

УДК 621.446

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА, СТЕНДА ИСПЫТАНИЯ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Кульшун Л.В. студ.; Хламов М.Г. доц., к.т.н.

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

**Общая постановка проблемы.** В нашем регионе с хорошо развитой системой угольной промышленности, все более стает актуально оборудование индивидуальной защиты, в том числе и автономных изолирующих дыхательных аппаратов. Во время аварий на угольно добывающих предприятиях, часто бывает так что воздух которым дышат шахтеры или спасатели, сильно загрязнён, метаном, угольной пылью и тд. и тп. В таких случаях как раз и стоит применять индивидуальные средства защиты. Разрабатываемый прибор должен контролировать параметры выдаваемого диоксида углерода и показывать их концентрацию и темп дыхания на индикаторе отображения информации, помогая спасателям и работникам отслеживать текущее состояние человека.

Целью разработки есть уменьшение времени подготовки к использованию и отображению полученной информации измерения и интеграция новых технических элементов. Прибор предназначен для измерения концентрации диоксида углерода горноспасательного оборудования.

Прибор должен состоять из следующих частей:

- канал измерения оптической пробы – предназначенный для измерения концентрации диоксида углерода;
- мультиплексор аналоговых сигналов – предназначенный для поочередного подключения измерительных каналов ко входу цифровой части прибора;
- аналого-цифровой преобразователь;
- микропроцессорный блок – предназначенный для определения концентрации измеряемого вещества и вывода результата на индикацию.

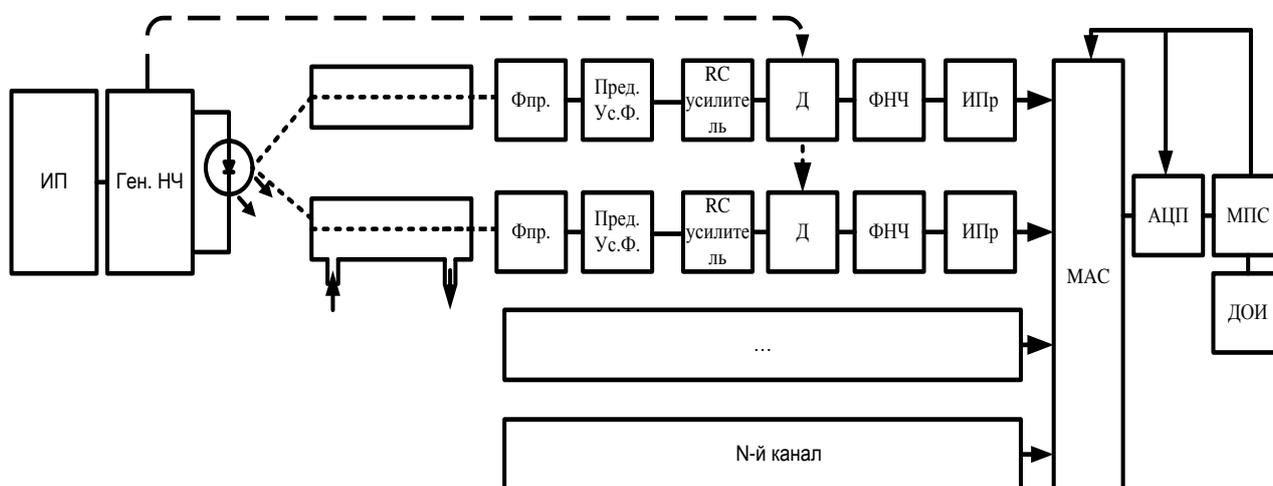


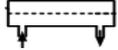
Рисунок 1 - Обобщенная структурная схема прибора контроля диоксида углерода

ИП - источник питания

Ген.НЧ - используется для генерации синусоидальных сигналов



- источник излучения



- газовая кювета, рабочая и сравнительные кюветы

Фпр. - устройство преобразования входных сигналы от первичных датчиков в унифицированные сигналы стандартных диапазонов

РС Ус - для усиления полученных сигналов от НП

Пред.ус.ф. - предусилитель фототока

Д - для преобразования модулированных колебаний несущей частоты в колебания с частотой модулирующего сигнала.

