

УДК 504.3:681.7.08

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАСПОРТА

Хламов М. Г., проф., к.т.н., доц.; Масальский В. И., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

На сегодняшний день все чаще и чаще поднимается вопрос сложной экологической обстановки в крупных городах и мегаполисах, вызванной чрезмерным количеством выбрасываемых автотранспортом вредных веществ в атмосферу. К примеру, по состоянию окружающей среды города Донецка в период с 1997 по 2007 год количество вредных веществ, выбрасываемых автотранспортом в атмосферу, увеличилось на 76%, что составляет приблизительно 75 000 тонн вредных веществ [1, с. 3-4].

Интенсивность роста количества выбрасываемых вредных веществ автомобильным транспортом в атмосферу обусловлена не только увеличением количества транспортных средств, но и качественными характеристиками двигателей или наличием возможных отклонений этих характеристик от некоторого номинального значения, как следствие некорректной работы двигателя [2, с. 131]. В качестве примера рассмотрим влияние коэффициента избытка воздуха (параметр двигателя внутреннего сгорания (ДВС)) на количество выбрасываемых вредных веществ автомобильным транспортом (рис. 1).

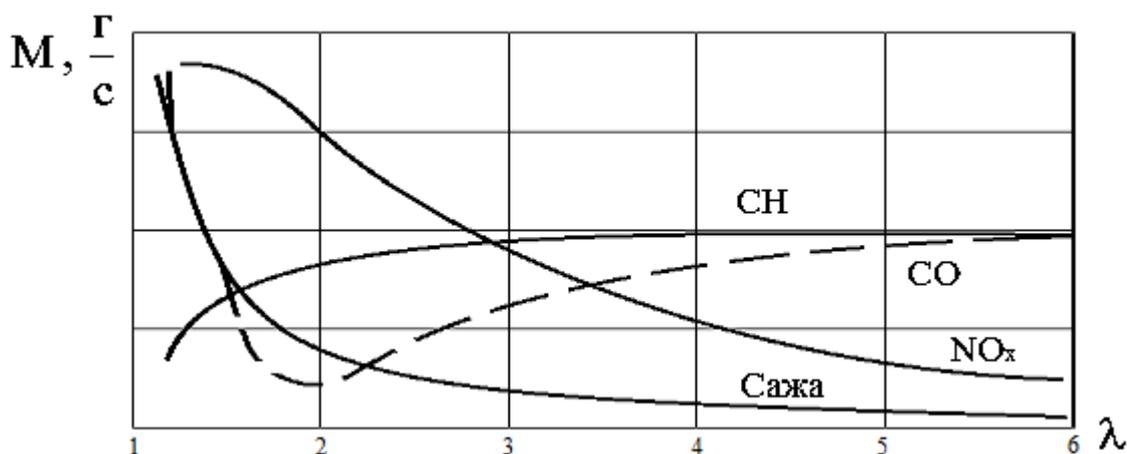


Рисунок 1 – Влияние коэффициента избытка воздуха λ на выбросы автотранспорта M

Очевидно, что отклонение данного параметра в ту или иную сторону приведет к изменению количества различных вредных веществ в выхлопных газах автомобильного транспорта. В этой связи возникает необходимость периодической диагностики двигателей автомобильных средств для отладки и устранения возможных неисправностей.

Существует множество различных средств, позволяющих провести диагностику двигателя. Для этого, как правило, прежде всего, проводят газовый контроль ДВС, применяя специализированные газоанализаторы. Существующие устройства позволяют выполнять оценку выхлопных газов лишь среди отдельно взятых транспортных средств, находящихся в состоянии покоя, что является наиболее существенным недостатком подобных устройств, применяемых в СНГ.

В данной связи была сформирована основная цель: разработать и обосновать структуру системы, позволяющей выполнять автоматический измерительный процесс выхлопных газов движущегося автомобильного транспорта, в условиях неоднородной среды измерения – участка проезжей части. На данный момент подобные разработки и исследования уже проводились в США, Канаде и в некоторых государствах ЕС [3].

