

П.А. МАТЕВОСЯН, М.З. АКОПЯН

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДВУОКИСИ СЕРЫ
АТМОСФЕРЫ

Приводятся результаты разработок и исследований измерителя двуокиси серы атмосферы, основанного на оптическом методе измерения. Предлагается методика наладки разработанного измерителя.

Ключевые слова: двуокись серы, атмосфера, измеритель, наладка, разработка, оптический метод, функциональная схема.

Как отмечалось в [1-6], в связи с деятельностью промышленности, транспорта, тепловых электростанций и т.д. наблюдается повышенная концентрация ряда вредных газовых составляющих в атмосфере, в том числе двуокиси серы (SO_2), что приводит к кислотным дождям, вредно сказывающимся на растительном мире, живых организмах, вызывает разрушение строений.

Для измерения концентрации двуокиси серы в верхних слоях атмосферы и в приземном пространстве применяют калориметрический, индикационный, спектрофотометрический и др. способы [2-4, 6]. Однако созданные приборы отличаются сложностью, не мобильны, не удобны для эксплуатации в полевых условиях.

В настоящей работе приводятся результаты разработок и исследований измерителя двуокиси серы атмосферы, основанного на оптическом методе измерения, а также предлагается методика наладки разработанного измерителя. Функциональная схема измерителя приведена на рис. 1.

Согласно [1], напряжение U_4^y на выходе измерителя SO_2 атмосферы (рис. 1), пропорциональное величине измеряемой двуокиси серы (SO_2), приближенно можно определить с помощью формулы

$$U_4^y = \alpha \sum_{j=1}^N \frac{I_0(\lambda_j) \beta(\lambda_j)}{e^{K(\lambda_j)C(\lambda_j)L}},$$

где α - коэффициент преобразования электронного блока измерителя SO_2 ; $I_0(\lambda_i)$ - интенсивность внеатмосферного солнечного излучения на длине волн λ_i ; N - число линий спектра солнечного излучения, соответствующих линиям поглощения SO_2 , дошедшим до фотоэлементов ФЭ₁ и ФЭ₂; $\beta(\lambda_j)$ - коэффициент, учитывающий аэрозольное ослабление солнечного излучения на длине волн λ_j ; $K(\lambda_j)$ - коэффициент поглощения рассматриваемой газовой составляющей атмосферы на длине волн λ_j ; $C(\lambda_j)$ - концентрация поглощающей составляющей атмосферы на длине волн λ_j ; L - расстояние, пройденное солнечным излучением через поглощающую среду.

Вследствие отличий в параметрах фотоэлементов $\Phi\mathcal{E}_1$ и $\Phi\mathcal{E}_2$, погрешностей в диаметрах окон диафрагм D_1 и D_2 , сопротивлений на входах и в обратных связях операционных усилителей, загрязнений поверхностей окон кювет и светофильтров и др. имеет место расхождение в характеристиках первого (1 ок) и второго (2 ок) оптических каналов измерителя (рис. 1).

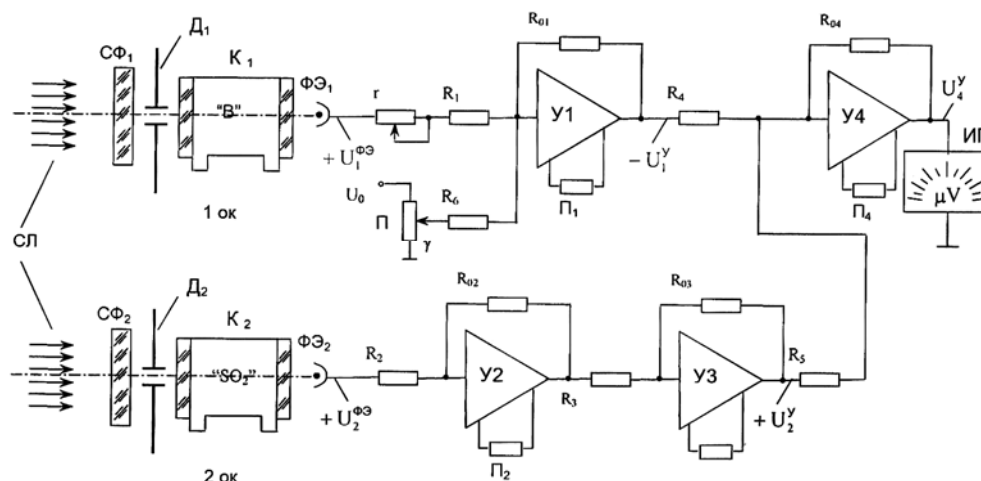


Рис. 1. Измеритель двуокиси серы (SO_2) атмосферы:

СФ_1 , СФ_2 – светофильтры с окнами пропускания в пределах 300 ... 1000 нм; D_1 , D_2 – сменные диафрагмы, диаметр окон которых 3 мм, 4 мм, 5 мм; СЛ – солнечный луч; K_1 , K_2 – кюветы, заполненные призмным воздухом и газом SO_2 соответственно; $\Phi\mathcal{E}_1$, $\Phi\mathcal{E}_2$ – фотоэлементы; r – переменное сопротивление для регулирования угла наклона характеристики первого оптического канала (1 ок); П – потенциометр для регулирования величины смещения характеристики первого оптического канала; U_1 , U_2 , U_4 – операционные усилители; U_3 – инвертирующий операционный усилитель; Π_1 ... Π_4 – потенциометры для регулирования дрейфа нуля усилителей; ИП – измерительный прибор; U_0 – стабилизированное напряжение постоянного тока

Интенсивность суммарного спектрального потока солнечного излучения I_1^K , поступающего на фотоэлемент $\Phi\mathcal{E}_1$ первого оптического канала после прохождения его через атмосферу Земли, диафрагму D_1 , светофильтр СФ_1 и кювету K_1 , представим, согласно [2,3], в виде уравнения

$$I_1^K = S_1 \alpha_1^{\text{сдд}} \alpha_1^{\text{идд}} \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}}, \quad (1)$$

где S_1 – площадь сечения окна диафрагмы D_1 , имеющего диаметр d_1 ; $\alpha_1^{\text{сдд}}$ – коэффициент ослабления солнечного излучения из-за наличия неоднородностей и возможных загрязнений поверхностей светофильтра СФ_1 и окон кюветы K_1 ; $\alpha_1^{\text{отр}}$ – коэффициент ослабления солнечного излучения из-за его отражения от поверхностей светофильтра СФ_1 и окон кюветы K_1 .

Под воздействием I_1^K на выходе фотоэлемента ФЭ₁ будет иметь место напряжение $U_1^{\Phi\Xi}$, зависимость которого от I_1^K можно представить в виде функции

$$U_1^{\Phi\Xi} = f_1(I_1^K), \quad (2)$$

которая имеет нелинейную характеристику вида рис. 2.

В узком диапазоне $(I_1^K)_{\min} \dots (I_1^K)_{\max}$ возможного изменения интенсивности солнечного излучения нелинейную характеристику (рис. 2) можно приближенно представить в виде линейной зависимости, т.е. $U_1^{\Phi\Xi} \approx \mu_1^{\Phi\Xi} I_1^K$, где $\mu_1^{\Phi\Xi}$ - коэффициент преобразования фотоэлемента ФЭ₁.

Тогда на выходе усилителя U_1 получим напряжение U_1^y , которое можно будет вычислить по формуле

$$U_1^y = - \left(\frac{R_{01}}{r + R_1} \mu_1^{\Phi\Xi} S_1 \alpha_1^{\text{заг}} \alpha_1^{\text{отр}} \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}} + \frac{R_{01}}{R_6} \gamma U_0 \right), \quad (3)$$

где γ – коэффициент деления делителя – потенциометра П.

Аналогично можно составить уравнение для второго оптического канала (2 ок) (рис. 1) при условии установки вместо кюветы K_2 , содержащей SO_2 , второй кюветы K_1 с призмным воздухом:

$$U_2^y = \frac{R_{02}}{R_2} \frac{R_{03}}{R_3} \mu_2^{\Phi\Xi} S_2 \alpha_2^{\text{заг}} \alpha_2^{\text{отр}} \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}}. \quad (4)$$

В результате на выходе суммирующего усилителя U_4 получим

$$U_4^y = \frac{R_{04}}{R_4} U_1^y - \frac{R_{04}}{R_5} U_2^y$$

или

$$U_4^y = \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}} \left(\frac{R_{04}}{R_4} \frac{R_{01}}{r + R_1} \mu_1^{\Phi\Xi} S_1 \alpha_1^{\text{заг}} \alpha_1^{\text{отр}} - \frac{R_{04}}{R_5} \frac{R_{02}}{R_2} \frac{R_{03}}{R_3} \mu_2^{\Phi\Xi} S_2 \alpha_2^{\text{заг}} \alpha_2^{\text{отр}} \right) + \frac{R_{04}}{R_4} \frac{R_{01}}{R_6} \gamma U_0. \quad (5)$$

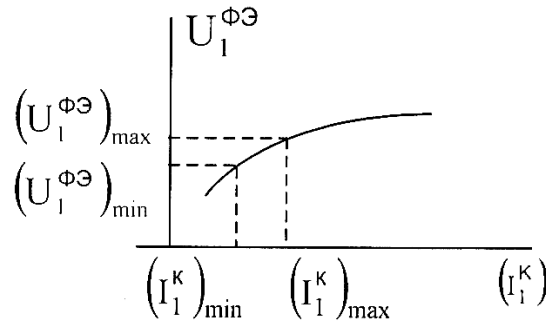


Рис. 2. Нелинейная характеристика фотоэлемента

Для обеспечения идентичности обоих оптических каналов необходимо выполнить условие $U_4^y = 0$. С этой целью определим значение Γ из условия

$$\frac{R_{01}}{R_4(r + R_1)} \mu_1^{\Phi\Theta} = \frac{R_{02}R_{03}}{R_5R_2R_3} \mu_2^{\Phi\Theta} \quad (6)$$

или

$$r = \frac{R_{01}R_5R_2R_3}{R_4R_{02}R_{03}} \frac{\mu_1^{\Phi\Theta}}{\mu_2^{\Phi\Theta}} - R_1. \quad (7)$$

При выполнении условия (7) имеет место совпадение наклонов характеристик первого (1 ок) и второго (2 ок) оптических каналов.