Нпр. - нормирующий преобразователь.

ФНЧ - используется для пропускания низкочастотных составляющих спектра проходящего через него сигнала и ослабляющее высокочастотные

МАС - мультиплексор

АЦП - для преобразования аналогового сигнала в цифровой

МПС - микроконтроллер

ДОИ - для отображения обработанных сигналов

**Решение задачи, результаты исследований.** Газовая среда представлена виде трехкомпонентной смеси из азота, кислорода и углекислого газа и паров воды. Спектр поглощения углекислого газа приведен на рис. 2 Спектр взят из источника [1].

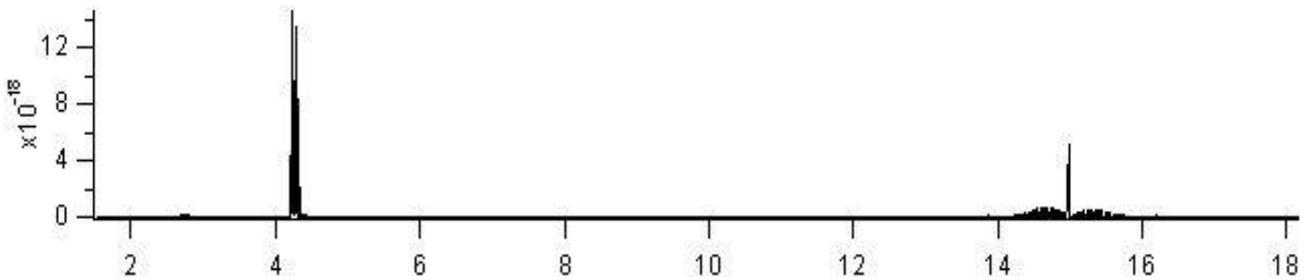


Рисунок 2 - Спектр представлен в широком диапазоне поглощения диоксида углерода в мкм

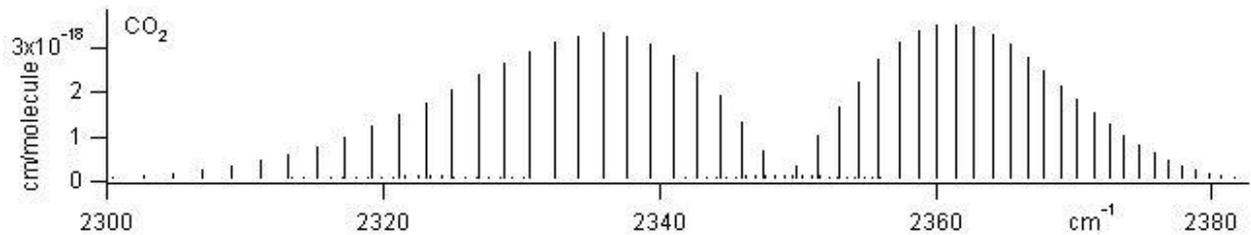


Рисунок 3 - Полоса поглощения CO2 в районе 4,3 мкм. или 2350 см<sup>-1</sup>

Коэффициент поглощения углекислого газа аппроксимируется моделью.