Для достижения поставленной цели были сформированы три основных задачи:

- 1) Осуществить выбор метода измерений, обеспечивающий требуемое быстродействие проводимых газоаналитических измерений при заданной точности.
- 2) Разработать математическую модель процесса измерений в неоднородной газовой среде, учитывающую влияние различных внешних воздействующих факторов.
- 3) Разработать структурную схему и конструктивное исполнение системы контроля выбросов автотранспорта.

Специфичность проводимых газоаналитических измерений разрабатываемой системой заключается в том, что измерения будут проводиться непосредственно на проезжей части в потоке движущегося автотранспорта. Это является основным критерием выбора метода измерений для разрабатываемой системы. В ходе проведенных исследований различных методов газоаналитических измерений было выявлено, что единственными методами, обладающими необходимыми качествами для проведения измерений на проезжей части, являются оптические, а именно – оптико-абсорбционный.

Сущность данного метода измерений заключается в том, что входная мощность оптического излучения светодиода Φ_0 , проходящего расстояние L в среде с концентрацией C исследуемого компонента, экспоненциально убывает на выходе системы при данном коэффициенте поглощения $k(\lambda)$, где λ - длина волны оптического излучения (рис. 2).

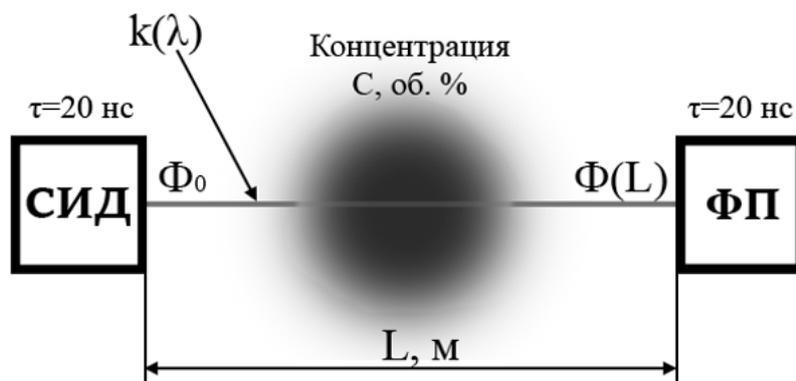


Рисунок 2 – Сущность метода измерений: τ - быстродействие, нс

Так как любое вещество поглощает излучение в определенном спектральном диапазоне то, чем больше концентрация анализируемого вещества в газовой смеси (ГВС), тем больше будет поглощено оптического излучения, и тем меньше будет выходная мощность излучения, попадающего на фотоприемник. Следовательно, по изменению выходной мощности оптического излучения относительно входной, можно судить о концентрации того или иного компонента в анализируемой ГВС. Данный метод измерений был получен исходя из закона Бугера-Ламберта-Бера [4], и основывается на следующем выражении:

$$\Phi(L) = \Phi_0 \cdot e^{-k(\lambda) \cdot C(L,t) \cdot L}, \quad (1)$$

в котором предусматривается равномерное распределение концентрации газа по длине оптического пути. Быстродействие системы обусловлено скоростью распространения электромагнитного излучения, а также быстродействием чувствительных элементов (фотоприемник и светодиод).

Однако облако выхлопных газов имеет свои особенности распределения в открытом оптическом канале [5]. Во время движения автомобиля облако выхлопных газов распространяется в пространстве неравномерно (неоднородная среда измерения) и подвергается воздействию внешних факторов, таких как: ветер, давление, температура, диффузия и пр. Также существенное влияние на параметры распределения облака оказывает турбулентность ГВС, вызываемая движением автомобилей. Как следствие, распределение концентрации имеет неравномерный характер (рис. 3).

