

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА КОНЦЕНТРАЦИИ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ АВТОМОБИЛЯ

Хламов М.Г., проф., доц., к.т.н.; Рак В.И., студент

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Общая постановка проблемы. Проблемы окружающей среды всё чаще беспокоят мир, так как от этого в большей мере зависит безопасность и здоровье людей. Одним из важнейших факторов является загрязнение от выбросов производства, ДВС (двигателей внутреннего сгорания), выпалки лесов и полей, ведь в составе выбросов имеется опасный канцерогенный газ бенз(а)пирен. Этот газ, по результатам много численных опытов, вызывает раковые опухоли, значительные и смертельные заболевания дыхательной системы и пищеварительного тракта. Именно по этому и актуален вопрос измерения концентрации бенз(а)пирена и дальнейшего контроля выбросов автомобильного транспорта.

Постановка задач исследования. Целью работы является разработка математической модели измерительного канала концентрации бенз(а)пирена в выхлопных газах автомобиля, для разработки структурной схемы прибора измерения концентрации бенз(а)пирена в выхлопных газах автомобиля.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- разработать и исследовать математическую модель измерительного канала концентрации бенз(а)пирена;
- поставить требования к разработке структурной схемы прибора измерения концентрации бенз(а)пирена в выхлопных газах автомобиля.

Результаты разработки и исследований. Нынешние способы измерения концентрации бенз(а)пирена не позволяют проводить измерения в «полевых» условиях и занимают много времени. Проанализировав характеристики бенз(а)пирена и данные о содержании его в рабочей зоне, а это $0.15 \frac{\text{мкг}}{\text{м}^3}$ [1], был сделан вывод, что его концентрацию теоретически измерять посредством методов обладающих высокой чувствительностью, таких как методы абсорбционного анализа. Одним из них является метод непосредственного поглощения вещества.

Дальнейшей задачей становится построение математической модели измерительной среды и построение спектральных характеристик.

Второй закон, сформулированный Бером, выражает связь между интенсивностью прошедшего излучения и концентрацией поглощающего вещества в растворе: поток параллельных лучей монохроматического излучения при прохождении через раствор поглощающего вещества концентрации C ослабляется по закону:

$$I = I_0 e^{-k_1 C l}, \quad D = \lg(I_0/I) = k C l,$$

где I_0 – интенсивность падающего монохроматического излучения; I – интенсивность прошедшего монохроматического излучения; $k = 0.4343 k_1$, k_1 и k коэффициенты поглощения, характеризующие вещество; D – оптическая плотность излучения; C – концентрация вещества; l – толщина поглощающего слоя.

Если концентрация выражена в молях на литр и толщина слоя в сантиметрах, то коэффициент поглощения называется молярным коэффициентом поглощения (или молярной экстинкцией) и обозначается ϵ [2].

$$D = \varepsilon Cl$$

Таким образом оцифрованный и промоделированный спектр поглощения бенз(а)пирена построен по закону:

$$S_{\Sigma}(\lambda) = \sum_i S(\lambda) \pm S(\lambda_i)$$

Для синтеза спектра были использованы 17 $S(\lambda_i)$ составляющих, которые накладывались на основную $S(\lambda)$.

Спектр поглощения бенз(а)пирена показан на рисунке 1:

