

ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 681.785.235: 52-852

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ГАЗОФИЛЬТРОВЫЙ АНАЛИЗАТОР С МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА

© 2004 г. А. А. Бузников, доктор техн. наук; Е. Ю. Энберт

СПбГЭТУ "ЛЭТИ", Санкт-Петербург
E-mail: ev_enbert@mail.ru

Представлена оптическая схема для корреляционного газофилтрового анализатора, объединяющая опорный и измерительный каналы и позволяющая минимизировать габаритные размеры прибора и число оптических элементов. Описан алгоритм обработки сигнала, позволяющий нормировать полезный сигнал сигналом, несущим информацию о неселективной составляющей излучения и не зависящим от селективной составляющей. Это делает показания газоанализатора независимыми от вариаций неселективной составляющей излучения. Алгоритм реализован программно в микропроцессоре, что облегчает процессы обработки, хранения и архивирования данных.

Коды OCIS: 120.4640, 120.4820.

Поступила в редакцию 15.05.2003.

1. Введение в проблему

В последние десятилетия в результате воздействия биогенных и антропогенных факторов существенно усиливается динамика изменения концентраций малых газовых компонентов атмосферы. Это приводит ко все более насущной необходимости проведения последовательного мониторинга их содержания. Выявление трендов содержания этих газов открывает широкие возможности при решении таких актуальных проблем, как прогнозирование изменений состояния озонового слоя и температурного режима атмосферы, оценка степени воздействия деятельности человека на атмосферные процессы, а также возможностей естественных процессов компенсации этих воздействий. В конечном итоге создание комплексной картины сезонных и прогрессирующих изменений концентраций малых газов атмосферы дает основу для оценки влияния этих изменений на климат [1].

С другой стороны, остается актуальной задача оперативного локального контроля содержания того или иного газа при проведении ряда технологических операций, а также концентраций токсичных и взрывоопасных газов в местах их возможного накопления.

Таким образом, в настоящее время важнейшей задачей является разработка и совершенствование приборов для проведения измерений концентраций газов в различных условиях и, кроме того, решение

ряда методологических вопросов, связанных с увеличением точности, с одной стороны, а с другой – с упрощением измерительной схемы.

Современный уровень развития науки и техники предоставляет широкий набор средств и методов для проведения измерений концентраций газов в различных условиях.

Наибольшей универсальностью обладают косвенные оптические методы, при использовании которых информацию о концентрации определяемых примесей получают через анализ характеристик электромагнитного излучения, изменяющихся вследствие селективного поглощения этого излучения исследуемыми газами [2]. Приборы, реализующие эти методы, используются в самолетных и спутниковых измерениях для получения глобальных распределений содержания газовых компонентов атмосферы, а также для локального контроля концентраций токсичных и взрывоопасных газов и выявления утечек газов в процессе технологических операций.

2. Корреляционный газофилтровый метод

Наиболее перспективным классом приборов для контроля концентраций газов косвенными оптическими методами являются корреляционные газофилтровые анализаторы. Принцип их работы состоит в следующем. Поток от источника излучения проходит через исследуемую среду и после выделения фильтром информативного спектрального диапазона раз-

деляется на два потока. Один из них проходит через опорный канал газоанализатора, в котором расположена опорная кювета с газом, идентичным измеряемому, а другой направляется через измерительный канал, состоящий из тех же оптических элементов, что и опорный, за исключением газа, содержащегося в кювете. После этого потоки снова сводятся в один и направляются на приемник. Опорная кювета наполняется таким количеством газа, чтобы добиться практической непрозрачности опорной кюветы в районе линий поглощения газа, используемых для измерений. Тогда при наличии определяемого газа в исследуемой среде часть потока, проходящая через опорный канал (опорный поток), остается практически неизменной, в то время как часть потока, проходящая через измерительный канал (измерительный поток), уменьшается за счет селективного поглощения излучения. Обычно в отсутствие измеряемого газа в среде величины опорного и измерительного потоков выравниваются узлом балансировки, расположенным в измерительном канале. Тогда появляющаяся разность между опорным и измерительным потоками находится в прямой зависимости от концентрации определяемого газа в среде.