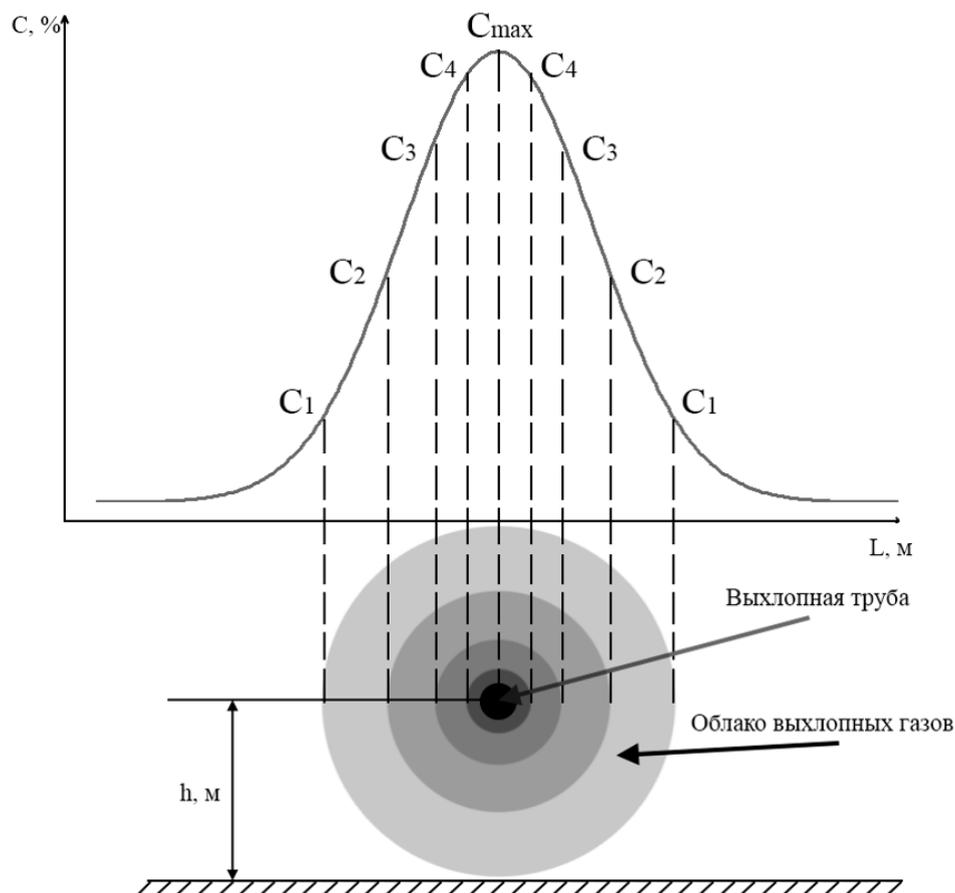


Рисунок 3 – Теоретическое условное изображение распределения концентрации вредных веществ в облаке выхлопных газов

Так как концентрация исследуемых компонентов в облаке выхлопных газов распределена неравномерно, а закон Бугера-Ламберта-Бера (1) предполагает обратное, то возникает необходимость перейти к интегральной форме учета неравномерности концентрации:

$$S(L, \lambda) = S_0 \cdot e^{-k(\lambda) \int_0^{L_m} C(L) dL},$$

где $S(L, \lambda)$ – спектральная плотность мощности на выходе системы [Вт·с]; S_0 – спектральная плотность мощности на входе системы [Вт·с].

В результате, на основе существующих моделей рассеивания примесей, была составлена математическая модель (2) описывающая распределение концентрации в облаке выхлопных газов, с учетом различных влияющих факторов [5]:

$$C(x, y) = \frac{M \cdot S_z(x) \cdot \sqrt{1 + 10^{-4} \cdot x}}{\pi \cdot \alpha_y \cdot \alpha_z \cdot x^2 \cdot u} \cdot \text{EXP} \left(-\frac{h^2 \cdot S_z^2(x)}{2 \cdot \alpha_z^2 \cdot x^2} - \frac{y^2 \cdot (1 + 10^{-4} \cdot x)}{2 \cdot \alpha_y^2 \cdot x^2} \right), \quad (2)$$

где $C(x, y)$ – концентрация вещества; x, y – пространственные координаты; α_y, α_z, S_z – некоторые атмосферные коэффициенты; u – скорость движения автомобиля [м/с]; M – массовый выброс [г/с]; h – высота расположения сопла трубы [м].

Измеряемая концентрация состоит из нескольких основных составляющих: средняя концентрация на проезжей части и средняя атмосферная. При этом средняя концентрация на проезжей части получается в результате быстрого рассеивания после прохождения автомобиля динамической составляющей, обусловленной разовым выбросом автомобиля, и мелкомасштабной турбулентной, обусловленной движением автомобиля. В результате

суммирования данных основных составляющих была получена зависимость, уже более приближенная к реальным значениям распределения концентрации загрязняющих веществ на дороге (рис. 4).