Каждая линия спектра описывается формулой ( контур Лоренса)

$$K_j(\lambda) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{a_j \cdot b_j}{(\lambda - \lambda_{0j})^2 + (b_j)^2} \quad (1)$$

Полоса поглощения в районе 4,3 мкм. (смотри рис.3) описывается функцией

$$K(\lambda) = \sum_{j=-n}^m \left[ \frac{1}{\pi} \cdot \frac{a_j \cdot b_j}{(\lambda - \lambda_{0j})^2 + (b_j)^2} \right] \quad (2)$$

Дискретный спектр аппроксимируется интегральным спектром поглощения усредним по каждой линии виде соотношений

$$K(\lambda) = aa \cdot (\Delta aPT)^3 \cdot \Delta a \lambda CO_2(\lambda) \cdot e^{-a \lambda CO_2(\lambda) \cdot \Delta aPT} \quad (3)$$

Газовоздушная среда представляется виде структурного компонента – оптического канала с коэффициентом передачи T

$$D(\lambda, C_{CO_2}) = 1 \cdot K_{CO_2}(\lambda) \cdot C_{CO_2} \quad (4)$$

$$TT(\lambda, C_{CO_2}) = e^{-D(\lambda, C_{CO_2})} \quad (5)$$

Спектральная характеристика оптического канала приведена на рис. 4

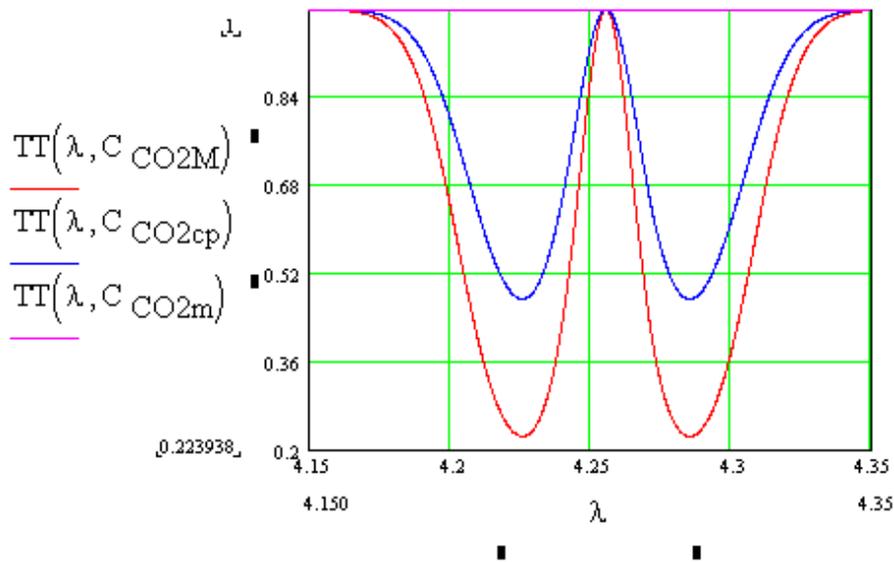


Рисунок 4 - График коэффициента пропускания ОК при различных концентрациях CO<sub>2</sub>

Спектральной плотности выходного потока ОК определяется как:

$$f_{\text{выхОК}}(\lambda, C_{CO_2}) = fu(\lambda) \cdot TT(\lambda, C_{CO_2}) \quad (6)$$

