

Экспериментальные исследования макета 5 мм спектрометра для канала измерения профилей температуры тропосферы комплекса «Микрорадком»

А.Н. Шапошников, В.В. Некрасов, В.И. Криворучко

ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория», 141700, Московская область,
г. Долгопрудный, ул. Первомайская, 3, e-mail: ldz@cao-rhms.ru
ФГУП «Исток», Московская обл., г. Фрязино, ул. Вокзальная, д. 2а, e-mail: krivor@inbox.ru

Представлены результаты лабораторных и натурных испытаний СВЧ спектрометра для измерения профилей температуры тропосферы диапазона 5 мм.

Results of testing of a new 5 mm range microwave spectrometer for tropospheric temperature profiles measurement are presented in the report.

В последние годы достаточно широкое внедрение как в нашей стране так и за рубежом получил разработанный в Центральной аэрологической обсерватории одноканальный сканирующий микроволновый измеритель профилей температуры атмосферного пограничного слоя МТП-5 [1-2]. Однако для задачи мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации необходимо было повысить высоту зондирования до 10 км в безоблачной атмосфере и до 3 ÷ 4 км при наличии облачности, что предполагает использование многоканального спектрометра диапазона длин волн 5 мм [3].

Макетирование 5 мм канала измерения профилей температуры тропосферы проводилось с целью проверки элементной базы, схемотехнических решений, отладки и определения характеристик измерительных каналов, с использованием контрольно-измерительного стенда передаточно-шумовых характеристик МКВ радиометров.

Основной частью канала измерения профилей температуры тропосферы является многоканальный СВЧ приемник (спектрометр), имеющий шесть измерительных каналов с частотами 53,3 ГГц; 53,85 ГГц; 54,4 ГГц; 54,9 ГГц; 55,50 ГГц; 56,6 ГГц. Полоса пропускания частотных каналов – 250 МГц, приведенная чувствительность (при постоянной времени интегрирования 1 с) 0,1 ÷ 0,15 К (по ТЗ на «Микрорадком»). После проверки параметров входных устройств и передаточно-шумовых характеристик шестиканального 5 мм спектрометра был собран макет канала измерения профилей температуры тропосферы. Функциональная схема МКВ-блока представлена на Рис. 1.

МКВ-блок для измерения профилей температуры тропосферы состоит из приемного устройства, которое представляет собой 5 мм спектрометр; низкочастотного блока (БНЧ); вторичного источника питания (ВИП) и термостата.

Сигнал с антенны, в качестве которой используется рупорный облучатель, поступает на вход шестиканального 5 мм спектрометра. На выходе спектрометра формируются напряжения, соответствующие принятым сигналам теплового излучения на каждом измерительном канале в диапазоне частот 53 ÷ 57 ГГц. Блок низкой частоты (БНЧ) представляет собой шестиканальный модуль, предназначенный для синхронного детектирования модулированного сигнала, его накопления и выделения разности сигнала антенны и эталонной согласованной нагрузки на каждом частотном канале.

Модуляционный сигнал для модулятора формируется в первом синхронном детекторе (СД1) БНЧ, частота модуляции ~ 1 кГц. Здесь же формируется сигнал для синхронизации всех синхронных детекторов БНЧ и осуществляется управление нагревательными элементами системы термостатирования. Разностный сигнал с выхода синхронных детекторов (СД1 ÷ СД6) поступает на контроллер.

Низкочастотная часть (НЧ часть) МКВ-блока, к которой относятся: вторичный источник питания (ВИП), схема термостата и схема синхронных детекторов БНЧ, выполнена в виде отдельных плат. Отладка схем и настройка плат НЧ части МКВ-блока проводились с использованием стенда контроля характеристик исполнительных устройств.

