

УДК 551.510:621.396.62

СПЕКТРОРАДИОМЕТР 3-МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АТМОСФЕРЫ

*В. И. Подъячий, В. М. Шульга, В. В. Мышенко, А. М. Королёв, А. В. Мышенко,
А. В. Антюфеев, А. В. Поладич, В. И. Шкодин*

Радиоастрономический институт НАНУ, г. Харьков, Украина

Разработан высокочувствительный приёмно-измерительный комплекс диапазона частот $90\div 116$ ГГц для наблюдений спектральных линий озона O_3 и монооксида углерода CO методом дистанционного зондирования атмосферы с поверхности Земли. Подробно описана методика измерений и калибровки. Представлены результаты наблюдений линий излучения O_3 и CO на частотах 110,836 и 115,271 ГГц соответственно. Определён реализованный в эксперименте уровень чувствительности приёмно-измерительного комплекса при работе с фильтровым анализатором и фурье-анализатором спектра.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение малых газовых составляющих атмосферы Земли и влияния на них природных и антропогенных факторов относится к важному и постоянно расширяющемуся направлению научных и прикладных исследований. В настоящее время в развитых странах (США, Франция, Швеция, Германия, Россия, Япония и др.) для их исследования широко используется метод дистанционного зондирования с поверхности Земли в миллиметровом диапазоне длин волн. В основе метода лежит измерение собственного теплового излучения молекул атмосферных газов [1]. Преимуществом зондирования в миллиметровом диапазоне длин волн является возможность проведения круглосуточных и практически всепогодных наблюдений. Наиболее широко метод дистанционного зондирования на миллиметровых волнах применяется при изучении атмосферного озона. В различных географических точках Земли созданы станции постоянного мониторинга озонового слоя, многие из которых объединены в наземные глобальные сети для объединения усилий в изучении долговременных изменений состояния атмосферы [2].

В последние годы метод дистанционного зондирования на миллиметровых волнах применяется для изучения и других малых газовых составляющих атмосферы: монооксидов углерода и хлора (CO , ClO), закиси азота N_2O и др. [3, 4]. Интенсивность теплового излучения этих газов очень низкая, в единицах яркостной температуры она не превышает 1 К. Для наблюдения таких слабых линий приёмно-регистрирующая аппаратура должна обеспечивать высокую чувствительность в широкой полосе спектрального анализа в сочетании с необходимым частотным разрешением. Поэтому при разработке современных спектрорадиометров наряду со снижением шумов приёмной системы особое внимание уделяется также уменьшению систематических инструментальных погрешностей измерения, уровень которых практически определяет предельно достижимую чувствительность приёмно-регистрирующего комплекса.

В статье представлены результаты разработки спектрорадиометра диапазона частот $90\div 116$ ГГц, который предназначен для измерения основных спектральных линий озона O_3 и линии CO в 3-миллиметровом диапазоне. Низкий уровень собственных шумов приёмной системы спектрорадиометра позволяет использовать его для регистрации достаточно сильных линий (линии озона на частотах 101,7 и 110,8 ГГц) без охлаждения приёмника, а при наблюдении слабых