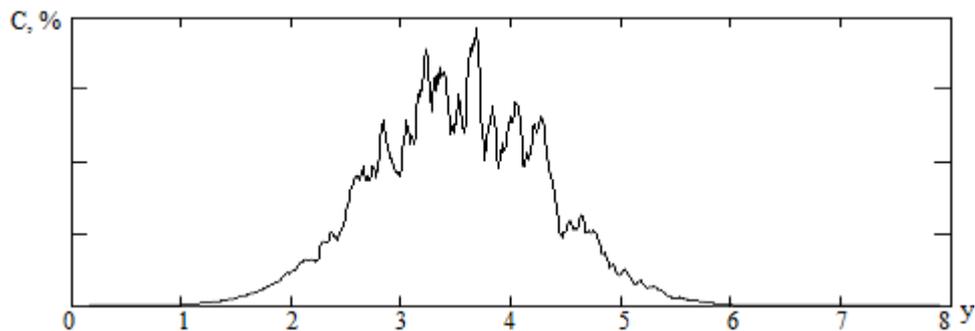


Рисунок 4 – Распределение концентрации компонентов выхлопных газов с учетом воздействующих факторов: C – концентрация, y – координата

На данном этапе была составлена предварительная структурная схема измерительной системы (рис. 5).

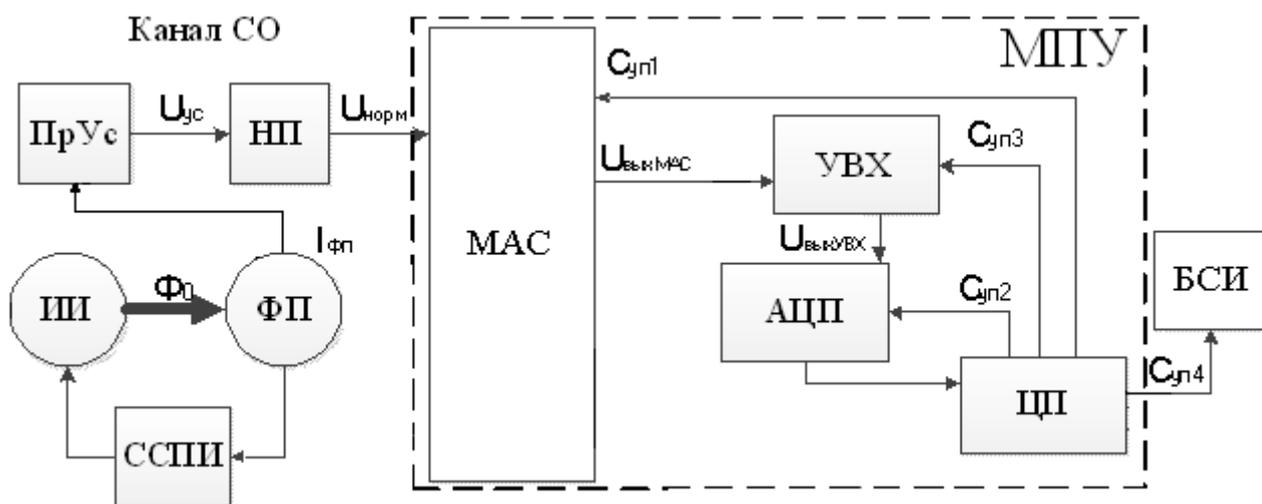


Рисунок 5 – Структурная схема измерительной системы

Принцип работы системы: поток оптического излучения источника (ИИ), проходя открытый оптический канал, содержащий анализируемые компоненты, попадает на фотоприемник (ФП), на котором формируется электрический сигнал, усиливаемый предварительным усилителем (ПрУс). Стабилизация потока оптического излучения выполняется за счет специальной схемы стабилизации (ССПИ). Усиленный сигнал приводится к диапазону аналого-цифрового преобразователя (АЦП) по средствам нормирующего преобразователя (НП) и далее попадает на мультиплексор аналоговых сигналов (МАС). Для корректной работы АЦП в схеме задействовано устройство выборки-хранения (УВХ), выполняющее роль кратковременного хранилища данных. Центральный процессор (ЦП) микропроцессорного устройства (МПУ) выполняет основные функции обработки измерений, посылая на соответствующие блоки сигналы управления ($C_{уп1-4}$). БСИ – блок связи и индикации.

