

В. Р. Козубовский, В. П. Баранник, А. В. Кольченко,
А. А.Тарнай, Ю. Ю. Попадинец, Ю. А. Шкуренко
(СКБ средств аналитической техники, Ужгород)

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА

The problems of automobile's pollution of the ambient air and diagnostic devices for exhaust gas control (from HS-1 to HS-5) are considered. The design of this infrared gas analyzers are described.

Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха является автотранспорт. Для уменьшения загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом во всех развитых странах приняты законодательные акты, устанавливающие нормы выбросов вредных веществ. Эти нормы заставляют организации и лиц, эксплуатирующих транспорт, следить за его техническим состоянием, проводить регулировку двигателя на более полное сгорание топлива. Регулировка двигателя позволяет не только снизить выброс вредных веществ, но и более экономно расходовать топливо, что создает экономическую заинтересованность в контроле выбросов.

Однако, контролируя один компонент выброса, например, CO, нельзя судить о правильной регулировке двигателя, его техническом состоянии. Для диагностики двигателя необходим многокомпонентный анализ. Так, ГОСТ 17.2.2.03—87, введенный с 1 января 1988 г., предусматривает контроль CO, углеводородов (C_nH_m) в эксплуатации для бензиновых двигателей с искровым зажиганием и устанавливает нормы их выброса для различных классов автомобилей на холостом ходу. Однако выбросы зависят от режима работы двигателя. Поэтому ГОСТ требует, чтобы приборы газового анализа имели измерительный канал для определения скорости вращения коленчатого вала.

При исследованиях и регулировке двигателей в лабораторных условиях на заводах, станциях технического обслуживания они контролируются в соответствии с нормативными документами — ОСТ37.001.054—84, ОСТ 37.001.070—75, по гораздо большему количеству компонентов выброса (дополнительно измеряются CO₂, O₂, окислы азота) и другим параметрам двигателя. В этом случае необходимы приборы, контролирующие как можно большее количест-

во параметров двигателя. За рубежом серийно выпускается ряд переносных многокомпонентных приборов для контроля токсичности двигателей [1]. В нашей стране подобных приборов нет. Поэтому создание приборов для многокомпонентного контроля выбросов автомобиля является задачей актуальной.

В данной статье описаны принципиальные схемные решения диагностических приборов для контроля отходящих газов двигателей внутреннего сгорания HS-1 (измеряет концентрации CO , CO_2 , C_nH_m), HS-2 (дополнительно контролирует отношение топливо/воздух), HS-3 (дополнительно измеряет обороты коленчатого вала двигателя), HS-4 (измеряет концентрации CO , C_nH_m и обороты коленчатого вала двигателя), HS-5 (измеряет те же компоненты, что и HS-2, но в выбросах дизельных двигателей). Приведены основные технические характеристики приборов. Главное внимание при разработке приборов уделялось уменьшению потерь светового потока при его модуляции и выбору оптимального алгоритма обработки сигнала.

Как известно [2], достаточно большие потери светового потока возникают при его модуляции. Потери светового потока особенно существенны в однолучевых двухканальных газоанализаторах, когда светофильтры устанавливаются на модуляторе и поочередно вводятся в световой поток при его вращении. Это связано с тем, что когда светофильтры находятся вне светового потока, он перекрывается непрозрачной частью диска узла модуляции и смены светофильтров и теряется часть энергии, пропорциональная той части периода модуляции, когда поток не проходит (полностью или частично) к фотоприемнику. Тогда средняя мощность светового потока или число квантов, поступающих на чувствительный слой фотоприемника за период модуляции, уменьшается в k раз [2]

$$k = \frac{1}{\tau} \Phi_0 \int_0^{\tau} \Phi(t) dt,$$

где τ — полный период модуляции, Φ_0 — начальный световой поток.

Поскольку в данном случае ставится задача получения максимальной чувствительности анализа, то, в соответствии с [3], она достигается при использовании дифференциальной неуравновешенной схемы обработки сигнала. В этом случае чувствительность анализа S равна

$$S = k U_0 \cdot dT / dx.$$

Здесь U_0 — величина сигнала на выходе измерительного преобразователя анализатора после детектирования и усиления; T, x — пропускание и концентрация исследуемого газа.

В однолучевой двухканальной оптической схеме, которую обычно применяют в промышленных анализаторах для анализа заданного компонента в смеси, потери мощности оптического сигнала определяются соотношением времени t , в течение которого световой поток полностью проходит через светофильтры рабочего или опорного каналов и времени полного периода модуляции τ : $k = t / \tau$. Если изменить скорость вращения диска узла модуля-

ции и смены светофильтров в момент прохождения светового потока через светофильтры, уменьшив ее в десятки раз, то коэффициент k будет близок к 1.