Этот метод уже давно используется для проведения измерений концентраций газов с борта самолета и с искусственных спутников Земли [3–5]. Полученные результаты дали адекватную информацию как о содержании исследуемых газов в вертикальном столбе атмосферы в зависимости от широты и долготы места проведения эксперимента, так и о вертикальных профилях этих газов.

К несомненным достоинствам этого метода относятся:

1) максимальная избирательность по газам, которая достигается за счет использования опорной кюветы;

2) сравнительная простота конструкции и меньшие требования к качеству юстировки по сравнению с дифракционными и интерференционными спектрометрами, а следовательно, большая устойчивость к механическим воздействиям;

3) возможность непосредственной градуировки выходных сигналов в единицах концентрации;

4) универсальность применения – данная схема с незначительными модификациями может быть использована для дистанционных измерений, локального контроля концентраций газов, а также анализа проб в лабораторных условиях.

Одним из основных источников погрешности при определении концентраций газов дистанционными методами является зависимость показаний приборов от неселективной составляющей излучения, изменения которой часто оказываются следствием нестабильной яркости источника излучения.

При проведении дистанционных измерений методом прозрачности атмосферы по Солнцу эту составляющую погрешности устраняют, используя систему наведения входной щели спектрометра на центр солнечного диска и удерживания ее в этом положении в течение всего цикла измерений [6, 7].

В приборах, реализующих корреляционный газофилтровый метод, независимость результатов измерений от неселективной составляющей излучения достигается нормированием полезного сигнала сигналом, несущим информацию о неселективной составляющей и не зависящим от селективной составляющей [3, 5, 8].

Ниже представлен корреляционный газофилтровый анализатор для локальных измерений, в котором геометрически объединены опорный и измерительный каналы, и описан алгоритм получения информации о концентрации газов исходя из параметров оптического излучения.

3. Описание функциональной схемы и принцип работы газоанализатора

Особенностью этого газоанализатора является отсутствие разделения потока на опорный и измерительный. Вместо этого осуществляется модуляция составляющей излучения, соответствующей линиям поглощения определяемого газа. В результате на протяжении части периода модуляции, соответствующей непрозрачности системы в окрестности линий поглощения, выходной сигнал не зависит от концентрации определяемого газа в среде. С другой стороны, увеличение концентрации определяемого газа в среде приводит к уменьшению сигнала на протяжении части периода модуляции, соответствующей прозрачности системы в окрестности линий поглощения. При таких условиях соответствующая обработка сигнала позволяет реализовывать корреляционный газофилтровый метод в схеме, содержащей, с геометрической точки зрения, только один канал. Функциональная схема газоанализатора приведена на рис. 1. Источник излучения 1 линзой 2 отображается в плоскости входной диафрагмы 3. Далее коллиматором 4 формируется параллельный поток, который пропускается через тестовую кювету 5 с исследуемой газовой смесью или непосредственно через прилегающий объем воздуха. После этого узкополосным интерференционным фильтром 6, полоса пропускания которого согласована с полосой поглощения исследуемого газа, выделяется соответствующий информативный спектральный диапазон. Модулятор 7 с двигателем 8 обеспечивает режим прерывания потока, необходимый для реализации алгоритма обработки сигнала. Далее поток пропускается через опорную кювету 9, которая со-

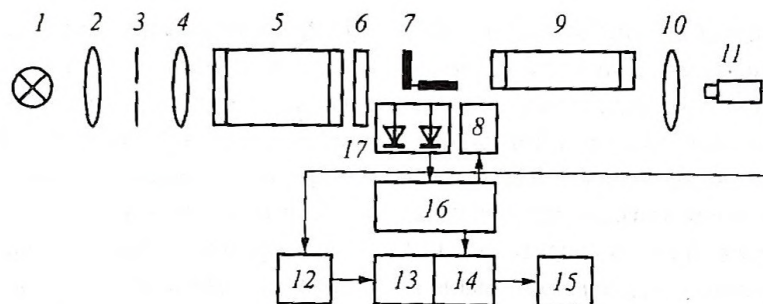


Рис. 1. Функциональная схема газоанализатора.