После установки величины переменного сопротивления Γ следует установить коэффициент γ потенциометра Π , при котором будет выполняться условие

$$\frac{R_{04}}{R_4R_6} \gamma U_0 + \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i)c(\lambda_i)\ell}} \frac{R_{02}R_{03}}{R_5R_2R_3} \mu_2^{\Phi\Theta} (S_1 \alpha_1^{\text{заг}} \alpha_1^{\text{отр}} - S_2 \alpha_2^{\text{заг}} \alpha_2^{\text{отр}}) = 0, \quad (8)$$

откуда имеем величину γ .

При выполнении условия (8) характеристика первого оптического канала (1 ок) совпадает с характеристикой второго оптического канала (2 ок), т.е. будет устранена погрешность между обоими оптическими каналами.

На основе вышеизложенного методика наладки измерителя SO_2 атмосферы сводится к следующему:

1. В первый и второй оптические каналы измерителя (рис. 1) установить одинаковые кюветы K_1 , заполненные призмным воздухом.
2. Установить значение γ потенциометра Π в нулевое положение и путем регулировки переменным сопротивлением Γ обеспечить параллельность характеристик обоих оптических каналов, используя разные диафрагмы.
3. Регулируя величину γ потенциометра Π , добиться равенства нулю напряжения U_4^y .

Заменить во втором оптическом канале кювету K_1 на K_2 , заполненную газом SO_2 , и, используя эталонный измеритель, например спектроскоп, откалибровать шкалу разрабатываемого измерителя SO_2 атмосферы.

Рассматриваемая методика была применена для наладки макета измерителя SO_2 атмосферы, который изготовлен в ГИУА в соответствии с функциональной схемой рис. 1 и проходит испытание на озонметрическом пункте на территории ГИУА г. Еревана.

При изготовлении макета измерителя SO_2 атмосферы были применены кюветы диаметром 40 мм и длиной 120 мм, изготовленные в лаборатории Неорганической химии ЕГУ.

В качестве фотоэлементов использованы кремниевые пластины, в качестве светофильтров – ФС 6, а в качестве операционных усилителей – К 140 УД 8Д. Омические сопротивления $R_{01} \dots R_{04}$, R_3 приняты равными 1,2 МОм, сопротивления $R_2, R_4 \dots R_6$ – 12 кОм, $R_1 = 10$ кОм, переменное сопротивление $\Gamma = 4$ кОм, потенциометры Π , $\Pi_1 \dots \Pi_4$ – 30 кОм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Матевосян П.А., Мнацаканян М.Г., Саркисян Г.А.** Разработка измерителя общего содержания двуокиси серы атмосферы // Экологический журнал Армении.-Ереван: Луйс, 2002.- N2.- С. 94-98.
2. **Лейте В.** Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте. – Л.: Химия, 1980.
3. **Кароль И.Л., Розанов В.В., Тимофеев Ю.М.** Газовые примеси в атмосфере. – Л.: Гидрометеоздат, 1983.
4. Методы и аппаратура автоматизированного контроля атмосферных загрязнений // Труды ГГО.- Л.: Гидрометеоздат, 1979.
5. **Матевосян П.А., Мнацаканян М.Г., Акопян М.З.** Разработка аппаратуры для измерения озона, двуокисей серы и озона атмосферы // Сб. материалов годичной конференции ГИУА, 25-29 октября 1999 г./ ГИУА.- Ереван, 1999.
6. Приборы контроля окружающей среды/ Под ред. **В.Е. Михайлова**. – М.: Атомиздат, 1980.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.03.2006.

Պ.Ա. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ, Մ.Զ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ՄԹՆՈՒՈՐՏԻ ԾԾՄԲԻ ԵՐԿՕՔՍԻՂԻ ԶԱՓԻՉԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Բերված են մթնոլորտի ծծմբի երկօքսիդի չափիչի մշակումների և հետազոտման արդյունքները, որոնք հիմնված են չափման օպտիկական մեթոդի վրա: Առաջարկվում է մշակված չափիչի կարգաբերման մեթոդիկան:

Առանցքային բառեր. ծծմբի երկօքսիդ, մթնոլորտ, չափիչ, կարգաբերում, մշակում, օպտիկական մեթոդ, ֆունկցիոնալ սխեմա:

P.A. MATEVOSYAN, M.Z. HAKOBYAN

CULTIVATION AND RESEARCH OF THE ATMOSPHERE SULPHUR DIOXIDE GAUGE

The results of the atmosphere sulphur dioxide gauge based on cultivation and research of the optical measurement method are given. The adjustment methodology of the developed gauge is proposed.

Keywords: sulphur dioxide, atmosphere, measuring device, setting up, elaboration, optical method, functional scheme.