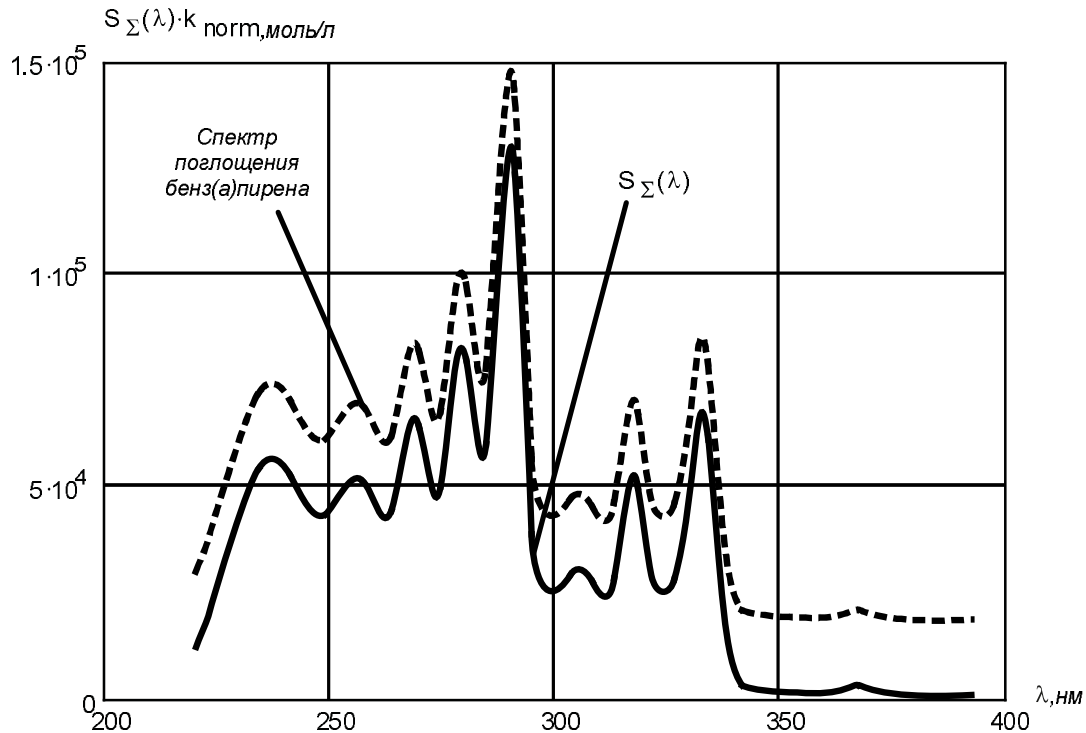


Рисунок 1 – Спектр поглощения бенз(а)пирена-1,2

где $k_{norm} = 1.28 \cdot 10^5$ – коэффициент нормирования.

Для лучшей наглядности на рисунке 1 добавлен спектр поглощения, который был представлен в литературе, но при этом он несколько приподнят над моделью, так как их адекватность влечет слитие в один.

Для построения математической модели газовой среды необходимо задаться характеристиками источника поглощения. Из полученного спектра видно, что необходимо выбрать СИД с длиной излучения от 220 до 400 нм. [3]

Тут становится задача моделирования параметров СИД.

Модуляция тока СИД должна быть синусоидальной, что обеспечит узкополосность модулированного потока, а соответственно выходного сигнала фотоприемника.

Выходной поток СИД определяется как:

$$\Phi_{\text{вых СИД}}(t) = k \cdot (I_0 + I_{mod} \cdot \cos(\Omega_{mod} \cdot t))$$

где $I_0 = 5$ мА – среднее значение тока СИД; $I_{mod} = 4$ мА – амплитуда тока модуляции.

Амплитуда потока модуляции определяется как $\Phi_{mod} = k \cdot I_{mod}$ и равняется 4 мкВт.

Поскольку пироэлектрический фотоприемник не обеспечивает передачу низкочастотных сигналов и статических сигналов, то при моделировании учитывается только переменная составляющая потока СИД.

Спектральная плотность амплитуды потока на длине волны 280 нм синтезируется из оцифрованного спектра и имеет вид:

$$f_1(\lambda) = \frac{bb^2}{bb^2 + (\lambda - \lambda_0)^2}; \quad \varphi_1(\lambda) = \frac{\left(\frac{\lambda_0 12 - \lambda}{|\lambda_0 12 - \lambda|} + 1 \right)}{2};$$

$$f_2(\lambda) = e^{-r^1 \cdot (\lambda - \lambda_0)^2}; \quad \varphi_2(\lambda) = \frac{\left(1 - \frac{\lambda_0 12 - \lambda}{|\lambda_0 12 - \lambda|} \right)}{2};$$

$$f(\lambda) = f_1(\lambda) \cdot \varphi_1(\lambda) + f_2(\lambda) \cdot \varphi_2(\lambda)$$

Отсюда спектральная плотность амплитуды потока определяется как:

$$S_{\text{umaxmod}}(\lambda) = S_{0\text{mod}} \cdot S_u(\lambda)$$

где $S_{0\text{mod}} = \frac{\Phi_{\text{mod}}}{12.878} = 0.031 \frac{\text{мкВт}}{\text{нм}}$ – спектральная плотность соответствующая амплитуде модулированного сигнала; S_u – спектральная плотность излучателя

Спектральная плотность амплитуды потока представлена на рисунке 2.

