

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ «ОСНОВНОЙ» СХЕМЫ БЕЗДИСПЕРСИОННОГО ОА-ГАЗОАНАЛИЗАТОРА И СХЕМЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ

Овчаренко А.В., НАП-06м

Руководитель доц. Коренев В.Д.

Постановка задачи. При газовом анализе оксида углерода (CO) в технологических газах повсеместно используется так называемая «основная» схема оптико-акустического (ОА) газоанализатора (см. рис. 1,а), принцип работы которой подробно описан в литературе [1,4] .

Несмотря на преимущества основной схемы (ОС), использование ее сопряжено со следующими недостатками [1]: 1) случайные загрязнения анализируемой смеси воздействуют только на рабочий поток излучения, что в процессе эксплуатации становится причиной появления дополнительной составляющей погрешности, которую трудно выявить и исключить; 2) метод не обеспечивает максимальной избирательности.

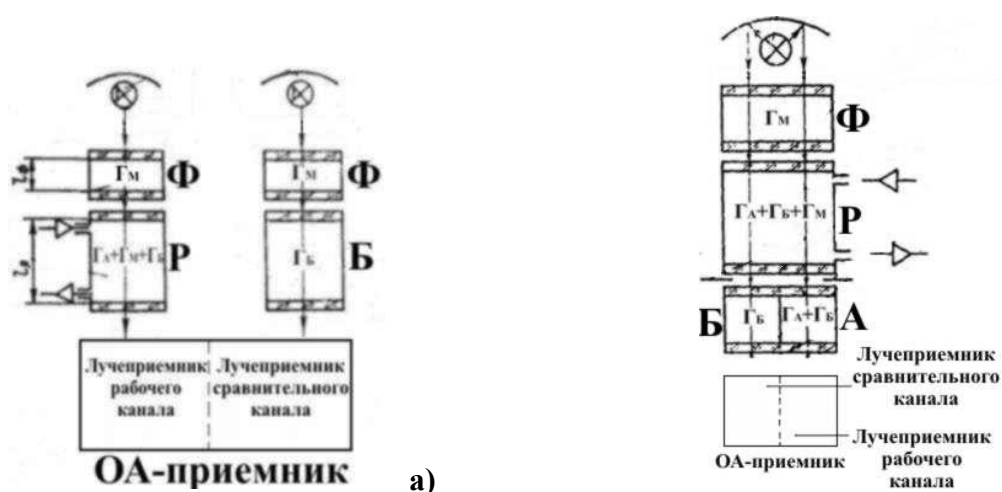


Рисунок 1 – Расчетные схемы к оценке чувствительности: а – основной схемы оптико-акустического газоанализатора; б – схемы с комбинированной фильтрацией оптико-акустического газоанализатора

В [1] описывается схема с комбинированной фильтрацией (СКФ) (рис.1,б). Эта схема, в которой используется комбинированная положительная и отрицательная фильтрация, позволяет пропускать анализируемую смесь через рабочую ячейку, перекрывающую обе половины потока зондирующего излучения. Она обеспечивает высокую избирательность при анализе газов с перекрывающимися спектрами поглощения.

В настоящей статье производится поиск условий, при которых чувствительность СКФ (рис. 1,б) не хуже, чем у ОС (рис. 1,а).

Основная часть. Под чувствительностью будем понимать минимальное изменение концентрации анализируемого вещества в рабочей ячейке, которое может быть обнаружено посредством изменения выходного сигнала¹.

Учтем следующие условия: 1) помимо анализируемого компонента (газа) Γ_A в смеси содержится только один мешающий газ Γ_M , спектр поглощения которого пересекается со спектром поглощения Γ_A и концентрация которого $C_{M1} = 100\%$ в фильтровой ячейке Φ и $C_{M2} = 10\%$ (об.) в рабочей ячейке A ; 2) окна и стенки ячеек не рассеивают и не поглощают излучения; 3) термодинамические параметры анализируемой смеси и окружающей среды постоянны; 4) в рассматриваемом спектральном диапазоне имеется только одна колебательно-вращательная полоса поглощения Γ_A , на которую накладывается только одна полоса Γ_M .

$I = 0.1$ Вт/с – усредненная интенсивность источника по всей полосе; I_p (I_{cp}) – усредненная интенсивность по всей полосе, дошедшая до лучеприемной камеры рабочего (сравнительного) канала; $L_M = L_P = L_A = 1$ см – оптические длины соответственно фильтровой ячейки Φ , рабочей ячейки P и ячейки A (см. рис. 1); $C_{A1} = 0...2\%$ (об.) и $C_{A2} = 90\%$ (об.) – концентрация Γ_A в ячейке P и в ячейке A соответственно; $K_A = 1.419$ см⁻¹ и $K_M = 0.1$ см⁻¹ – коэффициенты

¹ Выходным будем считать сигнал дифференциальной интенсивности на входе в ОА-приемник.