В результате моделирования измерительного процесса был составлен алгоритм формирования градуировочного сигнала и десятичного кода, соответствующего уровням данного сигнала. Каждый уровень сигнала соответствует некоторому осредненному значению концентрации, измеряемой на участке проезжей трассы. Аппроксимировав данную зависимость, была получена и построена соответствующая градуировочная характеристика (рис. 6).

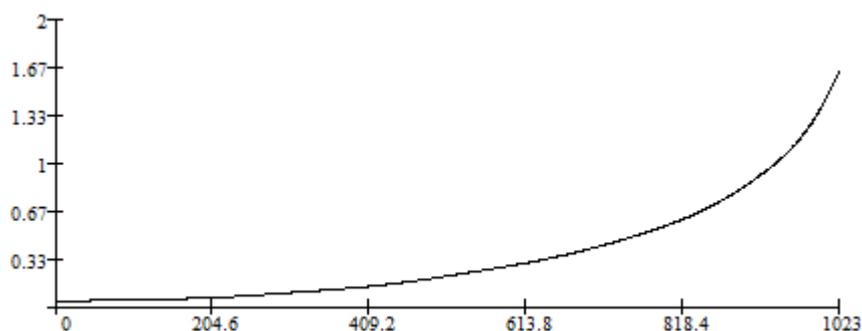


Рисунок 6 – Градуировочная характеристика

Таким образом, изменение концентрации в открытом оптическом канале приведет к изменению десятичного кода, обрабатываемого микропроцессорным средством, входящим в состав системы. Пользуясь данной градуировочной зависимостью можно определить концентрацию окиси углерода в пределах 0...1.7 об.%. По предварительным оценкам метрологических характеристик была получена зависимость распределения погрешности измерения по отдельным участкам градуировочной характеристики (рис. 7).

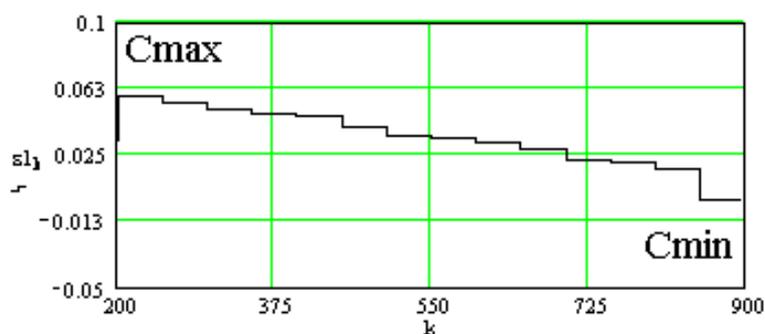


Рисунок 7 – Распределение погрешности измерения по градуировочным уровням (C_{max} и C_{min} – максимальное и минимальное значения измеряемой концентрации)

Очевидно, что с увеличением концентрации погрешность измерений будет возрастать, из-за значительной нелинейности градуировочной характеристики.

На следующем этапе планируется детальная разработка структурной схемы системы, с подробным описанием ее функциональных блоков, а также доработка математической модели с целью уменьшения погрешности измерений.

Перечень ссылок

1. Состояние окружающей природной среды города Донецка // Донецкий городской совет : доклад. – 2007. – 12 с.
2. Аргучинцева, А. В. Оценка загрязнения окружающей среды городов автотранспортом / А. В. Аргучинцева // Доклад. – 2008. – 137 с.
3. Remote Sensing Vehicle Emissions [Электронный ресурс] // Institute for Transport Studies (ITS). – Режим доступа : <http://www.its.leeds.ac.uk/research/facilities-old/vems/>. – Загл. с экрана.
4. Закон Бугера-Ламберта-Бера [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_Бугера_-_Ламберта_-_Бера. – Загл. с экрана.
5. Модели рассеивания примеси [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Модели_рассеивания_примеси. – Загл. с экрана.