температуры окружающей среды на оптические компоненты системы и аналоговую часть спектрометрического газоанализатора позволяет повысить точность измерения концентрации оксида углерода спектрометрическим инфракрасным газоанализатором.

3. Разработаны структурно-алгоритмические методы, обеспечивающие требуемую точность рабочего средства измерения [5], высокое быстродействие автоматизированной системы контроля оксида углерода в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания.

4. Разработанная математическая модель позволяет построить на основе современных оптических средств и средств современной микроэлектроники газоанализаторы высокого быстродействия и точности.

#### **Литература**

1. Немец В.М. Спектральный анализ неорганических газов. – М.: Химия, 1988.–240с.
2. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. – М.: Советское радио, 1970. – 496 с.
3. Вовна А.В., Рак А.И., Хламов М.Г. Математическая модель оптического канала абсорбционного измерителя концентрации оксида углерода инфракрасного газоанализатора. //Научные работы Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. Выпуск 58. Донецк: ДонНТУ, 2003. – С. 27–35.
4. Вовна А.В., Хламов М.Г. Обоснование спектрометрического абсорбционного инфракрасного газоанализатора средствами имитационного моделирования. //Сборник научных трудов III международной научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – С. 224 – 231.
5. Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов: Аэроаналитические измерения. – М.: Изд-во стандартов, 1992.–432 с.