

УДК 551.508.4:621.384.3

Г. К. МСРЯН

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПО ИНФРАКРАСНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ НЕКОТОРЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

Приводятся результаты спектрометрических измерений инфракрасной (ИК) прозрачности атмосферы. По эмпирическим зависимостям рассчитаны концентрации паров воды и углекислого газа на горизонтальных трассах длиной 1500м. Дистанционным ИК-спектральным анализом установлено, что в газовых промышленных выбросах в атмосферу преобладают газы CO , CO_2 , группа углеводородов, SO_2 и N_2O . Оценены относительные количества выбрасываемых газов по отношению к группе CO-CO_2 .

В экологических исследованиях земной атмосферы весьма важное значение имеют измерения количества водяных паров и углекислого газа, а также дистанционный спектральный анализ горячих газовых промышленных выбросов. На основе экспериментальных данных, полученных при измерении спектральной прозрачности атмосферы в области длин волн от 2,5 до 5,5мкм, где находятся сильные полосы поглощения паров воды (2,7мкм) и углекислого газа (4,3мкм), и с помощью существующих эмпирических зависимостей между спектральной прозрачностью и количеством поглощающих молекул (величиной осажденного слоя) можно определить концентрации паров H_2O и CO_2 на участке измерений.

2. Краткое описание эксперимента. Общепризнанным методом измерения ИК-спектральной прозрачности атмосферы на больших расстояниях является получение спектра конкретного точечного ИК-источника с внешней модуляцией излучения, сигналы от которого малы по сравнению с вкладом излучения фона. Преимущество этого метода заключается в том, что дрейф и флуктуации излучения фона не влияют на окончательные результаты измерений. Эксперименты проведены с помощью разработанного нами универсального спектрорадиометра УСР-А, описанного в [1], где подробно проанализированы методика энергетической градуировки прибора, а также методика измерения излучения точечных и протяженных ИК-источников. Получены соответствующие соотношения между спектральной градуировочной

характеристикой $k(\lambda)$ спектро радиометра и интересующим нас спектральным контрастом точечного ИК-источника $W(\lambda)$:

$$W(\lambda) = \frac{\Delta S(\lambda) \omega l^2}{k(\lambda) \tau(\lambda, l) A}, \quad (1)$$

где $\Delta S(\lambda)$ – разность между сигналами «источник+фон» и «фон», ω – телесный угол спектро радиометра (3 мрад), l – расстояние от исследуемого источника до спектро радиометра, $\tau(\lambda, l)$ – спектральная прозрачность атмосферы на расстоянии l , A – площадь излучающей поверхности источника.

Экспериментальные работы по измерениям прозрачности атмосферы в области длин волн от 2,5 до 5,5 мкм проводились в средних широтах европейской части России в летний период. Источник АЧТ 1270К и внешний модулятор (прерыватель излучения) были установлены на расстоянии $l_1 = 1500 \text{ м}$ от прибора УСР-А. Внутренний прерыватель (опорный модулятор) спектро радиометра был отключен. Опорный сигнал внешнего модулятора, переданный по радиосвязи, и сигнал от источника через спектро радиометр подавались на вход усилителя для синхронного детектирования. Выходной сигнал представлял собой разность между спектром «источник+фон» и спектром фона, т.е. $\Delta S(\lambda)$. Отметим, что одновременно измерялись текущие метеорологические параметры атмосферы (температура, давление и отн. влажность воздуха).

При помощи измерения $W(\lambda)$ источника на ближней дистанции ($l_2 = 200 \text{ м}$, где можно принять $\tau(\lambda, l) = 1$) и соотношения (1) были получены значения спектральной прозрачности атмосферы для горизонтальной трассы длиной 1500 м, которые приведены на рис. 1 (крестики). Сплошной линией представлена расчетная кривая $\tau(\lambda, l)$ по данным [2].

3. Результаты измерений и обсуждение. На основе многочисленных практических измерений поглощения водяных паров в атмосфере Эльдера и Стронга (см. [3]) была предложена следующая эмпирическая формула для расчета спектральной прозрачности $\tau(\lambda)$ на горизонтальных трассах в атмосфере для высот 2–3 км:

$$\tau(\lambda) = t_0 - k_1 \lg \omega_{H_2O}, \quad (2)$$

где ω_{H_2O} – величина осажденного слоя поглощающих водяных паров (см), t_0 и k_1 – некоторые эмпирические постоянные для рассматриваемых длин волн. С помощью соотношения (2), данных [3] и на основе наших измерений $\tau(\lambda)$ на участках спектра 1,9–2,7 мкм и 2,7–4,3 мкм для ω_{H_2O} нами получены значения 4,5 и 9,5 мм соответственно, что в среднем для трассы с $l_1 = 1500 \text{ м}$ составляет 7,0 мм. Это значение согласуется с данными, полученными в результате синхронных измерений метеорологических параметров, по которым

$\omega_{H_2O} = 7,5 \text{ мм}$ [3]. Именно для этого значения ω_{H_2O} на рис. 1 приведена расчетная кривая пропускания атмосферы.