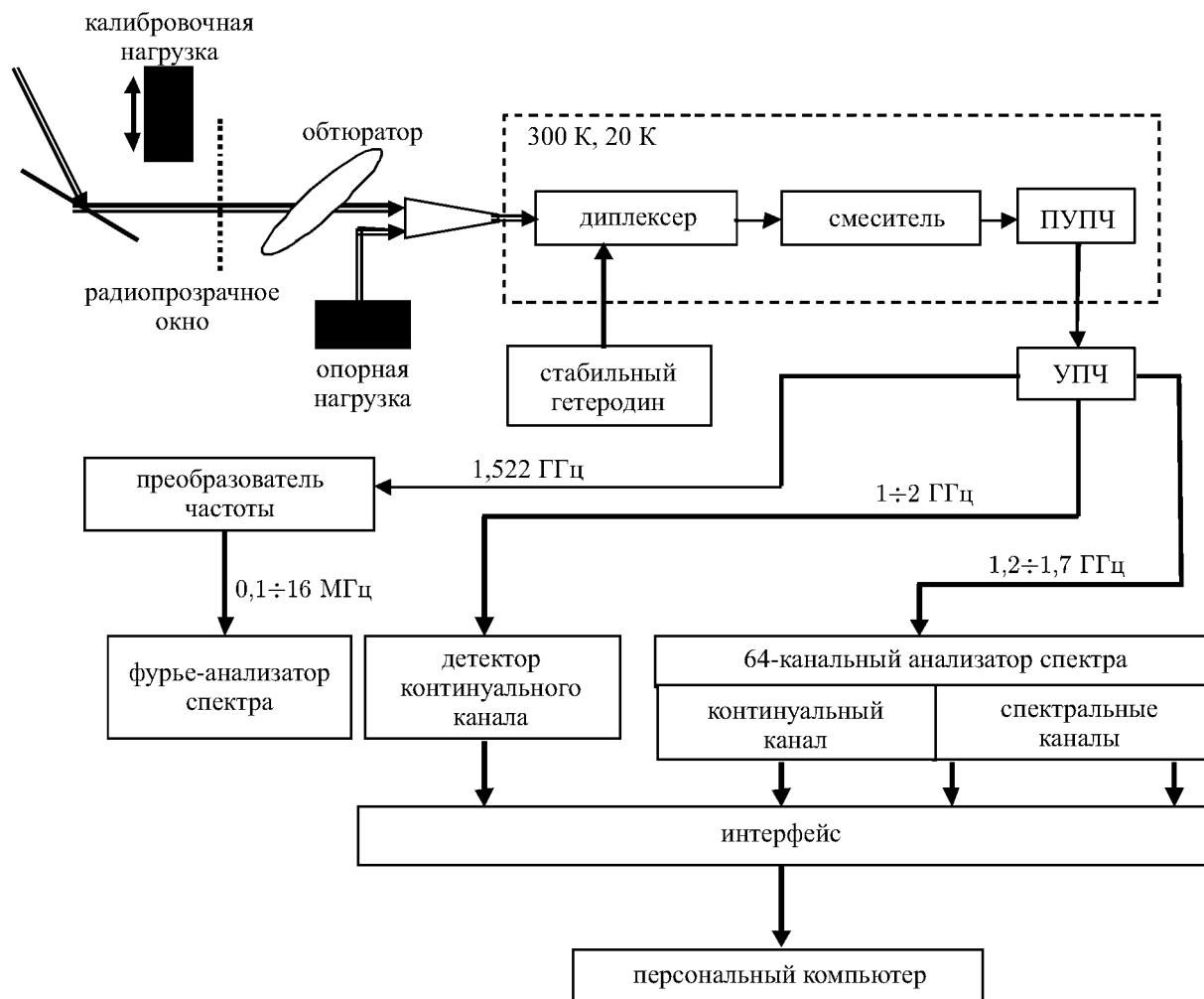


Рис. 1. Блок-схема спектро радиометра 3-миллиметрового диапазона длин волн

линий (например, линии СО) предусмотрен криогенный режим работы измерительного комплекса с охлаждением основных его узлов до 20 К.

В разделе 1 приведено описание измерительного комплекса, его шумовых и спектральных характеристик. В разделе 2 описана методика калибровки и измерений. Результаты измерений линий излучения озона и монооксида углерода приведены в разделе 3. Проанализированы особенности использования в составе спектро радиометра фильтрового анализатора и цифрового фурье-анализатора спектра.

1. ПРИЁМНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Спектро радиометр состоит из трёх основных частей: входной цепи, обеспечивающей амплитудную модуляцию сигнала и процесс калибровки, малошумящего приёмника со смесителем на диоде с барьером Шоттки (ДБШ) и регистрирующей аппаратуре, которая включает в себя два анализатора спектра с интерфейсными модулями (см. рис. 1).

Полезный сигнал поступает на входное плоское зеркало, расположенное за пределами лабораторного помещения, и затем через радиопрозрачное окно — на обтюратор. Угол наклона вход-

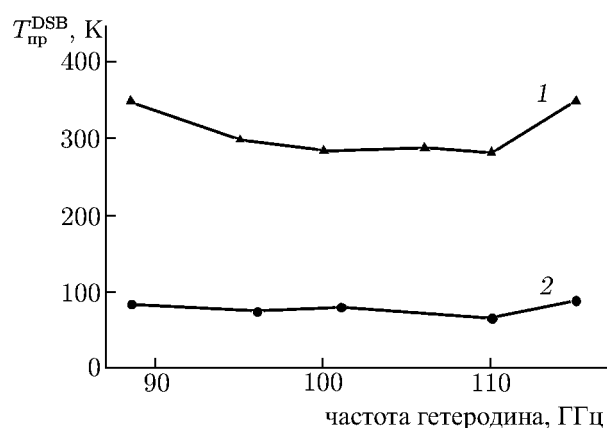


Рис. 2. Зависимость шумовой температуры приёмника спектро радиометра от частоты гетеродина. Кривая 1 соответствует комнатной температуре, кривая 2 — температуре 20 К

угольного на круглое и тепловой развязки. На выходе второй секции (с диаметром 17 мм) расположено вакуумное уплотнение из лавсановой плёнки с толщиной 20 мкм. Третья секция представляет собой усечённый конус, изготовленный из меди, геометрические размеры которого обеспечивают формирование диаграммы направленности антенны приёмника с шириной около 5° по уровню -3 дБ.

