

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОРМАЛЬДЕГИДА ДЛЯ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Вовна А.В., к.т.н. (Ph.D.), доц., Павленко А.А., студентка

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Общая постановка проблемы. Высокий уровень загрязнения окружающей среды в крупных промышленных городах Украины приводят к ряду экологических проблем. В настоящее время особое внимание заслуживает автомобильный транспорт, количество которого в Украине возрастает ежегодно. При сохранении тенденции массового перехода автомобилей с обычного топлива на метан, выявлено, что образование формальдегида при сжигании метана значительно превышает аналогичные показатели у бензиновых двигателей (0,177 мг/м³ у двигателей на газе; 0,057 – при сжигании бензина А-80, 0,074 – А-95) [1]. Формальдегид обладает токсичностью, негативно воздействует на генетический материал, репродуктивные органы, дыхательные пути (астма), глаза, кожный покров (экзема), вызывает аллергические дерматиты. Предельно допустимая концентрация (ПДК) формальдегида в воздухе: в воздушной среде помещений 0,01 мг/м³; максимально разовая – 0,035 мг/м³; среднесуточная – 0,003 мг/м³. Поэтому контроль концентрации формальдегида в атмосферном воздухе является одной из важных задач для систем экологического мониторинга.

Постановка задачи исследования. Для проведения количественного анализа атмосферного воздуха на содержание в нем формальдегида используется методика ионохроматографического анализа. Данная методика позволяет установить концентрацию формальдегида в диапазоне от 0,0015 до 0,75 мг/м³ с относительной погрешностью изменений $\pm 25\%$ при доверительной вероятности 0,95. Поэтому целью работы является повышение точности измерителя концентрации формальдегида в атмосферном воздухе. При анализе существующих методов и средств контроля концентрации формальдегида с точки зрения повышения точности и оперативности контроля выявлено, что наиболее пригодным для осуществления данного анализа является спектрофотометрический метод контроля. Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие задачи:

- разработка математической модели измерительного канала прибора на основе спектрофотометрического метода контроля;
- анализ результатов моделирования и постановка технических требований к измерительным каналам прибора;
- обоснование и разработка структуры измерительного прибора контроля концентрации формальдегида для системы экологического мониторинга.

Решение задачи и результаты исследования. Функционально проектируемый измерительный канал прибора, основанный на базе спектрофотометрического метода, состоит из оптоэлектронного и аналогового блока. Для выбора оптоэлектронных компонент измерителя необходимо провести анализ спектра поглощения формальдегида по интенсивности и частоте колебательно-вращательной структуры и определить дестабилизирующие факторы, которые влияют на процесс измерения концентрации формальдегида. Для аналогового блока измерителя необходимо выбрать и обеспечить режим работы фотоприемника оптического излучения и выполнить нормирование характеристик преобразования оптоэлектронного блока измерителя к унифицированно-

му виду для дальнейшего преобразования и обработки в цифровой форме.

Входной поток оптического излучения $\Phi_{ВХ ОК}$, который формируется источником излучения, поступает в оптический канал (ОК). Поглощение оптического излучения в ОК описывается законом Бугера-Ламберта-Бера [2], который связывает интенсивность поглощения с длиной пути и концентрацией исследуемого газового компонента и описывается выражением:

$$I_{ВЫХ ОК} = I_{ВХ ОК} \cdot e^{-k(\lambda)H_2CO \cdot l}, \quad (1)$$

где $I_{ВХ ОК}$ и $I_{ВЫХ ОК}$ – интенсивности падающего и прошедшего оптического излучения, Вт/срад, величины которых пропорциональны входному $\Phi_{ВХ ОК}$, Вт и выходному $\Phi_{ВЫХ ОК}$, Вт потоку оптического излучения; H_2CO – концентрация формальдегида в измерительном канале, мг/м³, l , м – толщина анализируемого слоя вещества равная длине измерительного канала; $k(\lambda)$ – коэффициент сечения спектра поглощения оптического излучения формальдегида.

Для выбора оптимальных параметров открытого оптического канала рекомендуется использовать комплексный параметр D – оптическая плотность измерительного канала, определяемый как:

$$D(H_2CO, \lambda, l) = k(\lambda) \cdot H_2CO \cdot l. \quad (2)$$

Как видно из выражения (2), коэффициент передачи оптического канала является нелинейной функцией трех переменных, три из которых: H_2CO – концентрация формальдегида, λ – длина волны спектральных линий поглощения формальдегида, l – длина измерительной базы оптического канала (конструктивный параметр).