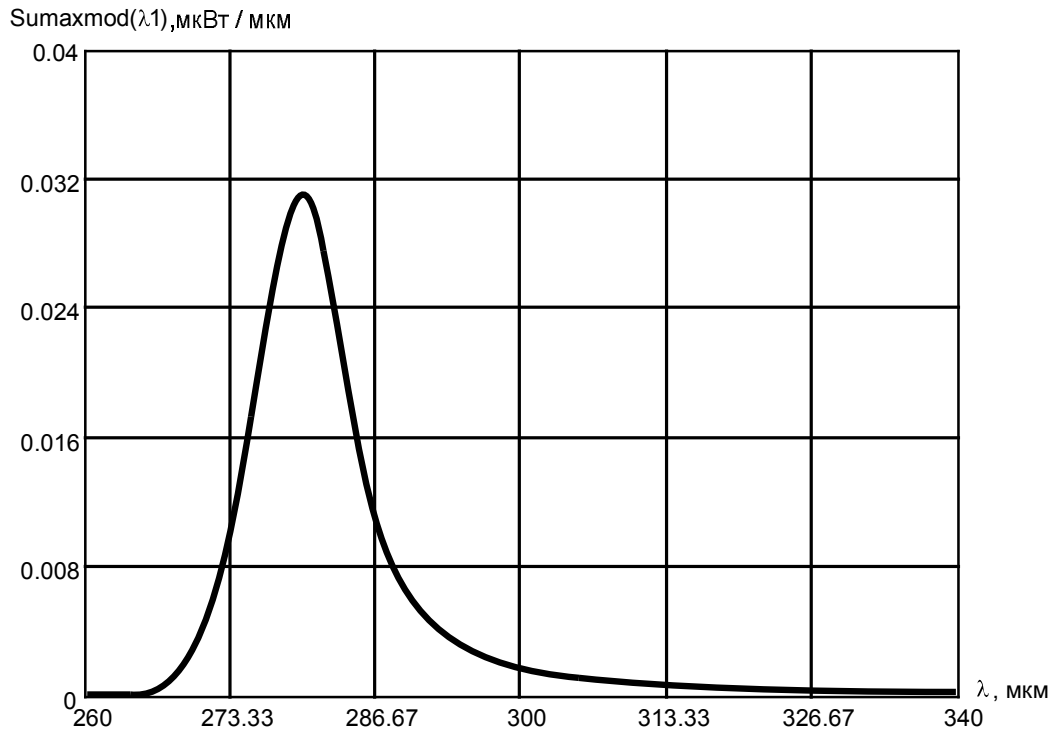


Рисунок 2 – Спектральная плотность потока излучения СИД на длине волны 280 нм.

Исходя из этих данных можно определить оптическую плотность излучения для некоторых случаев концентрации вещества. Оптическую плотность излучения определим как :

$$D(a, \lambda) = S_{\Sigma}(\lambda) \cdot k_{norm} \cdot l \cdot m(a), \text{ при } m(a) = \frac{a \cdot 10^{-9}}{M},$$

где l – длина трассы измерительной кюветы, ; m – молярная концентрация, моль/л.

Концентрация a , при этом может изменяться от 1 до 50 мкг/м³. Молярная масса бенз(а)пирена $M = 252.32$ г.

Коэффициент пропускания рассчитаем как :

$$T(a, \lambda) = e^{-D(a, \lambda)}$$

Выходной поток оптического канала при данных параметрах может изменяться от 0.399 до 0.382 мкВт в зависимости от концентрации бенз(а)пирена.

Входной и выходной поток оптического канала при максимальной концентрации бенз(а)пирена показаны на рисунке 3.