Измерения шумовой температуры приёмника выполнены стандартным Y-методом с использованием охлаждаемой до температуры жидкого азота нагрузки. На рис. 2 представлены зависимости двухполосной шумовой температуры приёмника от частоты гетеродина, измеренные в полосе промежуточных частот 1522 ± 45 МГц при двух температурах. Как видно из рис. 2, шумовая температура в рабочей полосе частот не превышает 350 и 90 К при комнатной температуре и при 20 К соответственно.

С выхода усилителя промежуточной частоты (УПЧ) сигнал поступает на детектор континуального канала, 64-канальный анализатор спектра (АС-64) и однополосный преобразователь частоты, предназначенный для формирования сигнала для фурье-анализатора спектра. Детектор континуального канала с усилителем низкой частоты, синхронным детектором и аналого-цифровым преобразователем (АЦП) используется для мониторинга интегральной температуры атмосферы. Фильтровый анализатор спектра имеет 64 спектральных канала с полосой каждого 1 МГц и континуальный канал с полосой 90 МГц, предназначенный для измерения шумовой температуры приёмника во всей полосе АС-64. Сигналы с выхода детектора континуального канала и анализатора спектра, приведённые к одинаковому уровню (2 В при температуре калибровочной нагрузки 300 К), в оцифрованном виде поступают на интерфейс и далее на ЭВМ.

В состав фурье-анализатора спектра, принцип действия которого основан на применении алгоритма быстрого преобразования Фурье, входят: персональный компьютер и платы сопряжения, подключаемые к компьютеру через интерфейс ATA IDE, плата АЦП [8]. Анализатор спектра может работать в двух режимах, позволяющих реализовывать полосы обзора 8 и 14 МГц. Количество частотных каналов определяется программно и может быть равным 512; 2048 или 8192. Компьютер фурье-анализатора спектра выполняет также стандартные функции обработки и хранения данных.

ного зеркала обеспечивает необходимый угол наблюдения. Обтюратор осуществляет коммутацию рабочего и опорного каналов с частотой 30 Гц.

В спектро радиометре использован малошумящий супергетеродинный приёмник со смесителем на ДБШ, аналогичный описанному ранее [5]. Широкополосный смеситель и предварительный усилитель промежуточных частот (ПУПЧ) на транзисторах с высокой подвижностью носителей рНЕМТ [6] объединены в моноблочную конструкцию [7]. Ко входу диплексера подключена рупорная антенна, состоящая из трёх секций, первая из которых (волноводный переход с сечения $2,4 \times 1,2$ мм на сечение $11 \times 5,5$ мм) изготовлена из меди методом гальванопластики. Вторая секция, изготовленная из нержавеющей стали, выполняет функцию трансформатора сечений с прямо-

2. МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ И ИЗМЕРЕНИЙ

В работе использован метод калибровки по чёрному телу и небу [9]. В отличие от широко используемого метода калибровки по двум температурам чёрного тела, в этом методе калибровочная «ступенька» представляет собой разность температур чёрного тела (калибровочной нагрузки) и неба. При калибровке по чёрному телу уровень выходного сигнала в единичном канале анализатора спектра может быть записан в следующем виде:

$$S_{\text{load}}^c = G [g_s (T_{\text{load}} + T_r^s - T_{\text{ref}} - T_r^s) + g_i (T_{\text{load}} + T_r^i - T_{\text{ref}} - T_r^i)],$$

где G — сквозной коэффициент передачи спектро радиометра в выбранном канале анализатора спектра, T_{load} , T_{ref} — яркостные температуры калибровочной и опорной нагрузок соответственно, T_r^s , T_r^i — шумовые температуры приёмника в сигнальном и зеркальном каналах соответственно, g_s , g_i — коэффициенты усиления в сигнальном и зеркальном каналах соответственно, нормированные таким образом, что $g_s + g_i = 1$. Коэффициенты g_s и g_i характеризуют степень подавления зеркального канала в супергетеродинном приёмнике. При однополосном режиме работы $g_s = 1$ и $g_i = 0$, при двухполосном и выровненных каналах $g_s = g_i = 0,5$.

