

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 535.36

Ю.Д. Копыгин, В.И. Коханов, С.А. Шишигин

ДИСТАНЦИОННАЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ АЭРОЗОЛЬНО-ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Описан корреляционный радиометр, созданный для измерения содержания двуокиси серы и двуокиси азота в аэрозольно-газовых выбросах промышленных объектов. Приведены результаты исследований метрологических характеристик прибора и результаты его испытаний.

Наиболее перспективным методом определения газообразных примесей в атмосфере является метод корреляционной спектроскопии [1], который обеспечивает приборам высокую помехозащищенность от присутствия неизмеряемых газов в исследуемом объеме, нечувствительностью к наличию аэрозоля и изменению яркости источника излучения, а также дистанционность измерений. В качестве источника излучения могут использоваться как искусственные излучатели (активный метод), так и рассеянное, отраженное или прямое солнечное излучение (пассивный метод).

Наша задача заключалась в создании простого, надежного недисперсионного корреляционного газоанализатора для измерения содержания двуокиси азота и двуокиси серы в аэрозольно-газовых выбросах промышленных объектов. Принцип действия прибора основывается на различном ослаблении светового потока из исследуемого объема в опорном канале, содержащем кювету с газом, аналогичным измеряемому, и в измерительном канале, содержащем нейтральные ослабители, что приводит к появлению относительного изменения сигнала одного канала по сравнению с другим. Возникающая разность сигналов пропорциональна количеству измеряемого газа на трассе зондирования [2]. Количество газа в корреляционной кювете выбирается оптимальным, чтобы спектральное пропускание кюветы в центрах линий поглощения исследуемого газа было мало. При этом система сохраняет высокую чувствительность, помехоустойчивость и достаточно широкий динамический диапазон измерений [2].

Нами был изготовлен относительно простой недисперсионный газоанализатор с двумя параллельными каналами и отдельными детекторами в конце. Оптическая схема измерителя (рис. 1) состоит из коллиматора 1, изготовленного из кварцевых линз $\varnothing 70$ и 30 мм, преобразующих исследуемый световой поток из угла поля зрения $30'$ в параллельный световой пучок $\varnothing 10$ мм, интерференционного фильтра 2, плоскопараллельной кварцевой пластины 3, кварцевой кюветы с исследуемым газом 4, интерференционного зеркала 5, магазина нейтральных фильтров 6, плавно перестраиваемой диафрагмы 7, фотоприемников 8, 9. Фильтр 2 и зеркало 5 имеют спектральные характеристики, которые совпадают с полосой поглощения газов NO_2 и SO_2 . Набор нейтральных фильтров 6 вместе с плавно изменяющейся диафрагмой 7 позволяет уравнивать световые потоки, падающие на фотоприемники. Все оптические детали изготовлены из кварцевого стекла, прозрачного в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазонах.

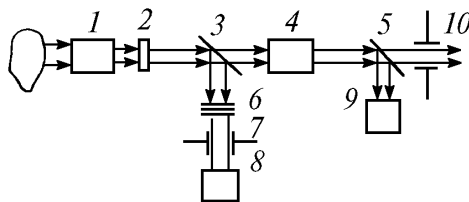


Рис. 1. Оптическая схема измерителя

Оптические элементы смонтированы в корпусе с окном 10 на задней стенке, позволяющим визуально направлять измеритель в исследуемую область. Корпус укреплен на поворотном устройстве, измеряющем в градусах направление коллиматора как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

Техническое описание измерителя

Конструктивно газоанализатор оформлен в корпусе в виде отдельных блоков. Функциональная схема устройств представлена на рис. 2. Блок питания БП преобразует напряжение 220 В и стабилизированное питающее напряжение газоанализатора ± 12 В. Световой поток из оптического тракта поступает на блоки фотоприемников опорного ФЭУ_{о.к} и измерительного ФЭУ_{и.к} каналов. Питание фотоприемников осуществляется от блока преобразования БП ФЭУ напряжения +12 В в напряжение питания 1÷1,5 кВ. Предварительно усиленные сигналы поступают на блок функционального преобразователя ФП и цифровую индикацию результата измерений ЦИ или вводятся в ЭВМ для последующей обработки. Калибровка прибора осуществляется с помощью набора аттестованных кювет с концентрациями NO₂ и SO₂, соответствующими диапазону измерений.