Спектральной плотности выходного потока ОК приведена на рис. 5

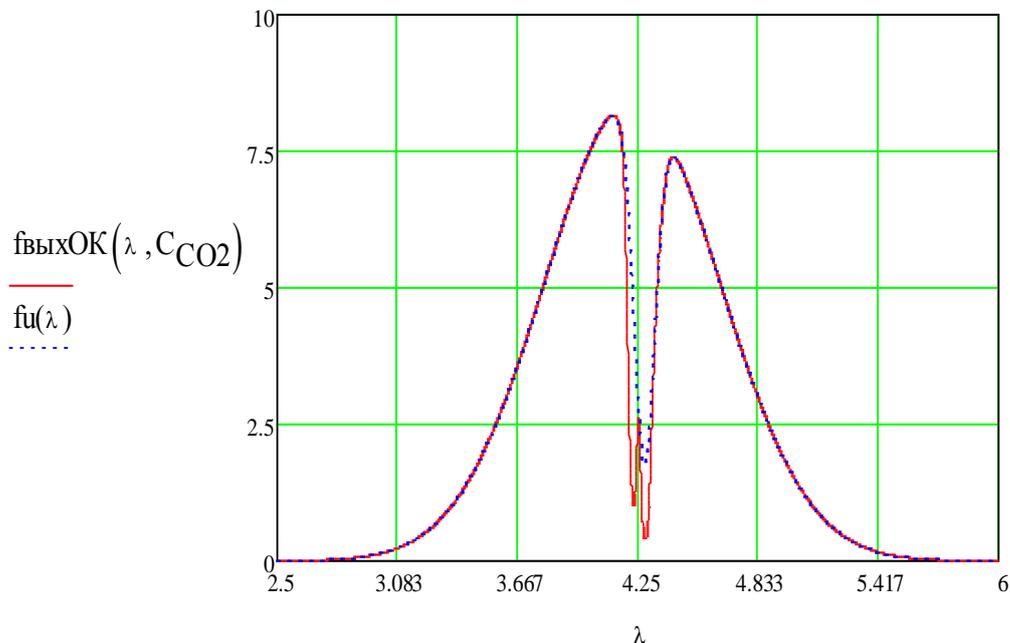


Рисунок 5 - График спектральной плотности выходного потока ОК

В процессе разработки устройства возникает потребность выявления погрешностей измерения и улучшения показателей проектируемого устройства, для этого применяют методы математического моделирования.

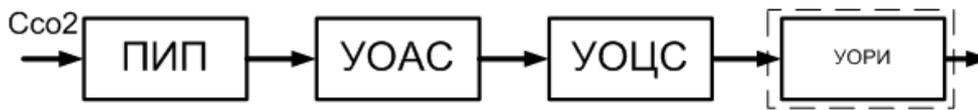


Рисунок 6 – Структурная модель разрабатываемого устройства контроля диоксида углерода

ПИП – первичный измерительный преобразователь.  
 УОАС – устройство обработки аналогового сигнала.  
 УОЦС – устройство обработки цифрового сигнала.  
 УОРИ – устройство отображения результатов измерения.

$$C_{co2} = \varphi(KOD10) \quad (7)$$

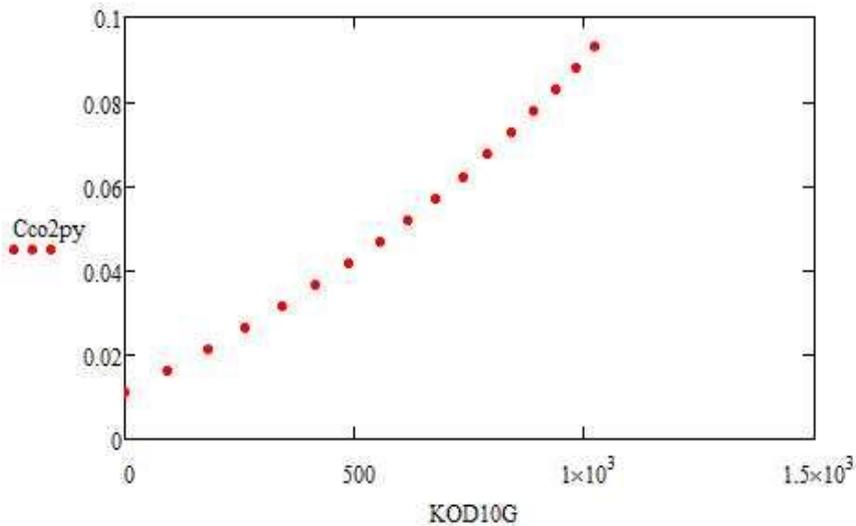


Рисунок 7 – Зависимость концентрации диоксида углерода и значения десятичного кода

Алгоритм получения результатов измерения

$$A = \begin{pmatrix} 0.010945 \\ 5.602413 \times 10^{-5} \\ 6.990444 \times 10^{-9} \\ 1.624865 \times 10^{-11} \end{pmatrix} \quad m := 3 \quad C_{изм_k} := \sum_{q=0}^m [A_q \cdot (KOD10G_k)^q]$$

Цифровая модель не учитывает

- шумы аппаратуры
- температурные смещения сигналов в ОУ
- возмущения влияющие на измерительный процесс (стабильность потока измерения СИД, влияния изменения атмосферного давления и температуры, явление деградации оптоэлектронных приборов) и тд.