При калибровке по небу уровень выходного сигнала в выбранном канале может быть записан в следующем виде:

$$S_{\text{sky}}^c = G [g_s (T_s^* \exp(-\tau_s) + T_{\text{sky}}^s + T_r^s - T_{\text{ref}} - T_r^s) + g_i (T_{\text{sky}}^i + T_r^i - T_{\text{ref}} - T_r^i)], \quad (1)$$

где T_s^* — температура излучения исследуемой спектральной линии, которая была бы измерена спектро радиометром в отсутствие поглощения в тропосфере, τ_s — оптическая толщина тропосферы в направлении наблюдения, T_{sky}^s , T_{sky}^i — яркостные температуры тропосферы (неба) в сигнальном и зеркальном каналах соответственно. Запишем далее выражение для калибровочной «ступеньки»:

$$S_{\text{load}}^c - S_{\text{sky}}^c = G g_s \left(T_{\text{load}} + \frac{g_i}{g_s} T_{\text{load}} - T_s^* \exp(-\tau_s) - T_{\text{sky}}^s - \frac{g_i}{g_s} T_{\text{sky}}^i \right).$$

В супергетеродинном приёмнике спектро радиометра отсутствует фильтр подавления зеркальной боковой полосы, и смеситель работает в двухполосном режиме ($g_s = g_i$), что позволяет записать:

$$S_{\text{load}}^c - S_{\text{sky}}^c = G g_s (2T_{\text{load}} - T_{\text{sky}}^s - T_{\text{sky}}^i) = 2G g_s (2T_{\text{load}} - T_{\text{sky}}^{\text{DSB}}), \quad (2)$$

где $T_{\text{sky}}^{\text{DSB}} = (T_{\text{sky}}^s + T_{\text{sky}}^i)/2$ — яркостная температура тропосферы, измеряемая двухполосным приёмником в полосе анализа используемого анализатора спектра. При записи выражения (2) учтено, что интенсивность излучения O_3 и CO в 3-миллиметровом диапазоне существенно ниже удвоенной разности температур чёрного тела и неба, т. е. $T_s^* \exp(-\tau_s) \ll 2(T_{\text{load}} - T_{\text{sky}}^{\text{DSB}})$.

При проведении измерений уровень выходного сигнала в выбранном канале анализатора спектра S_{sky}^m также описывается выражением (1), т. к. регистрация S_{sky}^c и S_{sky}^m проводится в одних и тех же условиях и отличается только временем интегрирования τ . Из отношения

$$\frac{S_{\text{sky}}^m}{S_{\text{load}}^c - S_{\text{sky}}^c} = \frac{T_s^* \exp(-\tau_s) - 2T_{\text{ref}} + 2T_{\text{sky}}^{\text{DSB}}}{2(T_{\text{load}} - T_{\text{sky}}^{\text{DSB}})}$$

находим величину полезного сигнала на входе спектро радиометра:

$$T_s^* \exp(-\tau_s) = \frac{2S_{\text{sky}}^m}{S_{\text{load}}^c - S_{\text{sky}}^c} (T_{\text{load}} - T_{\text{sky}}^{\text{DSB}}) + 2(T_{\text{ref}} - T_{\text{sky}}^{\text{DSB}}). \quad (3)$$

В этом выражении второе слагаемое представляет собой разность яркостных температур опорной нагрузки и неба (паразитный сигнал), которая определяет величину смещения нулевой линии в процессе наблюдений. Рост величины паразитного сигнала ведёт к ухудшению чувствительности модуляционного радиометра, а также к росту систематических ошибок измерения за счёт неидентичности коэффициентов передачи каналов анализатора спектра [3]. В работе опорная нагрузка спектрометрического радиометра охлаждалась до температуры жидкого азота, и минимизация паразитного сигнала достигалась введением в тракт опорного сигнала поглощающего элемента.

Измерив по описанной методике величину $T_s^* \exp(-\tau_s)$, значение T_s^* мы можем определить на основе изотермической модели тропосферы. В рамках этой модели яркостная температура тропосферы T_{sky}^{DSB} описывается следующим выражением [3]:

$$T_{sky}^{DSB} = T_{atm}[1 - \exp(-\tau_s)], \quad (4)$$

где T_{atm} — эффективная (средняя) физическая температура тропосферы. Температура T_{atm} может быть рассчитана по известной температуре тропосферы на уровне Земли T_{atm}^0 [3, 10], что позволяет, измерив T_{sky}^{DSB} , определить оптическую толщину тропосферы в направлении наблюдения τ_s и, в конечном итоге, величину T_s^* .

