

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШУМОВ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА

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

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

В ранее описанных работах [1-2] была представлена структура системы непрерывного контроля выбросов автомобильного транспорта, были опубликованы основные особенности рассеивания облака выхлопных газов в пространстве. Также были представлены некоторые теоретические модели рассеивания облака выхлопных газов и выполнено моделирование измерительного процесса.

Однако следует отметить, что ранее представленное моделирование было выполнено без учета непосредственно в модели основных влияющих факторов. К их числу главным образом относят изменение температуры, изменение направления и скорости ветра, а также наличие шумов в любой измерительной системе. Рассмотрим подробнее эти факторы.

Помимо ранее описанного влияния турбулентной составляющей на погрешность результатов измерения средства измерений, немалое воздействие оказывает температура, при которой проводятся измерения. В измерительной системе, в качестве первичного измерительного преобразователя используется оптическая пара – светодиод и фотоприемник. Согласно источникам [3-4] температура оказывает существенное влияние на наиболее важные параметры светодиода, с точки зрения измерительной техники. К этим параметрам относится длина волны излучения и оптическая мощность (рисунок 1).

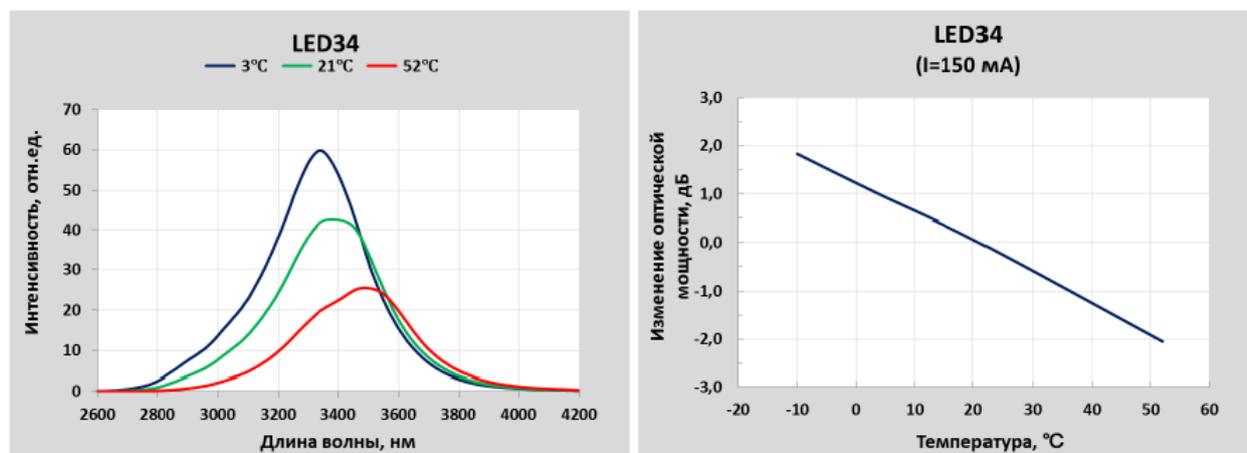


Рисунок 1 – Влияние температуры на параметры светодиода на примере LED34

Очевидно, что изменение температуры светодиода сдвигает пик максимума интенсивности излучения светодиода, а также уменьшает непосредственно амплитуду, а оптическая мощность убывает линейно с увеличением температуры. Поэтому контроль температуры в процессе измерения концентрации окиси углерода в выбросах автомобильного транспорта является очень важным фактором.

Следует также отметить, что фотоприемники, а именно – фотодиоды, также подвержены влиянию температуры. Согласно [5] один из способов улучшить чувствительность фотодиода – охладить его. Снижение температуры кристалла на 20-30 °С повышает параллельное сопротивление примерно на порядок. Охлаждение также позволяет снизить темновой ток – главный источник шума детекторов излучения.

Кроме влияния температуры на первичный измерительный преобразователь, следует учесть также влияние температуры на остальные компоненты, входящие в состав измерительного оборудования – нормирующий преобразователь (температурный дрейф нуля

операционных усилителей), источник питания и опорного напряжения (изменение относительной стабильности выходного напряжения под воздействием температуры) и др.