Выявление погрешностей измерения выполнено методом сличения результатов измерения (моделирования) с истинными значения измерения концентрации углекислого газа. Для задания наихудшего режима измерительного процесса, модель входного сигнала имеет нормальный закон распределения значений измеряемой величины (концентрации  $CO_2$ ). Длина реализации, число моделируемых измерений, составлено измерений. Параметры погрешности обрабатывались по следующей методике:

$$\varepsilon_k = C_{co2py2} - C_{изм_k} \quad (8)$$

Производим оценку дисперсии

$$D\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^m (\varepsilon_k - m\varepsilon)^2 \quad (9)$$

Оцениваем С.К.О

$$\sigma\varepsilon = \sqrt{D\varepsilon} \quad (10)$$

Выполняем оценку максимального значения погрешности

$$\varepsilon_{max} = |m\varepsilon| + t\beta \cdot \sigma\varepsilon \quad (11)$$

Приведенное значение максимальной погрешности

$$\gamma = \frac{\varepsilon_{max}}{CМ - Cм} \cdot 100\% \quad (12)$$

$t\beta_j$  – доверительные границы нормированной величины нераспределений Стьюдента, при  $\beta=0,95$ ;

$$t\beta_j = 1,96$$

Если бы в ходе работы были учтены ряд возмущений, то метрологические оценки оказались более близкие к реальным газоаналитическим средствам измерения, и имели бы значения погрешности где-то 1-2%.

#### **Выводы.**

1. В процессе исследования средства измерения углекислого газа для стенда имитации дыхания, в проекте выполнен анализ и обзор методов и устройств контроля концентрации углекислого газа. Оценены метрологические характеристики предложенной конструкции измерителя, в виде двух блоков: выносного размещаемого на дыхательном аппарате и отдельного блока в котором размещены электронные схемы и представляются результаты измерения. Цифровые узлы сгруппированы вокруг микропроцессорного устройства, на которое возложены функции управление процессами измерений как канала измерения концентрации углекислого газа, так и других каналов.

2. Методами математического моделирования получены оценки метрологических характеристик. Получена градуированная характеристика измерительного канала и оценки значений не исключенной части погрешности.

3. Дальнейшую работу планируется продолжить в направлении повышения точности метода измерительной системы диоксида углерода с целью уменьшения быстродействия измерения концентрации  $CO_2$ .

#### Перечень ссылок

1. В.Г. Гусев., Ю.М. Гусев – Электроника. 2-е, перер. и доп. – М: Высшая школа, 1991.– 622 с.

2. Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. (Analog-Digital Conversion) Редактор оригинального издания Уолт Кестер. Перевод с английского под редакцией А.А.Власенко. (Москва: Издательство «Техносфера», 2010. – Серия «Мир электроники»)

3. Капнометр для чрезвычайных ситуаций. ЕММА. © ЗАО "БИМК-Кардио" Электронные данные. – Режим доступа:[Электронный ресурс] – Дата доступа: май 2015. – Загл. с экрана.

4. The hitran Database copyright © 2015 Ontar Corporation. All Rights Reserved. Электронные данные. – Режим доступа:[Электронный ресурс] – Дата доступа: май 2015. – Загл. с экрана.

5. Испытательный стенд «искусственные легкие» для исследования изолирующих дыхательных аппаратов ФГБОУ ВПО "ТГТУ" © 1995-2015. Электронные данные. – Режим доступа:[Электронный ресурс] – Дата доступа: май 2015. – Загл. с экрана.