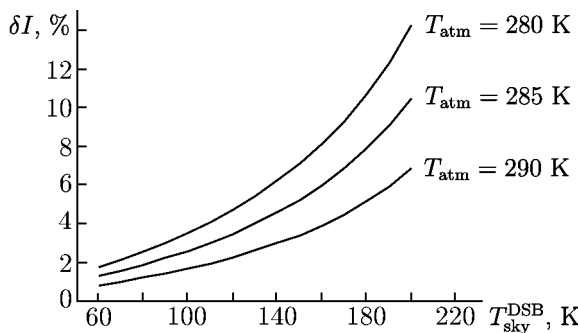


Рис. 3. Расчётные значения погрешности измерений интенсивности излучения спектральной линии δI при использовании метода калибровки по чёрному телу и небу

В работе [10] показано, что в 3-миллиметровом диапазоне, в частности на частоте линии излучения озона 110,836 ГГц, при расположении измерительной аппаратуры на уровне моря эффективная физическая температура тропосферы отличается от её температуры на уровне Земли приблизительно на 5 %. Если пренебречь этим различием, то в выражении (4) T_{atm} можно заменить на T_{atm}^0 , которая в нашем случае равна температуре калибровочной нагрузки T_{load} . Тогда из выражений (3) и (4) можно определить интенсивность излучения исследуемой спектральной линии (в единицах яркостной температуры), исключив при этом влияние поглощения в тропосфере:

$$T_s^* = \frac{2S_{sky}^m}{S_{load}^c - S_{sky}^c} T_{load} + 2 \exp(\tau_s) (T_{ref} - T_{sky}^{DSB}). \quad (5)$$

Предположение равенства T_{atm} и T_{load} вносит некоторую погрешность в измерения. Результаты анализа этой погрешности представлены на рис. 3. Из рис. 3 видно, что при яркостных температурах неба меньше 120 К погрешность измерений не превышает 5 % при изменении величины T_{atm} от 280 до 290 К (в расчёте принято $T_{atm}^0 = 300$ К). Таким образом, при достаточно стабильном состоянии тропосферы в промежутке между калибровками сигнала описанный метод калибровки (по чёрному телу и небу) позволяет непосредственно определить температуру излучения исследуемой спектральной линии.

При наблюдении линий излучения озона обычно использовался следующий режим работы. Длительность калибровки составляла 60 с, время накопления полезного сигнала за один сеанс наблюдений — от 300 до 600 с в зависимости от метеорологических условий. Каждый сеанс наблюдений состоял из соответствующего количества циклов, длительность которых при необходимости изменялась от 10 до 50 с. При регистрации слабой линии монооксида углерода на частоте 115,271 ГГц спектрометрический радиометр использовался в криогенном режиме работы с частотной

модуляцией [10, 11] и многоканальным фурье-анализатором спектра. При этом время проведения одного сеанса наблюдений составляло $0,5 \div 1$ час. Здесь следует отметить, что проведение таких длительных сеансов наблюдения без дополнительной калибровки было возможно благодаря высокой стабильности сквозного коэффициента передачи измерительного комплекса (изменение G за один час наблюдений не превышает 1 %).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

В этом разделе представлены результаты проведённых наблюдений линий излучения O_3 (110,836 ГГц) и CO (115,271 ГГц). На рис. 4 представлена спектральная линия излучения озона, зарегистрированная спектрометриком с АС-64 11 августа 2009 года над Харьковом при угле места примерно 70° . Эта линия представляет собой усреднение семи сеансов наблюдений с суммарным временем интегрирования 80 минут. Величина паразитного сигнала, как видно из рисунка, составляет приблизительно 2 К. На нижнем графике рис. 4 представлена разность между экспериментальной и интерполяционной кривыми. Рассчитанные по этим данным среднеквадратичное отклонение (СКО) сигнала в каналах анализатора спектра и отношение сигнал-шум составляют 90 и 65 мК соответственно.

Для оценки величины погрешности измерения, внесённой использованным методом калибровки, одновременно с записью линий измерялась интегральная яркостная температура тропосферы в полосе анализа АС-64. Среднее значение T_{sky}^{DSB} за время наблюдения линии составило 110 К. Из рис. 3 видно, что в этом случае при физической температуре тропосферы $T_{atm} = 285$ К (значение