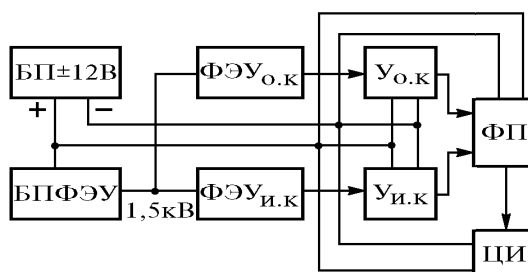


Рис. 2. Функциональная схема измерителя

На рис. 3 приведена калибровочная зависимость отношения разности к сумме сигналов U_1, U_2 двух каналов газоанализатора от средней концентрации в поле зрения объектива прибора, умноженной на длину трассы измерения двуокиси серы SO₂ (г/м³·м), и двуокиси азота NO₂ (г/м³·м) в измеряемом объеме при коэффициенте пропускания корреляционной кюветы, находящейся в приборе, равном 0,0025 для SO₂ (кривая 1) и 0,004 для NO₂ (кривая 2). Из рисунка видно, что при массе газа в столбе для NO₂ и SO₂ до 7 г/м³·м зависимость относительной разбалансировки каналов измерителя линейно увеличивается с ростом массы измеряемого газа. При больших концентрациях газа сигнал разбаланса каналов достигает насыщения с последующей тенденцией к уменьшению. Уровень насыщения калибровочных кривых определяет верхний уровень динамического диапазона работы измерителя ~7 г/м³·м, нижний уровень определяется способностью электронных трактов выделить разницу сигналов каналов на фоне шумов и нестабильностью параметров электронных блоков и приемника излучения. Дальность действия измерителя ограничивается дальностью видимости в диапазоне длин волн работы прибора на трассе измерения.

На основании результатов государственной метрологической аттестации газоаналитический прибор допущен для проведения научно-исследовательских работ и создания газоаналитических средств для санитарно-экологического контроля воздушной среды, а также для определения изменения концентрации SO₂ и NO₂ относительно фона.

Технические характеристики измерителя:

Диапазон измерения NO ₂ , г/м ³ ·м	0 – 7
Диапазон измерения SO ₂ , г/м ³ ·м	0 – 7
Основная относительная погрешность, %	30
Потребляемая мощность, Вт	16,5
Масса, кг	6

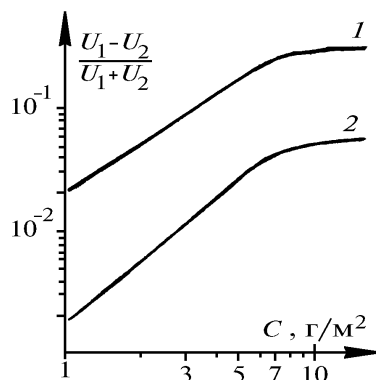


Рис. 3. Зависимость относительного сигнала корреляционного газоанализатора от поглощающей массы газов

Методика определения количества газа NO_2 , SO_2 в дымовом шлейфе трубы

Прибор устанавливается вблизи распространения шлейфа газов. Производится дискретное сканирование оси прибора в поперечном сечении шлейфа с шагом $\Delta\Theta_i$. Набирается массив значений $W(\Theta_i)$ интегрального содержания газа по направлению визирования. Θ_i – угол визирования оптической оси прибора, отсчитываемой от вертикали. Содержание газа в элементарном объеме нормального сечения

$$S = H \sum_i W(\Theta_i) \cos^{-1} \Theta_i \Delta\Theta_i,$$

где H – высота шлейфа над поверхностью земли, которая определяется по измерениям углов направления α и β к центру шлейфа из двух точек, смещенных в направлении, перпендикулярном распространению шлейфа на расстоянии d :

$$H = d \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta / (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha).$$

Скорость потока массы газа равна

$$F = S \vartheta,$$

где ϑ – средняя по сечению факела скорость ветра, которая может быть измерена по угловой скорости перемещения неоднородности в шлейфе ω по формуле $\vartheta = H \operatorname{tg} \omega / \sin \alpha$.