По результатам многолетних теоретических и экспериментальных

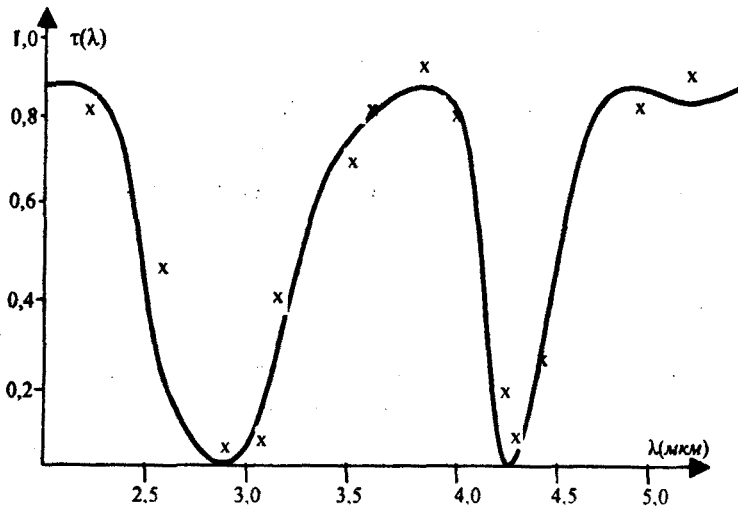


Рис. 1. Спектральная прозрачность атмосферы на горизонтальной трассе длиной 1500м, сплошная линия – расчеты по [2], x – результаты наших измерений.

исследований установлены эмпирические зависимости (рассмотренные в [2]) между пропусканием атмосферы τ и количеством поглощающих молекул газа CO_2 для длины волны 4,3мкм. С помощью измеренных нами значений $\tau(\lambda)$ и по данным [2] получено усредненное значение

$\omega_{\text{CO}_2} = 4,2 \text{ см}$ на горизонтальной трассе 1500м.

Полученное при наших измерениях значение объемной концентрации атмосферного CO_2 оказалось порядка 0,028%, что находится в хорошем согласии с данными [3].

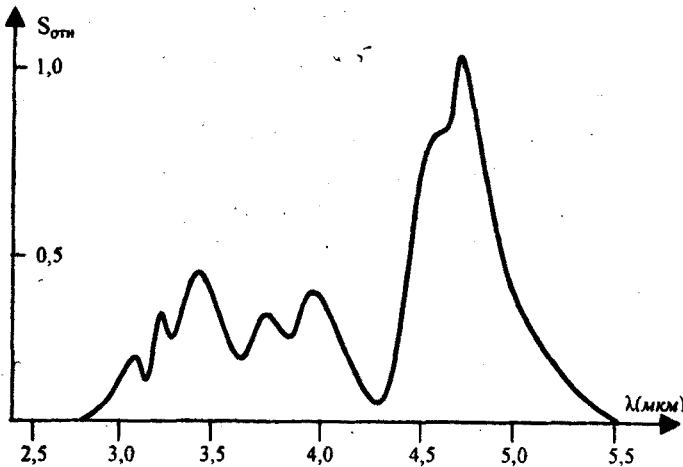


Рис. 2. Усредненная спектрограмма высокотемпературного промышленного газового выброса с расстояния 3км.

При эксплуатации спектрорадиометра УСР-А в пассивном режиме функционирования были получены ИК-спектры горячих газовых выбросов из дымовых труб промышленных предприятий с расстояния 3км в области длин волн от 2,5 до 5,5мкм. Спектрограмма, усредненная по данным более 20-и измерений, приведена на рис. 2. На ней отчетливо выделяются эмиссионные полосы молекул $\text{SO}_2(4,2 \text{ мкм})$, $\text{N}_2\text{O}(3,9 \text{ мкм})$, $\text{CO}(4,7 \text{ мкм})$, $\text{CO}_2(4,8 \text{ мкм})$, паров $\text{H}_2\text{O}(3,2 \text{ мкм})$ и группы углеводородов (3,5мкм). Отметим, что вследствие низкого спектрального разрешения ($\approx 3\%$) полосы углеводородов (CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_2H_8) объединены в

одну с максимумом на $\lambda = 3,5 \text{ мкм}$. Однако их интегральную интенсивность можно сравнить с интенсивностью полос CO–CO₂ (на $\lambda = 4,7 - 4,8 \text{ мкм}$), что с точки зрения качественного спектрального анализа имеет большое значение для контроля газовой загрязненности атмосферы, т.к. они являются основными продуктами сгорания. На полученной спектрограмме резко выделяется полоса поглощения атмосферного CO₂ на $\lambda = 4,3 \text{ мкм}$ [3].