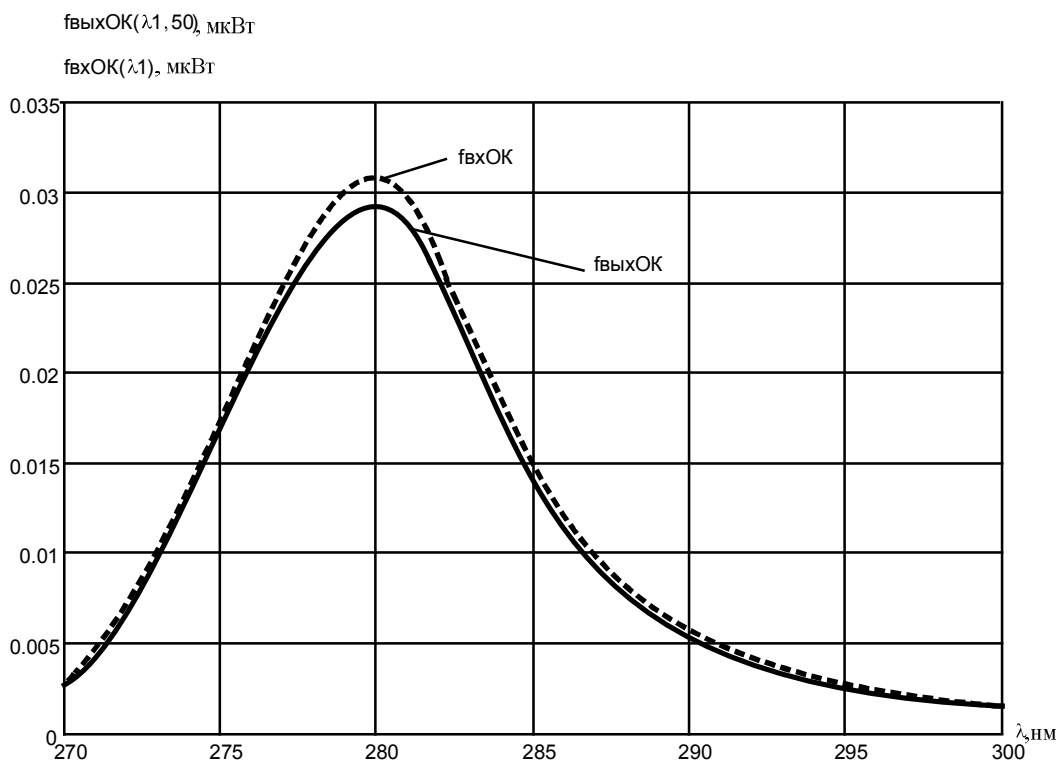


Рисунок 3 – Выходной и входной потоки при максимальной концентрации бенз(а)пирена.

Выходной ток фотоприемника определяется как:

$$I_{\text{выхФП}}(a) = S_{\text{инт}} \cdot k(\lambda) \cdot \Phi_{\text{выхОК}}(a)$$

$\Phi_{\text{выхОК}}(50) = 0.382$ – плотность выходного потока оптического канала, которая определяется по формуле (1) и зависит от выходного потока и концентрации бенз(а)пирена; $k(\lambda) = 0.048$ – коэффициент спектрального согласия и рассчитывается по формуле (2);

$S_{\text{инт}}$ – интегральная чувствительность (соотношении между величиной потока и величиной тока выходного потока).

$$\Phi_{\text{выхОК}}(a) = \int_{260}^{340} f_{\text{выхОК}}(\lambda, a) d\lambda \quad (1)$$

$$k_{\lambda} = \frac{\int_{200}^{540} S_{\text{выч}}(\lambda) \cdot f(\lambda) d\lambda}{\int_{200}^{540} S_{\text{выч}}(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

где $S_{\text{выч}}$ – спектральная фоточувствительность фотоприемника.

Исходя из полученных данных функция выходного тока фотоприемника представлена на рисунке 4.

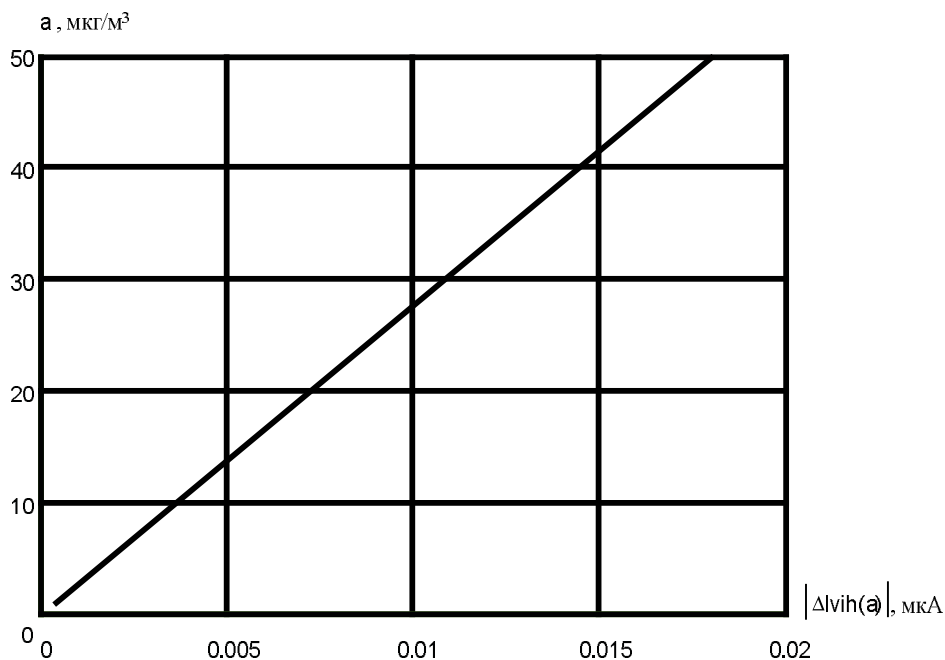


Рисунок 4 – Выходной ток фотоприемника.

Выводы. Математическая модель используется при разработке структурной схемы прибора измерения концентрации бенз(а)пирена в выхлопных газах автомобиля.

В дальнейшем развитии модели предусмотрено введение в неё дестабилизирующих факторов, влияющих на точность измерений концентрации бенз(а)пирена.

На базе полученной математической модели должна быть разработана оптическая схема прибора, которая должна быть внесена в его структурную схему.

Перечень ссылок

1. ГОСТ 12.1.005-88
2. Казицина Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- спектроскопии в органической химии. М.: Высш. шк., 1971.
3. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. — 2-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 496 с. — ISBN 978-5-9221-0851-5.