Эффективная работа оптоэлектронного блока определяется максимально возможным коэффициентом передачи оптического канала, для его определения необходимо выполнить следующие исследования: оценка характеристик спектра поглощения формальдегида и выбор оптимальной длины волны и ширины спектра поглощения; выбор оптимального конструктивного параметра l – длины измерительной базы канала.

Коэффициенты сечения спектра поглощения формальдегида рассчитаны по экспериментальным данным, которые получены при высокой разрешающей способности анализатора спектрального состава газовой атмосферы [3]. Относительное среднеквадратичное отклонение экспериментальных значений от результатов математического моделирования сечения спектра поглощения формальдегида в ИК-области и не превышает 1 %. В качестве источника ИК-излучения в работе предложено использовать светоизлучающий диод (СИД) LED34 [4], который имеет максимум излучения на длине волны 3,3 мкм и шириной спектра равной 0,5 мкм. В качестве приемника ИК-излучения изготовителем оптоэлектронных компонент рекомендуется использовать фотодиод (ФД) PD36 [4], так как, его спектральные характеристики наиболее близкие и согласованные со спектральными характеристиками выбранного СИД LED34.

При проведении моделирования получена характеристика преобразования оптоэлектронного блока измерительного прибора. Для расчета и обоснования конструктивного параметра измерителя – длины базы оптического канала (l , м) выполнен расчет относительного изменения выходного тока ФД. Данное изменение ($\delta I_{ФД}(l)$) определяется как разность между значениями выходного тока ФД при минимальной ($H_2CO = 0$ мг/м³) и максимальной ($H_2CO = 1$ мг/м³) концентрациями формальдегида в

измерительном канале, приведено к значению тока при минимальной концентрации ($H_2CO = 0 \text{ мг/м}^3$), и может быть рассчитано по соотношению:

$$\delta I_{\text{ФД}}(l) = \frac{I_{\text{ФД}}(H_2CO = 0 \text{ мг/м}^3, l) - I_{\text{ФД}}(H_2CO = 2 \text{ мг/м}^3, l)}{I_{\text{ФД}}(H_2CO = 1 \text{ мг/м}^3, l)} \cdot 100.$$

Из результатов проведенных исследований следует, что при длине измерительной базы $l=0,5 \text{ м}$ относительное изменение тока ФД составляет 0,3 %, при увеличении длины до 6 м величина $\delta I_{\text{ФД}}$ возрастает до 2,9 %. Следовательно, для увеличения чувствительности измерителя концентрации формальдегида необходимо увеличить длину измерительной базы. Авторами рекомендуется для обеспечения необходимой длины измерительного канала использовать в проектируемом приборе шаровой фотометр, который обеспечивает при диаметре 0,15 м длину измерительного канала более 6 м [5]. При данной величине l чувствительность измерителя составляет 8,6 мВ/(мг/м³), что обеспечивает отношение сигнал/шум на уровне 20/1.

Аналоговый блок измерительного прибора выполняет функцию преобразования токового сигнала ФД, содержащий информацию про концентрацию формальдегида, к унифицированному виду для его преобразования и цифровой обработки в МПС.

Выводы. Разработаны и обоснованы требования к проектированию измерительного прибора контроля концентрации формальдегида. Разработана математическая модель измерительного канала, анализ результатов моделирования показал, что для обеспечения необходимой чувствительности измерительного канала необходимо обеспечить длину измерительного канала более 6 м. Данный показатель технически достижим только при использовании шарового фотометра, который при диаметре 0,15 м обеспечит длину оптического канала более 6 м. Чувствительность измерительного канала концентрации формальдегида составляет более 8,6 мВ/(мг/м³), что обеспечивает отношение сигнал/шум на уровне 20/1. Обоснована и разработана структура измерительного прибора контроля концентрации формальдегида.

Перечень ссылок

1. Супруненко О. Метан – это не только ценное топливо, и источник канцерогенов / О. Супруненко // «Зеркало недели». – № 21 от 07.06.2008 г. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://zn.ua/articles/53887>. – Дата доступа: март 2011. – Загл. с экрана.
2. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение / П.И. Бреслер. – Л.: Энергия, 1980. – 164 с.
3. NASA [Электронный ресурс] / Virtual Planetary Laboratory. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://vpl.astro.washington.edu/spectra/h2co.htm>. – Дата доступа: январь 2012. – Загл. с экрана.
4. Ioffe Physico-Technical Institute [Электронный ресурс] / Mid-IR Diode Optopair Group (MIRDOG). – Электронные данные. – Режим доступа: <http://mirdog.spb.ru>. – Дата доступа: январь 2012. – Загл. с экрана.
5. Петрук В.Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика оптичного вимірювального контролю) / В.Г. Петрук. – Вінниця: Універсум – Вінниця, 2000. – 207 с.