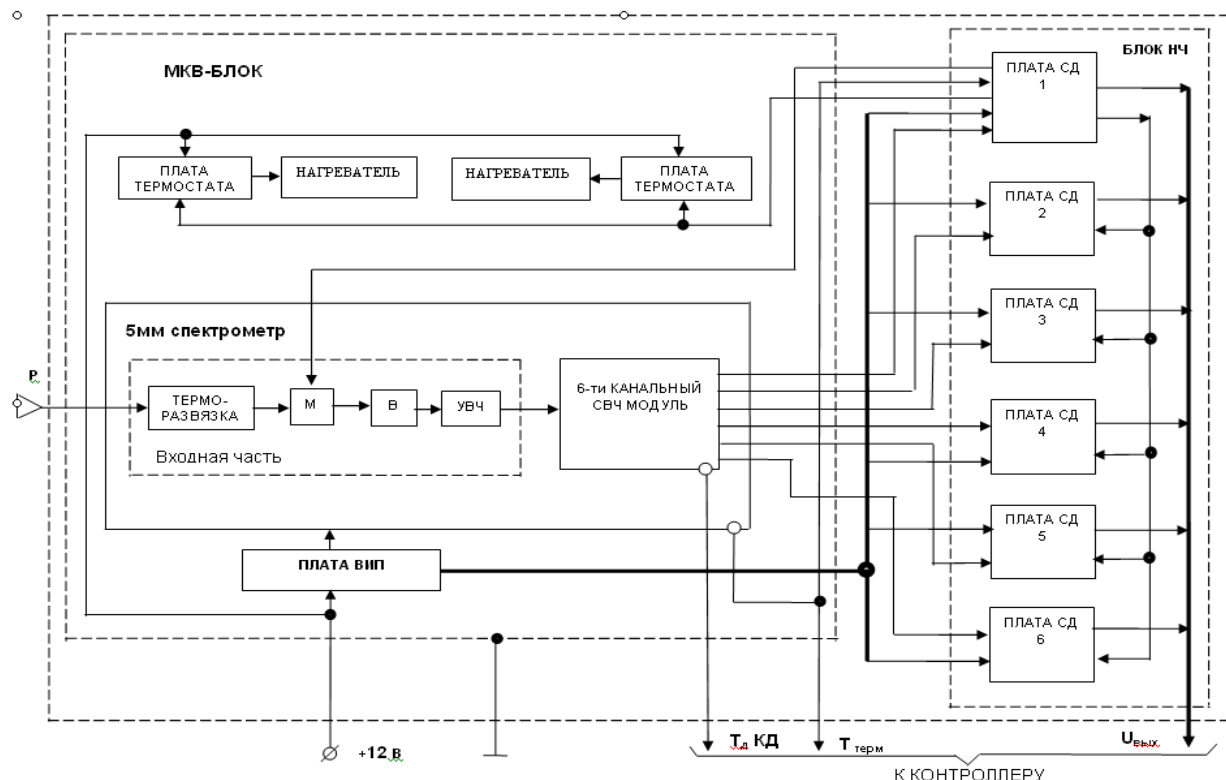


Рис.1. Функциональная схема МКВ-блока

Конструктивно макет МКВ-блока состоит из металлической пластины, на которой монтируются все элементы и устройства 5 мм спектрометра; система термостатирования – две платы термостата в начале и в конце металлической пластины; плата ВИП и шесть плат БНЧ шестиканального синхронного детектора. Общий вид макета МКВ-блока представлен на рисунке 2.

Температура пластины, а следовательно и всех элементов СВЧ-части и НЧ-части МКВ-блока, поддерживается системой термостатирования, исполнительными элементами которой являются два нагревателя, выполненных на мощных полевых транзисторах. Вся конструкция закрыта пеноплексом. На корпусе макета установлены разъемы входных и выходных сигналов. Температура термостата контролируется датчиком ($T_{д \text{ терм}}$) а температура корпуса шестиканального УПЧ+ДЕТЕКТОР датчиком ($T_{д \text{ кд}}$), сигналы которых поступают в контроллер.

Проверка функционирования МКВ-блока, отладка и измерение его параметров проводились на стенде контроля характеристик радиометров в сборе.

МКВ-блок (радиометр) устанавливался на платформе термокамеры стенда. На вход рупора поочередно подавались сигналы от двух широкоапертурных излучателей – источников теплового излучения. Один из них находился при комнатной температуре ($T_1 \approx 300 \text{ K}$), температура другого устанавливалась ниже или выше этого уровня ($T = 260 \div 320 \text{ K}$). Выходные сигналы 6-ти частотных каналов через контроллер по линии

связи поступали на вход персонального компьютера (ПК) с программой «ADC-100» - электронный самописец (см. рисунок 3).