Таким образом, для достижения необходимого уровня чувствительности S в однолучевых двухканальных анализаторах нами было предложено (см. [4]) уменьшать скорость вращения диска узла модуляции и смены светофильтров в момент прохождения светового потока через светофильтры в m раз, где

$$m = \frac{S}{U} \cdot \frac{dT}{dx}.$$

Уменьшение потери мощности светового сигнала при модуляции приводит также к увеличению отношения сигнал/шум, а значит, и уменьшает погрешность измерений. Действительно, отношение сигнал/шум определяется выражением

$$\mu = \frac{\Phi_{\text{вк}}}{\Phi_{\text{п}}} = \frac{\eta \Phi_0}{\Phi_{\text{п}}},$$

где $\Phi_{\text{п}}$ — пороговый поток фотоприемника; $\Phi_{\text{вк}}$ — световой поток, поступающий на площадку фотоприемника; $\eta = \eta_0 k_m \eta_l$, где η_0 — потери на оптических элементах, η_l — потери из-за несогласованности приемника и оптической схемы газоанализатора. Следовательно, при увеличении k_m на порядок увеличивается в 10 раз и отношение сигнал/шум.

Что касается алгоритма обработки сигнала, то в соответствии с работой [5] наиболее оптимальным является следующий:

$$U = \frac{I_0 - I}{I_0 + I},$$

где I_0 — величина полезного сигнала на опорной длине волны (нет поглощения анализируемым газом); I — сигнал на рабочей длине волны.

Анализаторы представляют собой инфракрасные двухлучевые приборы с дополнительным электронным трактом для контроля оборотов коленчатого вала двигателя и отношения топливо—воздух (рис. 1).

С помощью интерференционных светофильтров выделяются четыре длины волн: три рабочие, соответствующие областям поглощения углеводородов, окиси и двуокиси углерода, и опорная, в которой отсутствует поглощение C_nH_m , CO_2 , CO и неизмеряемых компонентов. Двухлучевая четырехканальная схема предусматривает циклический последовательный съем информации с выхода приемников излучения о величине поглощения анализируемой газовой смеси в спектральных интервалах опорного и рабочих каналов, совместную обработку информации со всех каналов и ее вывод на встроенные цифровые индикаторы анализатора.

В состав анализатора входят: 1) система пробоподготовки, 2) оптический блок, 3) датчик тахометра, 4) электронная система обработки информации. Система пробозабора и пробоподготовки включает в себя следующие элементы: 1) пробозаборник, 2) отстойник, 3) фильтр, 4) индикатор, 5) побудитель.

Анализируемая газовая смесь отбирается из выхлопной трубы автомобильного двигателя пробозаборником, где производится грубая очистка пробы от сажи, пыли и влаги. По соединительной трубке проба поступает во внутренний отстойник, в котором происходит дополнительная конденсация влаги. Из верхней части отстойника анализируемая газовая проба, прокачиваемая через

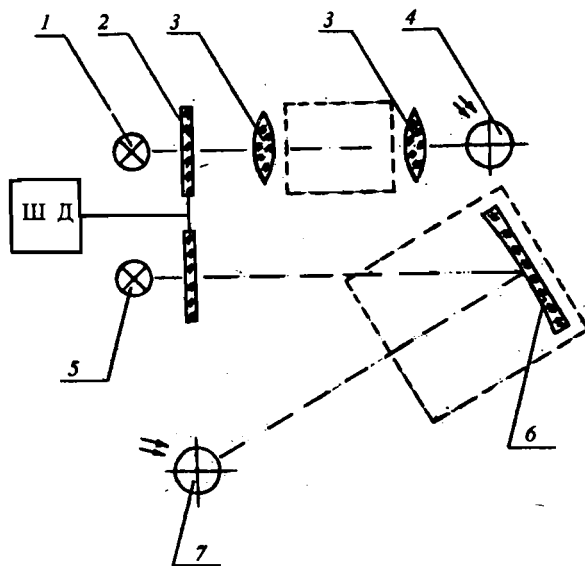


Рис. 1. Оптическая схема анализаторов семейства HS.
Объяснение в тексте.

фильтр тонкой очистки одной из камер мембранного побудителя расхода пробы, поступает через индикатор в измерительные газовые кюветы и выбрасывается в атмосферу. Накопившийся в нижней части отстойника конденсат откачивается второй камерой побудителя и выбрасывается в атмосферу.