По аналогичной методике возможно определение содержания аэрозоля. При этом измеряется оптическая толща τ_i шлейфа на длине волны излучения, не попадающей в полосы поглощения газов, при дискретном изменении угла визирования оптической оси прибора Θ_i на $\Delta\Theta_i$, отсчитываемого по вертикали. Тогда содержание аэрозоля в элементарном объеме нормального сечения S_a равно

$$S_a = H \mu \sum_i \tau_i \cos^{-1} \Theta_i \Delta\Theta_i,$$

где μ – среднее значение коэффициента, связывающего величины коэффициента ослабления оптического излучения и массовую концентрацию аэрозоля.

Теоретические расчеты коэффициента μ показывают [3], что для мелкодисперсных дымов он слабо зависит от вариации спектра размеров частиц и для древесных дымов равен $0,4 \text{ мг} \cdot \text{км} / \text{м}^3$.

Скорость потока массы аэрозоля равна $F_a = S_a \vartheta$.

Данная методика применима для прозрачных шлейфов дыма при измерении ослабления аэрозолем прямых солнечных лучей.

В лабораторных условиях были проведены оценки дополнительных погрешностей, вызванных изменением светового потока на входе оптического тракта за счет изменения яркости источника излучения и наличия нейтрального ослабителя (дымка, осадки) на трассе измерения, а также погрешности, вызванной наличием на трассе неизмеряемых газов, имеющих близкие линии поглощения.

Результаты измерений показали, что изменение светового потока за счет изменения яркости источника в 20 раз приводит к дополнительной погрешности не более 4% при измерении NO_2 и 6% при измерении SO_2 . В качестве неизмеряемых газов на трассе использовались кюветы с SO_2 при измерении NO_2 , и наоборот. Дополнительная погрешность измерения при этом не превышала 4%.

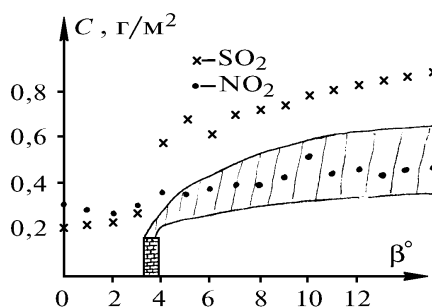


Рис. 4. Содержание газов NO_2 и SO_2 над городом в пределах видимости в зависимости от угла направления трассы измерений при горизонтальном сканировании

Таким образом, общая относительная погрешность газоанализатора, вызванная перечисленными выше факторами, не превышает 10%.

После лабораторных испытаний прибора был проведен цикл измерений количества газов NO_2 и SO_2 на горизонтальной трассе над Томском в районе ГРЭС-I. На рис. 4 приведены результаты измерений. Видно, что при горизонтальном направлении сканирования содержание газов NO_2 и SO_2 возрастает в направлении распространения выбросов из трубы ГРЭС-I.

Выводы

Проведенные исследования недисперсионного корреляционного газоанализатора показали, что в светлое время суток с помощью данного прибора возможно проводить контроль содержания двуокиси азота и двуокиси серы в воздухе на горизонтальных и вертикальных трассах, в дымовых шлейфах.

При этом влияние аэрозоля, неизмеряемых газов в исследуемом объеме приводит к увеличению относительной ошибки измерений не более 10%.

Технические характеристики измерителя позволяют расширить число измеряемых газов такими веществами, как формальдегид CH_2O , сероуглерод CS_2 , толуол C_7H_8 , бензол C_6H_6 , пары иода I_2 .

1. Альтман Э.Л., Тимофеев Ю.М. Оптические дистанционные методы для анализа МГС атмосферы. Анализ неорганических газов. Л., 1983.
2. Кабашников В.П., Кусков А.А., Макаревич Н.С. // ЖПС. 1986. Т. XLV. N 6. С. 965–970.
3. Девлишев П.П., Кауль Б.В., Краснов О.А. и др. // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Изд-во Ин-та леса и древесины СО АН СССР. 1978. С. 82–85.

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск
МП <Базовая хозрасчетная лаборатория> ТНЦ РАН, г. Томск

Поступила в редакцию
30 декабря 1993 г.

Yu. D. Kopytin, V. I. Kokhanov, S. A. Shishigin. **Remote Correlation Spectroscopy of Gas and Aerosol Emissions From Industrial Objects.**

A description of a correlation radiometer for measuring sulfur and nitrogen dioxides in the aerosol and gas emissions from industrial objects is presented. Investigation of metrological characteristics of the device is discussed and some results of field tests are presented.