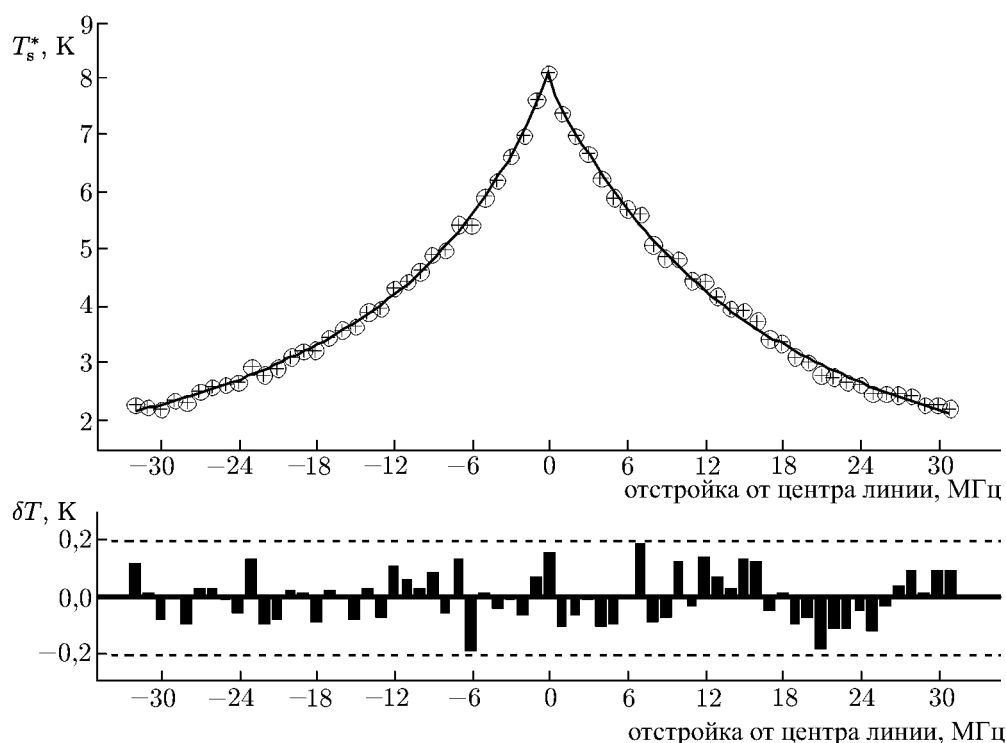


Рис. 4. Спектральная линия излучения озона, зарегистрированная на частоте 110,836 ГГц 11 августа 2009 года. Круги соответствуют значениям, полученным в эксперименте, сплошная линия — интерполяционной кривой. На нижнем графике представлена разность δT между экспериментальными точками и интерполяционной кривой. Время интегрирования $\tau = 80$ мин, СКО = 0,09 К

последней было определено по методике, описанной в [10]) погрешность измерения величины T_s^* не превышает 3 %.

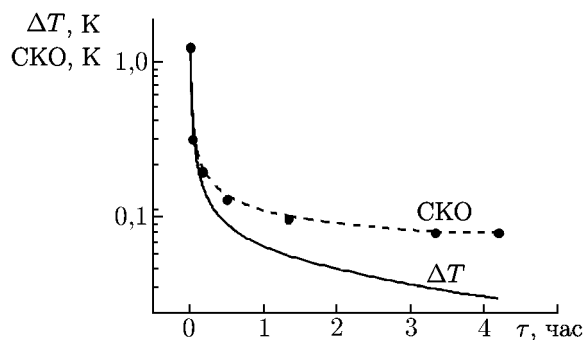


Рис. 5. Зависимости СКО спектра линий излучения озона, зарегистрированных спектрометрическим комплексом с АС-64, и флуктуационной чувствительности радиометра ΔT от времени интегрирования

Для определения предельно достижимой на практике чувствительности разработанного измерительного комплекса с анализатором спектра АС-64 при регистрации линии излучения озона на частоте 110,836 ГГц были измерены среднеквадратичные отклонения сигнала в каналах анализатора спектра при различных временах интегрирования полезного сигнала. На рис. 5 представлены экспериментальные данные вместе с рассчитанными для полосы частот 1 МГц значениями флуктуационной чувствительности ΔT модуляционного радиометра. Видно, что при увеличении времени интегрирования различие между ΔT и среднеквадратичным отклонением сигнала растёт. При временах более трёх часов величина СКО асимптотически приближается к предельному значению в 70 мК.

Это значение в основном определяется характеристиками стабильности аналогового тракта фильтрового анализатора спектра.