поглощения анализируемого газа Γ_A и мешающего газа Γ_M соответственно, усредненные по спектральному диапазону, в котором излучает источник.

Полагая, что поглощение в ячейках подчиняется закону поглощения Ламберта [3], разность интенсивностей сравнительного и рабочего каналов для схем, представленных на рис. 2 и рис. 1 соответственно, будет определяться выражениями:

$$\Delta I_{\text{КФ}}(C_{A1}, C_{A2}) = I_0 \cdot \left\{ e^{-\frac{[K_M(C_{M1} + C_{M2}) + K_A C_{A1}]L}{100}} - e^{-\frac{[K_M(C_{M1} + C_{M2}) + K_A(C_{A1} + C_{A2})]L}{100}} \right\} \quad (1)$$

$$\Delta I_{\text{ОС}}(C_{A1}) = I_0 \cdot \left\{ e^{-\frac{K_M C_{M1} L}{100}} - e^{-\frac{[K_M(C_{M1} + C_{M2}) + K_A C_{A1}]L}{100}} \right\} \quad (2)$$

В отсутствие анализируемого компонента в рабочей ячейке ($C_{A1} = 0$) $\Delta I = \Delta I_0$. При напуске в рабочую ячейку Γ_A в концентрации $C_{A1} = 2\%$ $\Delta I = \Delta I_2$. Чем больше величина $\Delta_{\text{max}} = |\Delta I_2 - \Delta I_0|$, тем выше достижимая чувствительность, которую может обеспечить данная схема.

Исследуем, при каком K_A функция $X(K_A) = |\Delta_{\text{КФmax}}(K_A) - \Delta_{\text{ОСmax}}(K_A)| = 0$. При значении $K_A = 7 \text{ см}^{-1}$ величина $X(K_A) = 2.214 \cdot 10^{-5}$ (см. рис. 2), что составляет 1% от $\Delta_{\text{ОСmax}}$ (см. рис. 4,а).

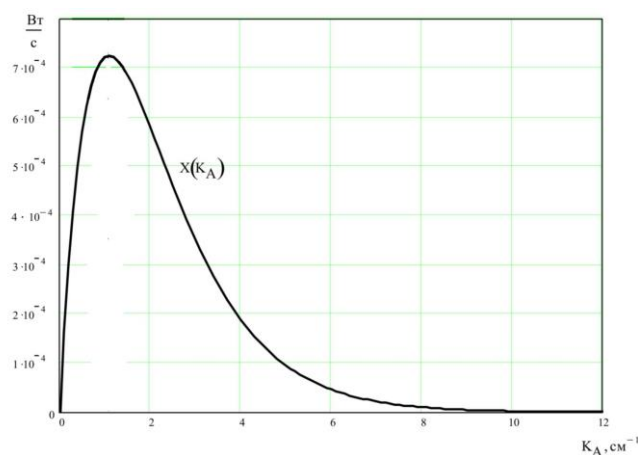


Рисунок 2 – К определению K_A , при котором $X(K_A) = 0$

Учитывается усредненный по всей полосе коэффициент поглощения

$$K_{cp} = \frac{1}{\Delta\lambda} \cdot \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} K(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

где $\Delta\lambda$ – ширина полосы Γ_A (мкм) с границами λ_{max} и λ_{min} ; $K(\lambda)$ – коэффициент поглощения Γ_A в пределах полосы (cm^{-1}).

Сужение спектра излучения источника эквивалентно уменьшению $\Delta\lambda_A$. При монохроматическом излучении, частота которого совпадает с максимумом поглощения Γ_A , величина K_{cpA} увеличится, а K_{cpM} – уменьшится.

Найдем, при какой $\Delta\lambda$ K_{cpA} примет нужное значения.