Спектральная область измерений от 3 до 5 мкм нами выбрана не случайно. Во-первых, она является одним из «окон прозрачности» атмосферы, во-вторых, малые газовые примеси, такие как углеводороды, SO₂, N₂O и др., имеют более или менее интенсивные колебательно-вращательные спектры именно в этом диапазоне длин волн [3]. При температуре пламени около 2000K эмиссионные полосы CO, CO₂ и паров воды сливаются и спектр становится непрерывным в области длин волн от 2 до 4 мкм. Однако при температурах ниже 2000K эти полосы разделяются, что и наблюдается в наших экспериментах. Сравнение длины волны максимального излучения в полученных спектрах с законами излучения абсолютно черного тела показывает, что оптимальная температура для исследования промышленных газовых выбросов находится в интервале 500–600K. Относительное содержание выбрасываемых за единицу времени в атмосферу газов (по отношению к группе CO–CO₂) оценивалось с помощью отношений интегральных интенсивностей полос отдельных газов. Расчеты показывают, что содержание выбрасываемых углеводородов в 2–3 раза превышает таковое для SO₂, N₂O, что, в свою очередь, в 4 раза меньше, чем содержание группы CO–CO₂.

Общепринятый к настоящему времени метод исследования атмосферных газовых загрязнений [4–6] основан на спектрометрических измерениях газовых выбросов в лабораторных условиях в отобранных пробах. Несмотря на сравнительно высокие спектральные разрешения таких измерений, они по оперативности уступают дистанционным спектрометрическим исследованиям, изложенным в настоящей работе.

Таким образом, разработанная нами методика и примененная аппаратура предоставляют возможность проведения оперативной и качественной оценки содержания разных газов в горячих промышленных выбросах в атмосферу с помощью пассивного спектрального изучения в областях длин волн от 3 до 5 мкм, а также и от 8 до 14 мкм [1].

Кафедра оптики

Поступила 28.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Asatryan R.S., Epremian R.A., Msryan G.K and al. – Intern. Journ. of IR and MM Waves, 2003, v. 24, № 6, p. 1035–1046.
2. Асатрян Р.С. Оптоэлектронные методы исследований полей излучения. Автореферат дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. ЕГУ, 2000, 18с.
3. Зуев В.Е. Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. М.: Сов. Радио, 1966.

4. Ахмеджанов Р.А., Гаврилова М.А., Радищев Д.Б., Язенков В.В. – Приборы и техника эксперимента, 1997, № 1, с.165–171.
5. Рылов В.А. – Приборы и системы управления, 1999, № 9, с. 17–19.
6. Попов А.А., Пыжнев В.Ю., Сергеев С.К. и др. – Там же, 1999, № 9, с. 3–17.

Գ. Կ. ՄՏՐՅԱՆ

ՄԹՆՈԼՈՐՏԻ ՈՐՈՇ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՄՊԵԿՏՐԱԼ ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ամփոփում

Բերված են մթնոլորտի ինֆրակարմիր թափանցիկության սպեկտրաչափական արդյունքները 1500մ երկարությամբ հորիզոնական դիտագծերի համար: Էմպիրիկ առնչություններից հաշվարկված են ջրային գոլորշիների և ածխաթթու գազի խտությունները դիտագծի երկայնքով: Հեռահար (3կմ հեռավորությունից) ինֆրակարմիր սպեկտրալ վերլուծության միջոցով հաստատված է, որ մթնոլորտ արտանետված արդյունաբերական տաք գազերում գերակշռում են CO, CO₂ գազերը, ածխաջրածինների խումբը, ինչպես նաև SO₂ և N₂O միացությունները: Գնահատված են արտանետվող գազերի հարաբերական քանակությունները CO–CO₂ խմբի նկատմամբ:

G. K. MSRYAN

SPECTROMETRIC MEASUREMENTS AND PROCESSING OF THE INFORMATION ON INFRARED RESEARCHES OF SOME ATMOSPHERE'S ECOLOGICAL PARAMETERS

Summary

The results of spectrometric measurements of the infrared (IR) atmospheric transparency and industrial hot gas ejections in the wave range from 2,5 to 5,5 μm , are presented. By empirical dependences between atmosphere's IR spectral transparency and quantities of absorbing molecules is counted the concentrations of water vapour and carbonic gas on the horizontal path of length 1500m. By distant (on the distance 3km) IR spectral analysis it is established, that in industrial gas ejections in atmosphere dominate the gases CO, CO₂, hydrocarbon group, SO₂ and N₂O. Relative quantities of ejected gases to the CO–CO₂ group are estimated.