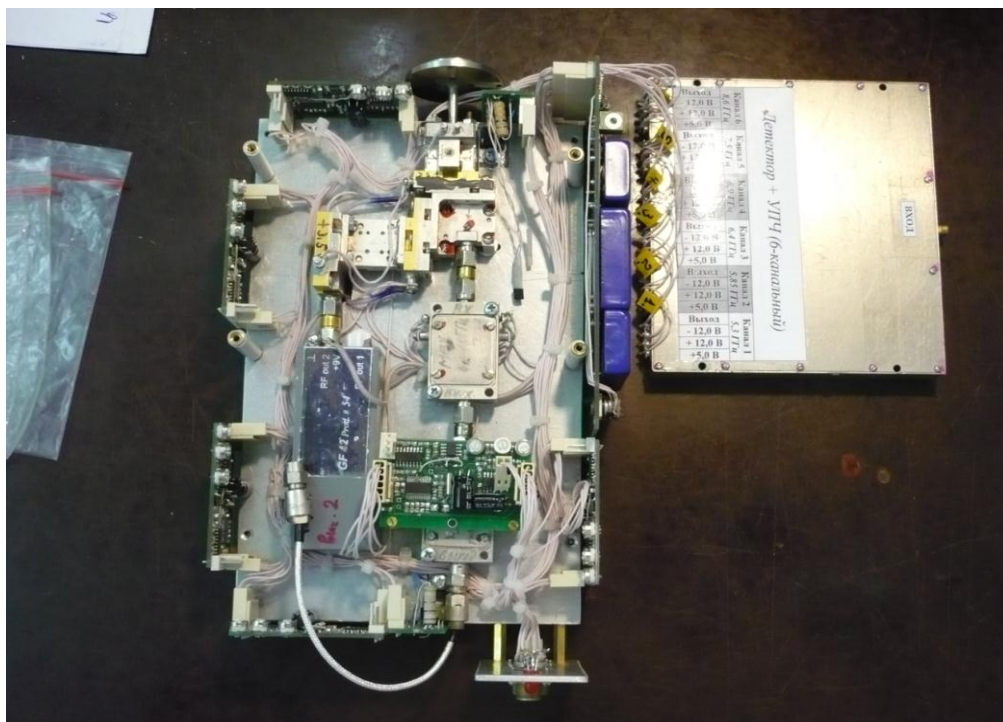


Рис.2. Общий вид макета МКВ-блока



Рис.3. Стенд контроля выходных характеристик МКВ-радиометров

Во время испытаний МКВ-блока проводились измерения флуктуационной чувствительности на каждом частотном канале и стабильности основных характеристик МКВ-блока; испытания при пониженных и повышенных температурах окружающей среды; отработка системы термостатирования и выбор уровня температуры термостатирования. Кроме того, проводился контроль амплитудно-частотной характеристики МКВ-блока с использованием стенда, общий вид которого дан на рисунке 4.



Рис.4. Стенд контроля амплитудно-частотных характеристик МКВ-радиометров

В результате испытаний МКВ-блока (радиометра) для канала измерения профилей температуры тропосферы были определены следующие его технические характеристики:

- 1) Тип радиометра: модуляционный, супергетеродинный.
- 2) Центральная частота и полоса принимаемых частот по уровню минус 3 дБ; на каждом частотном канале:

F1 = 53,31 ГГц	$\Delta F_{-3\text{дБ}} = 300 \text{ МГц}$
F2 = 53,95 ГГц	$\Delta F_{-3\text{дБ}} = 370 \text{ МГц}$
F3 = 54,48 ГГц	$\Delta F_{-3\text{дБ}} = 400 \text{ МГц}$
F4 = 55,01 ГГц	$\Delta F_{-3\text{дБ}} = 320 \text{ МГц}$
F5 = 55,74 ГГц	$\Delta F_{-3\text{дБ}} = 330 \text{ МГц}$
F6 = 56,75 ГГц	$\Delta F_{-3\text{дБ}} = 260 \text{ МГц}$

- 3) Частота модуляции ~ 1 кГц.
- 4) Температура термостата +40 °С.
- 5) Постоянная времени интегрирования сигнала радиометра 1 с.
- 6) Флуктуационная чувствительность при постоянной времени 1 с на каждом частотном канале:

F1 = 53,31 ГГц	$\Delta T_{-3\text{дБ}} = 0,08 \text{ К}$
F2 = 53,95 ГГц	$\Delta T_{-3\text{дБ}} = 0,12 \text{ К}$
F3 = 54,48 ГГц	$\Delta T_{-3\text{дБ}} = 0,15 \text{ К}$
F4 = 55,01 ГГц	$\Delta T_{-3\text{дБ}} = 0,13 \text{ К}$
F5 = 55,74 ГГц	$\Delta T_{-3\text{дБ}} = 0,13 \text{ К}$
F6 = 56,75 ГГц	$\Delta T_{-3\text{дБ}} = 0,12 \text{ К}$

- 7) Диапазон измеряемых температур 220 ÷ 320 К.
- 8) Диапазон внешней температуры от минус 5 °С до +40 °С.

В настоящее время проводятся испытания макета по реальной атмосфере. С этой целью макет был установлен в помещении метеовышки Лаборатории дистанционного зондирования ФГБУ «ЦАО» (см. рисунок 5).



Рис.5. Натурные испытания макета 5 мм спектрометра по реальной атмосфере

В качестве антенны используется рупор с диаграммой направленности $\approx 6^\circ$. Дистанционное зондирование атмосферы под углом 90° (в «зенит») осуществляется через радиопрозрачное окно и плоский металлический отражатель, установленный под углом 45° от горизонта за окном. При этом используется система сбора данных и управления, т.е. контроллер, предназначенный для преобразования аналоговых сигналов на выходе многоканального МКВ-блока, внутренних и внешнего температурных датчиков в цифровой код, а также для обеспечения связи и обмена данными с персональным компьютером по линии связи. Компьютер выполняет регистрацию и цифровую обработку результатов измерений по специально разработанным для этой цели программам, данные дистанционного зондирования выдаются в виде таблиц и графиков.

Литература

1. Kadygrov E.N. Operational aspects of different ground-based remote sensing observing techniques for vertical profiling of temperature, wind, humidity and cloud structure: a review./ WMO,2006, IOM Report N 89, WMO/TD N 1309, Geneva, Switzerland, P. 1-34.
2. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя-метод, аппаратура, результаты измерений.// Оптика атмосферы и океана, 2009, т.22, № 7, с.697-704
3. Троицкий А.В. Дистанционное определение температуры атмосферы из спектральных радиометрических измерений в линии λ 5 мм // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 1986. Т. 29. № 8. С. 878.