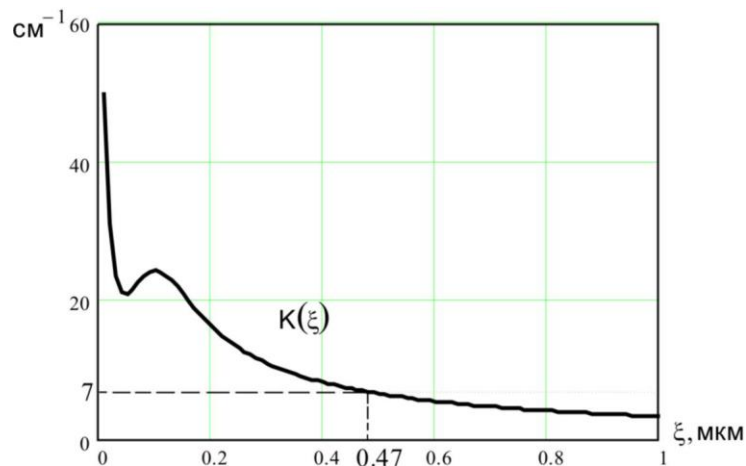


Рисунок 3 – Определение полуширины спектра источника излучения, при которой чувствительность схемы с комбинированной фильтрацией не хуже, чем чувствительность основной схемы

Введем параметр $\xi = \Delta\lambda_A/2$. Рассмотрим зависимость (4) (рис. 3). Уже при $\xi = 0.47$ мкм достигается требуемая чувствительность.

$$K(\xi) = \left(\frac{1}{2 \cdot \xi} \right) \cdot \int_{\lambda_0 - \xi}^{\lambda_0 + \xi} K(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

На рис. 4 представлены графики зависимости функции $\Delta(C_{A1}) = |\Delta I(C_{A1}) - \Delta I_0|$ для обеих схем при различных значениях K_A . При $K_A = 1.419 cm^{-1}$

чувствительность СКФ ниже, чем у ОС, но при $K_A = 7 \text{ см}^{-1}$ чувствительность обеих схем приблизительно одинакова. Что и требовалось.

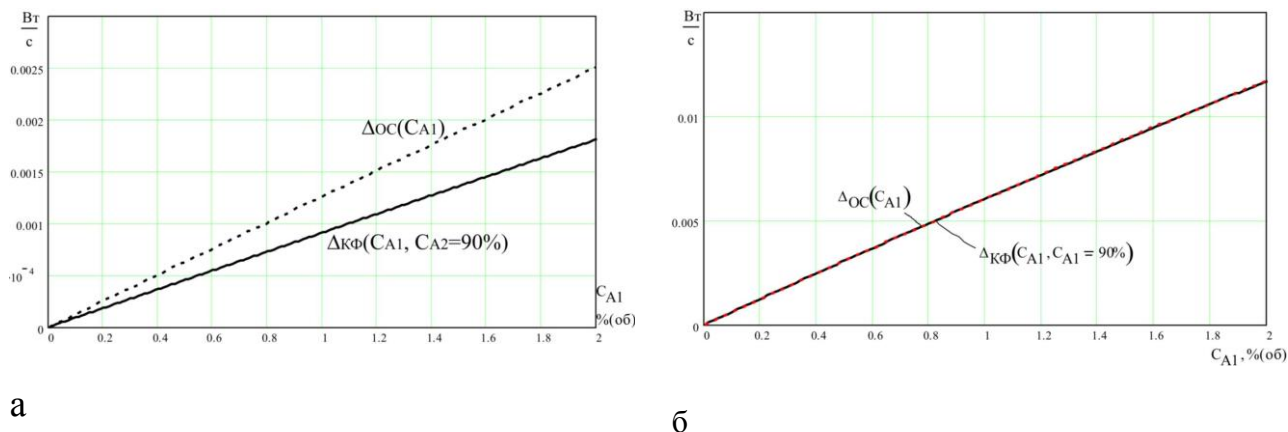


Рисунок 4 – Графики зависимости функции $\Delta(C_{A1}) = |\Delta I(C_{A1}) - \Delta I_0|$: а) при $K_A = 1.419 \text{ см}^{-1}$; б) при $K_A = 7 \text{ см}^{-1}$

Выводы. При использовании монохроматического лазерного излучения, длина волны которого совпадает с длиной волны анализируемой компоненты, схема бездисперсионного ОА-газоанализатора с комбинированной фильтрацией может обеспечить чувствительность того же порядка, что и основная схема. Учитывая же, что избирательность первой схемы выше, чем избирательность последней, можно утверждать, что схема с комбинированной фильтрацией обладает лучшими метрологическими характеристиками, чем основная схема.

Перечень ссылок

1. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение. – Л.: Энергия, 1980. – 164 с.
2. Газоанализатор ГИАМ-14 / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: www.057.com.ua/pribor/stoland_giam14.html.
3. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
4. Немец В.М. и др. Спектральный анализ неорганических газов. Л.: 1988.