Блок оптический (см. рис. 1) состоит из источников ИК-излучения (1), (5) (лампы накаливания миниатюрные ТРШ 1500-2300 ТУ 16-535.847—80), интерференционных светофильтров (2), переключающихся с помощью шагового двигателя (ШД) ПБМГ—200—265, оптических элементов — линз (3), зеркала (6), приемников ИК-излучения — болометров типа БПБ ОЖО.467.256 ТУ (4, 7).

В канале CO_2 тело накала лампы 1 и болометр 4 размещены в фокальных плоскостях линз 3. Параллельный пучок излучения, пройдя кювету, собирается линзой 3 на приемную площадку болометра. В канале C_nH_m , CO тело накала лампы 5 и болометр 7 установлены приблизительно в центре кривизны зеркала 6. Пройдя кювету, поток ИК-излучения формирует изображение тела накала лампы 5 на болометре 7 с увеличением 1.

Электрическая схема обработки информации (рис. 2) содержит два одинаковых канала обработки электрических сигналов болометров (1), (2), соответствующих каналам C_nH_m , CO и CO_2 , которые работают параллельно, и блок обработки информации, собранный на основе микропроцессора. Функцию обработки электрического сигнала болометров выполняют коммутаторы-преобразователи (3), (4), обеспечивающие усиление, коммутацию сигнала и преобразование его в последовательность частотных сигналов в соответствии с

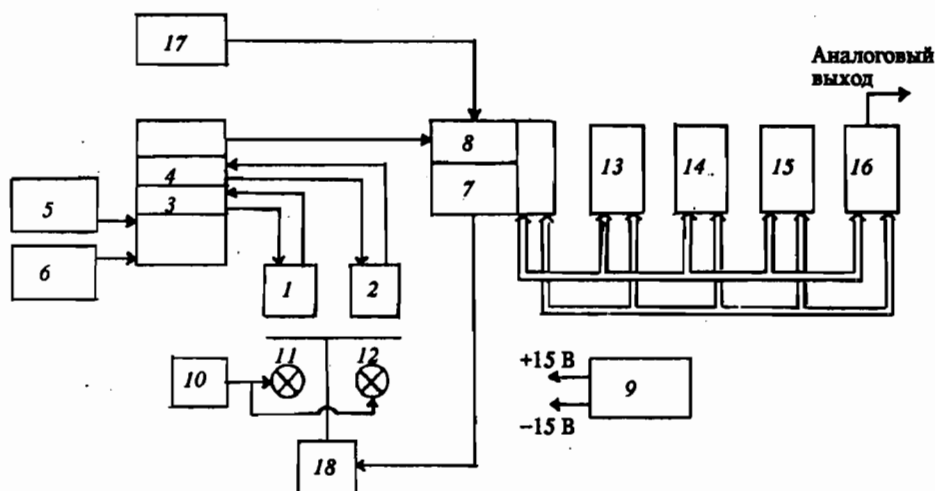


Рис. 2. Структурная электрическая схема анализаторов семейства NS.
Объяснение в тексте.

последовательностью модуляции. В коммутаторе-преобразователе 4 канала $C_n H_m$, CO_2 размещен преобразователь напряжение—частота датчика температуры (5), частотный сигнал которого используется для температурной коррекции результата измерения, а также формирователь сигнала реперной точки (6), обеспечивающий синхронную работу коммутаторов-преобразователей, устройства управления ШД (7) и устройства ввода (8). Питание коммутаторов-преобразователей осуществляется от отдельного стабилизатора (9). В этом же устройстве размещены два стабилизатора тока (10) для питания источников ИК-излучения (11), (12). Устройство управления ШД 7 формирует напряжения на фазовых обмотках шагового двигателя (18) таким образом, что модулятор с интерференционными светофильтрами вращается со стабильной скоростью и обеспечивает остановку вращения через каждые 25 шагов на время порядка 30 мс, когда светофильтр находится на оптической оси прибора (информационный такт) и когда оптическая ось перекрыта полностью (темновой такт). Стабильность вращения ШД, а также выдержка времени информационного и темнового тактов, обеспечивается кварцевым генератором.

Последовательно распределенные во времени сигналы (в соответствии с последовательностью модуляции) с выходов коммутаторов-преобразователей 3, 4 поступают в устройство ввода 8. В устройстве ввода осуществляется распределение и накопление полученной цифровой информации в соответствующие счетчики, определение температуры измеряемого газа (кюветы) и выполнение необходимого количества циклов усреднения, задаваемых программно.

Опрос счетчиков устройства ввода 8 после окончания необходимого количества усреднений, а также счетчика температуры, осуществляется устройством микропроцессорным (МП) 13.