держит газ, идентичный по химическому составу определяемому, в количестве, достаточном для обеспечения практической непрозрачности кюветы в районе соответствующей линии поглощения. Фокусирующей линзой 10 поток направляется на приемную площадку фотоприемника 11.

Опорная кювета 9 имеет в поперечном сечении форму полукруга, а форма и размер модулятора в точности совпадают с формой и размером поперечного сечения опорной кюветы. Взаимное расположение опорной кюветы и модулятора показано на рис. 2, где $a-a$ – ось вращения модулятора. Частота вращения модулятора – 200 Гц. Описанный режим прерывания потока позволяет модулировать только часть потока, соответствующую линиям поглощения исследуемого газа. В результате напряжение на выходе фотоприемника изменяется со временем, как показано на рис. 3. Здесь переменная составляющая напряжения соответствует линиям поглощения исследуемого газа, а постоянная составляющая – неселективной части потока в полосе интерференционного фильтра. Максимумы напряжения соответствуют максимальному пропусканию системы опорная кювета–модулятор в районе полос поглощения газа, а минимумы – полной непрозрачности системы в этом спектральном диапазоне. При наличии определяемого газа в тестовой кювете уровень максимумов уменьшится за счет селективного поглощения, в то время как уровень минимумов не изменится.

Сигнал с выхода фотоприемника проходит первичную обработку в блоке аналоговой обработки

сигнала 12 и через блок аналого-цифрового преобразователя 13 поступает на блок математической обработки 14, реализованный на основе микропроцессора. Для учета флуктуаций скорости вращения модулятора используется блок синхронизации и стабилизации частоты модулятора 16, получающий сигнал с оптронной пары 17. На выходе блока математической обработки имеем сигнал, определяемый следующей формулой:

$$(S_{\max} - S_{\min})/S_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где $S_{\max}$ – уровень максимумов сигнала, $S_{\min}$ – уровень минимумов сигнала, $S_{\text{ср}}$ – среднее за период значение сигнала. Изменение амплитуды переменной составляющей сигнала по сравнению со значением, соответствующим отсутствию определяемого газа в тестовой кювете, определяет концентрацию этого газа. Средний за период сигнал $S_{\text{ср}}$ зависит только от неселективной составляющей потока излучения. Благодаря нормированию полезного сигнала величиной $S_{\text{ср}}$ показания газоанализатора оказываются не зависящими от изменений неселективной составляющей потока, вызванных флуктуациями яркости источника и неселективной составляющей коэффициента пропускания среды.

С блока математической обработки отградуированный в единицах концентрации сигнал подается на блок индикации 15.

Наличие в среде “мешающих” газов, линии поглощения которых расположены поблизости от используемых для измерений линий определяемого

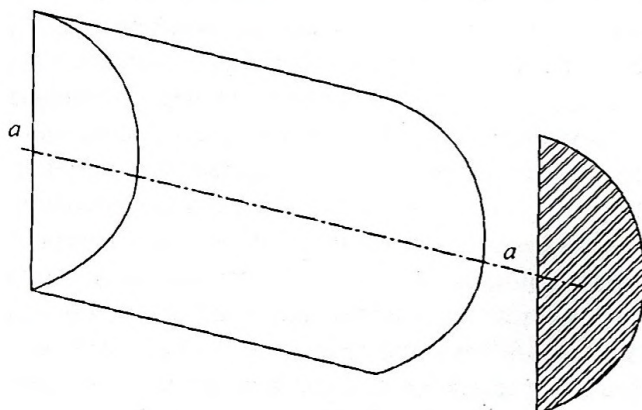


Рис. 2. Опорная кювета и модулятор.