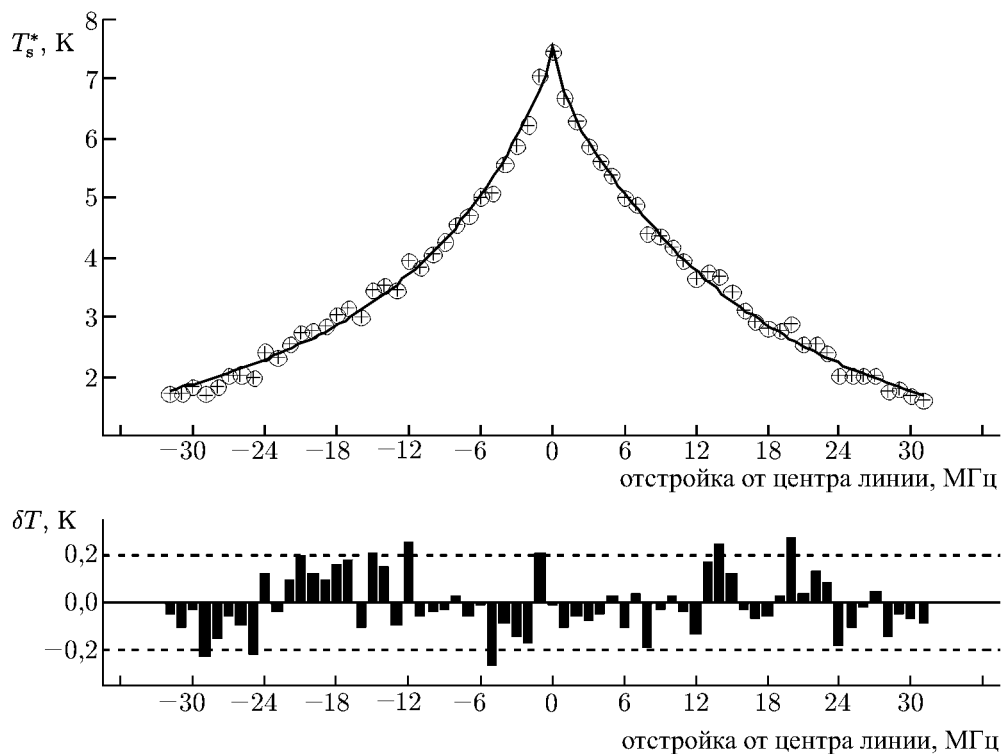


Рис. 6. Спектральная линия излучения озона (110,836 ГГц), зарегистрированная криогенным приёмником 6 августа 2009 года. Кружки соответствуют значениям, полученным в эксперименте, сплошная линия — интерполяционной кривой. На нижнем графике представлена разность между экспериментальными точками и интерполяционной кривой. Время интегрирования $\tau = 10$ мин, СКО = 0,125 К

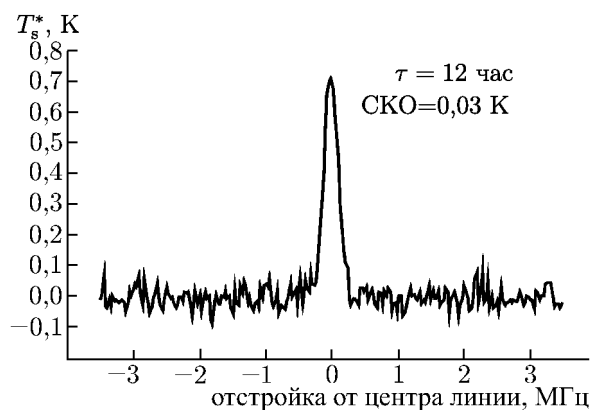


Рис. 7. Спектральная линия излучения монооксида углерода CO, зарегистрированная 28 сентября 2009 года на частоте 115,271 ГГц криогенным приёмником с фурье-анализатором спектра

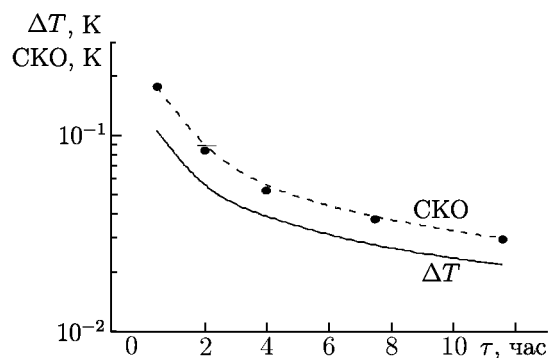


Рис. 8. Зависимости SKO спектра линий излучения CO, зарегистрированных спектрометриком с фурье-анализатором, и флуктуационной чувствительности радиометра ΔT от времени интегрирования

На рис. 6 представлен спектр линии излучения O_3 (110,836 ГГц). Время интегрирования 10 минут, запись велась в криогенном режиме. Видно, что за один сеанс наблюдений возможно зарегистрировать линию озона с отношением сигнал-шум порядка 50. Это позволяет отслеживать динамику изменений в озоновом слое атмосферы, например, при исследовании влияния на озоновый слой стратосферного полярного вихря в холодные месяцы года.