Управление остальными устройствами анализатора (устройством индикаций (14), ПЗУ (15), устройством вывода (16)), а также вычисление процентного содержания измеряемых газов, ввода поправок на температуру осуществляется МП (13). Градуировочные коэффициенты, постоянные числа и поправочные коэффициенты на температуру записаны в ПЗУ (15). Устройство вывода 16 формирует на выходах аналоговые сигналы: 0÷5 мА и 0÷5 В, соответствующие значениям процентного содержания измеряемых газов. Устройство индикации 14 предназначено для организации вывода результатов вычислений на цифровые индикаторы. Питание всех устройств анализатора осуществляется от блока питания напряжением +15 и +5 В.

Датчик тахометра состоит из импульсного трансформатора, платы формирователя, соединительного кабеля с вилкой подключения к анализатору. При измерении высоковольтный провод системы зажигания проходит через ферритовое кольцо трансформатора и высоковольтные импульсы системы зажигания индуцируют в обмотке трансформатора импульсы, которые формирователем преобразуются в последовательность стандартных импульсов TTL уровня.

В случае анализаторов HS—2, HS—5 МП (13) проводит вычисление отношения топливо/воздух (λ -параметр), исходя из данных измерения концентраций CO , CO_2 , C_nH_m , и результаты вычисления поступают в устройства индикации 14 и вывода 16.

Анализаторы HS—3, HS—4 дополнительно содержат встроенный тахометр для контроля частоты вращения коленчатого вала двигателя. Высоковольтные импульсы поступают в формирователь 17 с распределителя зажигания и далее в устройство ввода 8.

Основные технические характеристики приборов приведены ниже.

Диапазоны измеряемых концентраций в объемных долях:

C_nH_m — $(0,01 \div 1,0) \cdot 10^4 \text{ млн}^{-1}$ ($10 \div 3000 \text{ млн}^{-1}$ для HS-5);

CO — $0,25 \div 10 \%$ ($0,01 \div 1,0 \%$ для HS-5);

CO_2 — $0,5 \div 15 \%$.

Диапазон измерения частоты вращения, мин^{-1} : $25 \div 9999$.

Диапазон измерения λ -параметра: $0,5 \div 2,5$.

Относительная основная погрешность γ для канала CO_2 определяется формулой: $\gamma = \pm [5 + 0,5 (C_k / C - 1)] \%$, где $C_k = 15$ об. долей $\%$, C — текущее значение концентрации.

Пределы допускаемой основной погрешности для всех остальных газов, не более:

— $\pm 5\%$ относительных для CO и углеводородов в диапазоне больших концентраций;

— $\pm 0,25$ ($0,025$) об. дол. $\%$ для CO в диапазоне концентраций $0 \div 5,0$ ($0 \div 0,5$) об. дол. $\%$;

— $\pm 0,005$ (0,001) об. дол. % для углеводородов в диапазоне концентраций 0 + 0,1 (0 + 0,05) об. дол. %.

Пределы погрешности измерения частоты вращения должны быть:

— $\pm 2,5$ % относительных для диапазона 1000 + 9999 мин⁻¹,

— ± 25 мин для диапазона 0 + 1000 мин⁻¹

Питание от сети переменного тока

напряжением, В 220

частотой, Гц 50 \pm 1

Потребляемая мощность, В · А 60

Габаритные размеры, мм 470 \times 340 \times 165

Масса, кг 10.

Таким образом, нами разработаны приборы, которые могут контролировать параметры двигателя, связанные с его токсичностью. Метрологические характеристики приборов соответствуют ГОСТ 17.2.2.03—87 и другим нормативным документам [6], а их технические характеристики находятся на уровне лучших зарубежных образцов. Серийное освоение приборов планируется в НПО "Позитрон"

ЛИТЕРАТУРА

1. *Automotive Emission Analyser Mecha-534GE HC, CO₂, CO and O₂*. The mine Mecha is magic Horiba Instruments Inc. P. 2; 29 см. Япония.
2. Якушенко Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. М., 1989. 357 с.
3. Кораблев И. В., Кулаков М. В. // Приборы и системы управления. 1975. N 10. С. 17—20.
4. А. с. 1543309 (СССР).
5. Nestler V., Olsovski W., Retzow K. H., Zorner K.-H. // Messen+prufen automatik. 1983. N 5. P. 264—267.
6. Златопольский А. В., Багиров Д. Д., Андреева А. Н. // Стандарты и качество. 1991. N 4. С. 57—59.

Рукопись поступила 22.06.93