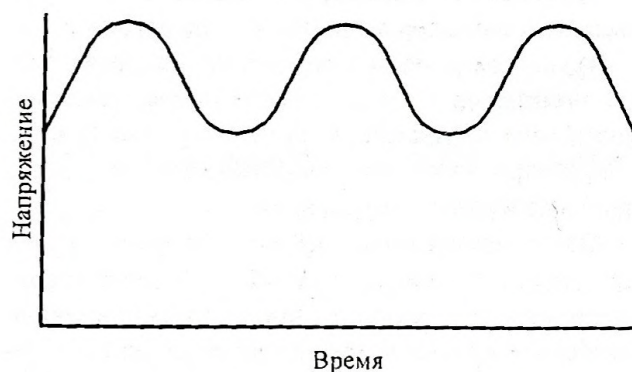


Рис. 3. Напряжение на выходе фотоприемника.

газа, в случае некоррелированных спектров не влияет на показания газоанализатора. В этом случае происходит равномерное уменьшение потока на протяжении всего периода модуляции, что приводит к параллельному переносу вниз кривой зависимости сигнала от времени (рис. 3) на величину поглощения излучения "мешающими" газами. При этом амплитуда переменной составляющей сигнала не меняется и по-прежнему зависит только от концентрации определяемого газа. В случае если спектр поглощения "мешающего" газа коррелирован со спектром определяемого газа, необходимо проводить параллельные измерения "мешающего" газа с целью учета его влияния на показания газоанализатора. Возможно также установить фильтровую ювету с "мешающим" газом, так чтобы вклад этого газа в поглощение был одинаковым на протяжении всего периода модуляции.

4. Заключительные положения и выводы

Представленный в разделе 3 газоанализатор, реализующий корреляционный газофилтровый метод, геометрически имеет только один канал. Вместо сравнения опорного и измерительного потоков осуществляется сравнение сигнала в разные моменты периода модуляции. Применение корреляционного газофилтрового метода в такой схеме возможно благодаря модуляции части потока, соответствующей линиям поглощения определяемого газа. Это решение позволяет существенно упростить оптическую схему по сравнению с корреляционным газофилтровым анализатором, созданным на кафедре ФЭОП ранее [8]. Отсутствие в схеме блоков светоделиителя и сведения опорного и измерительного потоков делает газоанализатор менее чувствительным к неточной юстировке. В приборе реализована микропроцессорная обработка сигнала, что открывает широкие возможности при хранении и архивировании данных. Кроме того, существует возможность внесения программных модификаций в

алгоритм обработки сигнала, в частности, для учета влияния на результаты измерений "мешающих" газов путем введения в расчеты параметров атмосферных моделей при дистанционных измерениях.

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП "Интеграция", проект Б 0034.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kondratyev K. Ya., Buznikov A. A., Pokrovsky O. M. Global Change and Remote Sensing. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. Praxis Publishing, 1996.
2. Кондратьев К. Я., Бузников А. А., Покровский О. М. Глобальная экология: дистанционное зондирование // Итоги науки и техники. Сер. Атмосфера, океан, космос, программа "Разрезы". М.: ВИНТИ, 1992.
3. Reichle H. G., Wallio H. A., Casas J. C. et al. Gas filter radiometer for carbon monoxide measurements during the 1979 Summer Monsoon Experiment (MONEX) // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. № D9. P. 9841-9848.
4. Reichle H. G., Connors V. S., Holland J. A. et al. Middle and upper tropospheric carbon monoxide mixing ratios as measured by a satellite-borne remote sensor during November 1981 // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. № C9. P. 10865.
5. Pan L., Edwards D. P., Gille J. C., Smith M. W., Drummond J. R. Satellite remote sensing of tropospheric CO and CH₄: forward model studies of the MOPITT instrument // Applied optics. 1995. V. 34. № 30. P. 6976-6988.
6. Бузников А. А. Эксперимент по затменному зондированию атмосферы в полосе 2,7 мкм H₂O с орбитальной станции "Салют-4" // Изв. ЛЭТИ. 1981. Вып. 290. С. 3-8.
7. Бузников А. А., Ковалев А. Е. Системы наведения на Солнце аэрокосмических спектрометров для исследования газового состава атмосферы // Оптический журнал. 2001. № 12. С. 33-44.
8. Бузников А. А., Костюков В. М., Тележко Г. М. Светосильный корреляционный газоанализатор // Изв. вузов. Приборостроение. 1993. Т. 36. № 4. С. 70-75.