На рис. 7 представлена спектральная линия CO (115,271 ГГц), зарегистрированная 28 сентября 2009 года над территорией п. Симеиз (Крым). Эта линия представляет собой усреднение 20 сеансов наблюдений, проведённых в течение полусуток с криогенным приёмником и фурье-анализатором спектра в режиме работы с частотной модуляцией при ширине спектрального канала 28 кГц. Анализ шумовой дорожки представленной на рис. 7 линии излучения CO даёт среднеквадратичное отклонение сигнала в каналах фурье-анализатора спектра 30 мК при отношении сигнал-шум 24. На рис. 8 представлены экспериментальные и расчётные зависимости чувствительности спектрометрика с фурье-анализатором спектра от времени интегрирования. Видно, что экспериментальные значения SKO близки к расчётным значениям чувствительности. Также видно, что в эксперименте за время наблюдения 12 часов мы ещё не вышли на уровень предельной чувствительности аппаратуры. Это позволяет сделать вывод, что чувствительность спектрометрика в режиме работы с фурье-анализатором спектра в отличие от АС-64 ограничена в основном шумами приёмно-измерительного комплекса, а аппаратные систематические ошибки сведены к минимуму. В дальнейшем предполагается использование цифрового анализатора спектра и в более широкой полосе анализа. Это позволит устранить обнаруженные в эксперименте ограничения чувствительности спектрометрика из-за нестабильности работы аналогового тракта фильтрового анализатора спектра АС-64.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены результаты разработки высокочувствительного спектрометрика 3-миллиметрового диапазона, предназначенного для наблюдений спектральных линий малых газовых составляющих атмосферы в диапазоне частот 90÷116 ГГц. Приёмно-измерительный комплекс создан на основе высокочувствительного супергетеродинного приёмника со смесителем на диоде с барьером Шоттки. Приёмная система спектрометрика обеспечивает наблюдения спектральных линий как при комнатной температуре, так и при охлаждении основных узлов приёмника

до 20 К. Проведённый цикл наблюдений спектральных линий излучения озона и монооксида углерода позволил определить реализованную на практике чувствительность разработанного спектро радиометра. При работе с 64-мегагерцовым фильтровым анализатором спектра и шириной спектрального канала 1 МГц достигнут уровень чувствительности измерительного комплекса в 70 мК. Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод, что дальнейшее улучшение этой величины требует снижения аппаратурных систематических погрешностей измерения, уровень которых определяется в основном нестабильностью аналогового тракта АС-64. При работе с фурье-анализатором спектра с шириной спектрального канала 28 кГц реализована чувствительность спектро радиометра 30 мК. Экспериментально установлено, что эта величина определяется в основном шумами приёмной системы и тропосферы, а аппаратурные систематические ошибки измерительного комплекса в этом режиме работы сведены к минимуму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barrett A. H., Chung V. K. // J. Geophys. Res. 1962. V. 67, No. 11. P. 4259.
2. <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov>.
3. Parrish A., deZafra R. L., Solomon P. M., Barrett J. W. // Radio Sci. 1998. V. 23, No. 2. P. 106.
4. Kuntz M., Kopp G., Berg H., et al. // J. Geophys. Res. D. 1999. V. 104, No. 11. P. 13981.
5. Piddyachiy V. I., Shulga V. M., Korolev A. M., Myshenko V. V. // Int. J. Infrared Millimeter Waves. 2005. V. 26, No. 9. P. 1307.
6. Королёв А. М., Шульга В. М. // Радиофизика и радиоастрономия. 2007. Т. 12, № 1. С. 84.
7. Piddyachiy V. I., Korolev A. M., Shulga V. M. // Int. J. Infrared Millimeter Waves. 2005. V. 26, No. 10. P. 1381.
8. Антюфеев А. В., Шульга В. М. // Радиотехника. 2005. № 10. С. 145.
9. Kutner M. L., Ulich B. L. // Astrophys. J. 1981. V. 250, No. 1. P. 341.
10. Forkmam P. M. Ground based measurements of upper atmospheric CO and H₂O using microwave radiometry: Doc. of Philosophy dissertation. Goteborg (Sweden), 2003.
11. Nagahama T., Nakane H., Fujinuma Y., et al. // Earth Planets Space. 1999. V. 51. P. 1287.

Поступила в редакцию 29 июня 2010 г.; принята в печать 21 июля 2010 г.

3-MM WAVE SPECTRORADIOMETER FOR STUDIES OF ATMOSPHERIC TRACE GASES

V. I. Piddyachiy, V. M. Shulga, V. V. Myshenko, A. M. Korolev, A. V. Myshenko, A. V. Antyufeyev, A. V. Poladich, and V. I. Shkodin

We developed a high-sensitivity receiving and measuring complex designed for observations of the ozone O₃ and carbon monoxide CO spectral lines by the method of ground-based remote sensing of the atmosphere in the 90–116 GHz frequency range. The measurement and calibration procedure is described in detail. The results of observations of the O₃ and CO emission lines at frequencies 110.836 and 115.271 GHz, respectively, are presented. The sensitivity level of the receiving and measuring complex, which was implemented in the experiment using a filter-bank analyzer and a Fourier spectrum analyzer is determined.