

УДК 621.382.2

МИКРОВОЛНОВЫЙ СПЕКТРОРАДИОМЕТР ДЛЯ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА СИНХРОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ В ЛИНИЯХ ОКИСИ УГЛЕРОДА И ОЗОНА

Л. И. Федосеев, А. А. Швецов, А. П. Шкаев, О. С. Большаков, Д. А. Караштин

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород**

Получена 7 декабря 2012 г.

Аннотация. Кратко описываются основные конструктивные особенности и параметры микроволнового спектрорадиометра для наземного комплекса синхронного зондирования средней атмосферы в линиях молекул CO и O₃.

Ключевые слова: антенна, модулятор-калибратор, блок приемника, цифровой анализатор спектра, система управления, сбора и обработки данных.

Abstract. Main constructive special features and parameters of the microwave spectrometer for middle atmosphere synchronous sounding in molecular lines of CO and O₃ are described briefly.

Key words: antenna, modulator-calibrator, receiver, digital spectrum analyzer.

Синхронное дистанционное микроволновое зондирование стратосферы и мезосферы в линиях озона и окиси углерода имеет своей целью исследование влияния динамики атмосферы как естественного происхождения (внутренние гравитационные волны, например), так и местного – искусственного (нагрев ионосферы с помощью специальных стендов и др.) на особенности протекания физико-химических процессов в указанной области. В отличие от применяемого в настоящее время зондирования с космических носителей синхронное с поверхности Земли со значительно более высоким пространственно-временным разрешением позволит существенно расширить возможности исследования процессов различного временного масштаба в

стратосфере и мезосфере, особенно, - быстро протекающих. А при наличии дополнительных данных (например – спутниковых о водяном паре) еще и оценить эффективность воздействия атмосферных волн на химически активные и пассивные малые примеси мезосферы.

В качестве первого варианта упомянутого комплекса синхронного предполагается использовать имеющийся мобильный озонометр [1], дополненный спектрометрией для наблюдений излучения стратосферы и мезосферы в линии первого вращательного перехода окиси углерода CO (частота 115,2712 ГГц).

Ниже кратко описаны особенности устройства и характеристики разработанного CO-спектрометра.

CO-спектрометр включает в себя следующие основные блоки: антенную систему, модулятор-калибратор, блок приемника, цифровой анализатор спектра, систему управления, сбора и обработки данных на базе персонального компьютера.

Антенная система выполнена в виде конического рупора с плавным переходом к прямоугольному входному сечению модулятора-калибратора $1,2 \times 2,4 \text{ мм}^2$. Ширина диаграммы направленности по половинному уровню составляет 4,2 градуса.

Модулятор-калибратор представляет собой управляемое током волноводное устройство с рядом параллельных цепочек диодов с барьером Шоттки (ДБШ) [2], обеспечивающее или подключение при нулевом токе антенны ко входу приемника (с потерями не более 1,1 дБ), или подачу на него калибровочного шумового сигнала, эффективная температура которого может изменяться от ≈ 165 до 430 К в зависимости от величины управляющего тока [3]. Это позволяет обойтись без применения внешних калибровочных устройств, охлаждаемых жидким азотом, в частности (см., например, [1]). Сигнал от модулятора-калибратора подается на вход приемника через развязывающий вентиль.

Блок приемника начинается с преселектора на базе круглого запредельного волновода, подавляющего нижний зеркальный канал примерно на 10 дБ. Далее следуют преобразовательно-усилительный модуль [4] и усилитель промежуточной частоты, заканчивающийся разветвлением на квадратичный детектор и на второй преобразователь частоты, позволяющий производить дальнейший анализ с помощью цифрового анализатора спектра AC240 фирмы «Acqiris», работающего в полосе 0-1 ГГц.

При этом в качестве первого гетеродина используется схема, состоящая из задающего электрически перестраиваемого генератора на диоде Ганна, работающего на второй гармонике основной частоты и соединенного последовательно с варакторным удвоителем частоты [4]. В системе фазовой автоподстройки частоты первого гетеродина используется кварцевый синтезатор опорной частоты (7,559980 ГГц) и умножитель, обеспечивающие стабильность и точность установки частоты (113,7297 ГГц) не хуже 10^{-7} .

Второй преобразователь с гетеродином на базе встроенного синтезатора частоты 1,8149987 ГГц имеет входную полосу 1,410 – 1,710 ГГц и выходную 0,105 – 0,405 ГГц, в середине которой располагается частота 0,274 ГГц, соответствующая центру линии СО. При этом зеркальный канал во втором преобразователе подавлен не менее, чем на 20 дБ. Дальнейшая обработка ведется на цифровом анализаторе спектра «Acqiris».

Приемник вместе с антенной системой размещен в термостатированном корпусе с радиопрозрачным окном. Шумовая температура приемника, измеренная со входа антенны, не превышает 1460 К.

Цифровой анализатор спектра «Acqiris» (модель AC240), работающий в режиме быстрого преобразования Фурье, осуществляет непрерывную работу 16384 эффективных спектральных каналов в полосе 0 – 1 ГГц [5], обеспечивая частотное разрешение 61,04 кГц. Включенный между усилителем промежуточной частоты и анализатором спектра фильтр низких частот с резкой высокочастотной границей предотвращает искажения спектра, связанные с дискретностью используемого преобразования Фурье [5].

Система управления выполняет следующее: производит управление модулятором-калибратором, а также сбор и обработку данных с помощью модуля АЦП – ЦАП типа ЛА2-USB, сопряженного с персональным компьютером. Соответствующее программное обеспечение позволяет в режиме реального времени получать спектр излучения атмосферы, визуализировать и записывать в файлы спектры яркостной температуры, задавать полосы анализа, время накопления сигналов, параметры калибровочных сигналов, т.е. полностью управлять процессом измерений.

Вышеописанный спектро радиометр и мобильный микроволновый озонметр [1] подготовлены к пробным наблюдениям.

Авторы приносят благодарность В.Г.Божкову и А.В.Баранову за сотрудничество в создании компонент спектро радиометра.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 10-05-00849.

Литература

1. Красильников А.А, Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г., Демкин В.М., Кукин Л.М., Михайловский В.Л., Шанин В.Н., Шейнер М.З., Шумилов В.А., Щитов А.М. // Приборы и техника эксперимента. 2011. №1, С.127.
2. Федосеев Л.И., Божков В.Г., Геннеберг В.А., Петров И.В., Шкаев А.П. // Изв. вузов. Радиофизика. 2007. Т.50. №10-11. С.948.
3. Федосеев Л.И., Швецов А.А., Шкаев А.П., Демкин В.М., Караштин Д.А., Кукин Л.М., Божков В.Г., Геннеберг В.А., Петров И.В., Щитов А.М. // 18 - я Международная Крымская конференция **СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии**. Материалы конференции. 8-12 сентября 2008 г. Севастополь, Крым, Украина. Т.2. Стр.878-879. Изд. «ВЕБЕР».
4. Божков В.Г., Геннеберг В.А., Кукин Л.М., Федосеев Л.И. // Изв. вузов. Радиофизика. 2000. Т.43. № 8. С.732.5.
5. Müller S.C., Kämpfer N., Monstein C. et al. // Proc.SPIE. Oct. 2005. V. 5979. P.280.