Влиянию температуры также подвержен процесс диффундирования облака выхлопных газов. Согласно [6], коэффициент диффузии в газовой среде с повышением температуры изменяется пропорционально  $\sqrt{T}$ .

Для контроля температуры и возможности введения температурных поправок в результат измерения была предложена структурная схема с двумя измерительными каналами (рисунок 2).

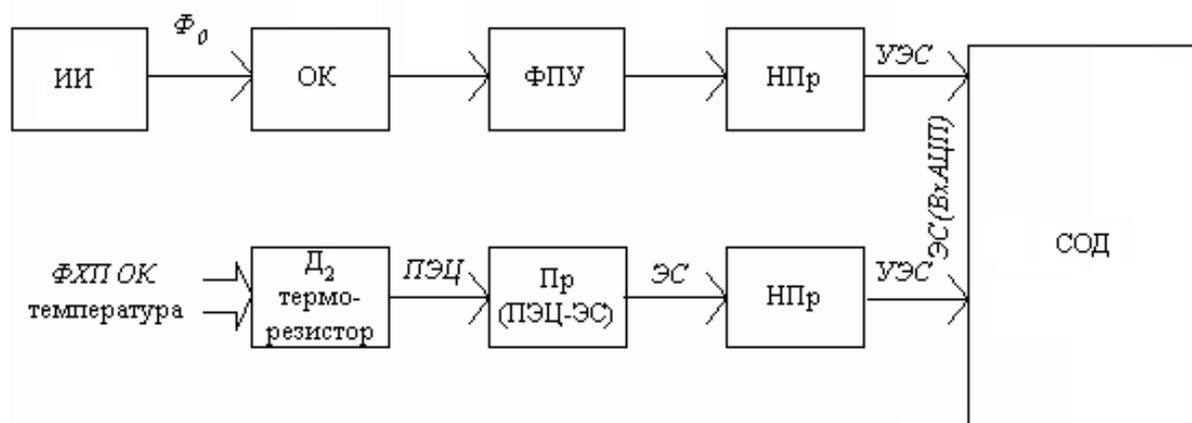


Рисунок 2 – Фрагмент структурной схемы системы

Здесь представлены: ИИ – источник излучения, ОК – оптический канал, ФПУ – фотоприемное устройство, НПр – нормирующий преобразователь, Пр – преобразователь, СОД – система обработки данных и индикации, включающая в себя микропроцессорное устройство, а также панель индикации концентрации.

Влияние ветра на распространение облака выхлопных газов в пространстве было описано в обновленной математической модели:

$$C(x, y, z, t, C_{co}, V_y) = \frac{C_{co}}{2\pi\sigma_x k_x} \cdot e^{-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2} - \frac{(y-y_0)^2 + V_y t(y-y_0)VY}{2\sigma_y^2}} \cdot e^{-\frac{\omega_0 t}{x}}, \quad (1)$$

здесь  $C_{co}$  – максимальное текущее значение концентрации (об.%);  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – коэффициенты диффузии вдоль осей  $x, y, z$  (м);  $k_x$  – некоторый вспомогательный коэффициента ( $m^{-1}$ );  $x, y, z$  – текущие координаты;  $y_0, z_0$  – точки начала отсчета (м);  $t$  – текущее время (с);  $V_y$  – скорость ветра (м/с);  $\omega_0$  – скорость автомобиля (м/с);  $VY$  – вектор направления ветра.

Исследование влияния ветра по данной математической модели показали, что система не нуждается в дополнительном измерительном канале, для контроля скорости и направления ветра, т.к. его влияние сравнительно невелико, и может быть учтено при измерении при помощи поправки (рисунок 3 (турбулентная составляющая была исключена, для большей информативности изображения)).

На рисунке 3 представлены 6 графиков, характеризующих изменение концентрации в одном сечении на трех разных высотах относительно земли. Пунктиром обозначены зависимости, учитывающие влияние ветра, а рядом с ними тонкой линией – без учета ветра. Очевидно, что при наличии ветра пик амплитуды сдвигается по оси  $y$  влево при положительном коэффициенте  $VY$  и вправо – при отрицательном. Также следует отметить, что амплитуда пиков незначительно возрастает.

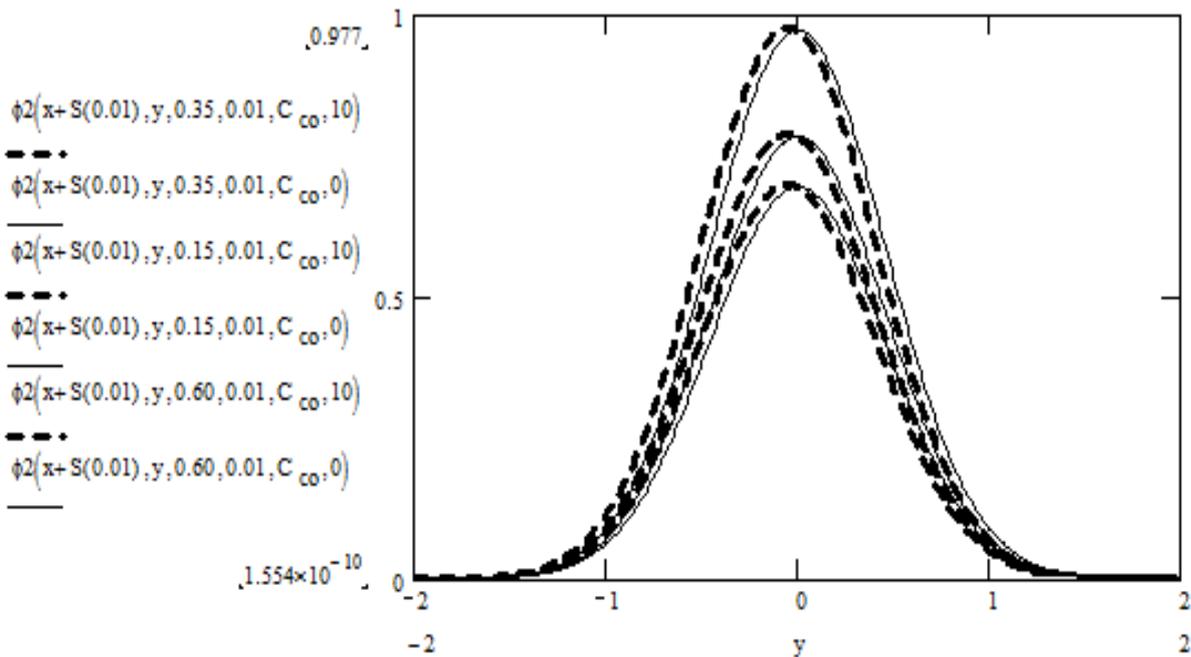


Рисунок 3 – Влияние ветра на распространение облака выхлопных газов в пространстве

Было проведено моделирование работы измерительной системы с учетом влияния ветра, а также без него. В результате оценки погрешности средства измерения были получены следующие данные (рисунок 4).

$$m\varepsilon := \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{k=0}^m \varepsilon_k \quad D\varepsilon := \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^m (\varepsilon_k - m\varepsilon)^2 \quad \sigma\varepsilon := \sqrt{D\varepsilon} \quad \varepsilon_{\max} := |m\varepsilon| + t\beta \cdot \sigma\varepsilon \quad \beta = 0.95 \quad t\beta = 2.23$$

<p>Оценка погрешности СИ без учета ветра:</p> $\frac{\varepsilon_{\max}}{CM - C_m} \cdot 100 = 0.065731 \quad \%$		<p>Оценка погрешности СИ с учетом ветра:</p> $\frac{\varepsilon_{\max}}{CM - C_m} \cdot 100 = 0.117349 \quad \%$
---	--	--

Рисунок 4 – Оценка погрешности СИ

Очевидно, что изменение приведенной погрешности всего на ~0.05% не оказывает особого влияния на результат измерения, поэтому влияние ветра будет устраняться поправкой.

Однако стоит отметить, что вышеуказанные измерения были проведены без учета влияния шумов функциональных узлов средства измерения. К ним относится шум ПИП (фотоприемное устройство), шум детектора и фильтра нижних частот, шумы нормирующего преобразователя, а также шумы сумматора АЦП. Для приближения процесса измерений к реальным условиям были промоделированы шумовые свойства каждого отдельного функционального узла, входящего в состав измерительного канала концентрации. Сигнал, в котором присутствует шум описывается следующим выражением

$$E_u = E + (u - m) \cdot \sigma \quad (2)$$

где  $E_u$  – выходной сигнал, в котором присутствует шум,  $E$  – исходный сигнал,  $u$  – некоторое случайное значение, полученное функцией  $\text{rnd}(1)$ ;  $m$  и  $\sigma$  – некоторые вспомогательные параметры.

В результате, в сигнале каждого функционального узла измерительного канала, присутствует шум, показанный на рисунке 5.

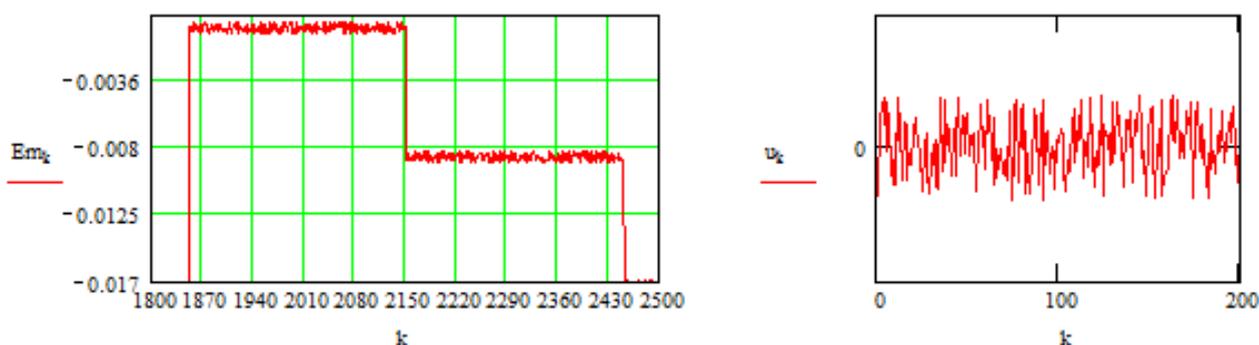


Рисунок 5 – Случайный процесс, описывающий шум (справа) и его наличие в выходном сигнале (слева)

В результате были получены более реальные оценки погрешности средства измерений (рисунок 6).

Оценка погрешности СИ в реальных условиях с учетом шума

$$\delta_{\max} := 100 \cdot \frac{\sigma_{\max}}{CO2M - CO2m} \quad \delta_{\max} = 1.062 \quad \%$$

Оценка погрешности СИ в реальных условиях с учетом шума и ветра

$$\delta_{\max} := 100 \cdot \frac{\sigma_{\max}}{CO2M - CO2m} \quad \delta_{\max} = 1.07208 \quad \%$$

Рисунок 6 – Оценки погрешности СИ в реальных условиях

Таким образом, следует заключить, что наибольший вклад в погрешность средства измерений вносят шумы отдельных функциональных блоков измерительного канала. Так, с учетом шума, погрешность средства измерений увеличилась в 10 раз (от 0.11% до 1.07%), что более приближено к реальным средствам измерений.

#### Перечень ссылок

1. Масальский, В. И. Обоснование структуры системы непрерывного контроля выбросов автомобильного транспорта / В. И. Масальский, М. Г. Хламов // Донбасс будущего глазами молодых ученых. Сборник материалов научно-технической конференции, Донецк, 21 ноября 2017 г. – Донецк : ДонНТУ, 2017. – С.110-115.
2. Масальский, В. И. Обоснование структуры системы непрерывного контроля выбросов автомобильного транспорта / В.И. Масальский, М.Г. Хламов // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов XVII научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 24-25 мая 2017 – Донецк : ДоННТУ, 2017. – С.390-394.
3. Оптоэлектронные приборы для ближней и средней ИК области спектра 0.7 - 5.0 мкм. - Каталог, 2017. – 18 с.
4. Никифиров, С. Температура в жизни и работе светодиодов. Часть 1. Компоненты и технологии / С. Никифиров. – №9. - 2005.
5. Зачем замораживать фотодиоды? [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://www.terraelectronica.ru/news/30> - Дата доступа : май 2018 г. – Загл. с экрана.
6. Химическая энциклопедия: Диффузия [Электронный ресурс]. - Режим доступа : [http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article\\_1184.html](http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_1184.html) - Дата доступа : май 2018 г. – Загл. с экрана.