

Спутниковый микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ

**В.В. Болдырев, Н.Н. Горобец, П.А. Ильгасов, О.В. Никитин,
В.Ю. Панцов, Ю.Н. Прохоров, Н.И. Стрельников, А.М. Стрельцов,
И.В. Черный, Г.М. Чернявский, В.В. Яковлев**

*Научно-технологический центр космического мониторинга Земли
филиал ФГУП «РНИИ КП»
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
Email: icherny@cpi.space.ru*

Микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ разработан для космического аппарата "Метеор-М", запуск которого намечен на 2008 год, и предназначен для температурно-влажностного профилирования атмосферы, зондирования океана и суши. МТВЗА-ГЯ является модификацией приборов МТВЗА [1] КА «Метеор-3М» (запуск - 10 декабря 2001 г.) и МТВЗА-ОК [2, 3] КА «Сич-1М» (запуск – 24 декабря 2004 г.) и соответствует зарубежным аналогам – зондировщикам AMSU-A, -B, установленных на спутниках серии NOAA и сканеру/зондировщику SSMIS спутника DMSP-F16 [4].

Прибор МТВЗА-ГЯ назван в память о выдающемся конструкторе космических приборов **Г.Я. Гуськове** (1919-2002 гг., Москва), который стоял у истоков развития нового направления в области микроволнового зондирования Земли [5].

Основные технические характеристики МТВЗА-ГЯ приведены в таблице 1, на рис. 1 – фотография прибора.

Радиометрические каналы сканера МТВЗА-ГЯ включает рабочие частоты в окнах прозрачности атмосферы 10,6, 18,7; 23,8; 31,5; 36,7; 42; 48 и 91 ГГц, а зондировщика в линиях поглощения кислорода 52-57 ГГц и водяного пара 183 ГГц.

Приемники СВЧ-излучения в диапазоне частот 10-48 ГГц являются радиометрами компенсационного типа, построенными по схеме прямого усиления на базе МШУ. Приемники в диапазоне частот 52-57 ГГц, 91 ГГц и 183 ГГц являются радиометрами компенсационного типа, построенными по супергетеродинной схеме. Параметры радиометрических каналов МТВЗА-ГЯ приведены в таблице 2.

Таблица 1. Технические характеристики МТВЗА-ГЯ

<i>Параметры</i>	<i>МТВЗА-ГЯ</i>
Диапазон	10,6; 18,7; 23,8 31,5; 36,7; 42; 48 <u>52-57, 91, 183,31</u> ГГц
Пространственное разрешение:	
- по горизонтали;	16-198 км
- по вертикали.	1,5-7 км
Полоса обзора	1500 км
Сканирование	коническое
Режим работы	непрерывный
Период сканирования	2,5 с
Поток данных	35 Кбит/с
Объем ЗУ	1 Гбайт
Масса, не более	94 кг
Потребление, не более	80 Вт

Антенная система МТВЗА-ГЯ представляет собой однозеркальную антенну с боковым облучением параболического зеркала апертурой 0,65 м. Групповой многочастотный антенный облучатель, включает четыре рупора, каждый из которых оптимизирован в диапазоне 10,6-23,8 ГГц, 31,5-48 ГГц, 52-91 ГГц и 183 ГГц [6].

Параметры орбиты спутника "Метеор-М":

- средняя высота солнечно-синхронной орбиты 830 км;
- период обращения 101,3 мин;
- наклонение 98,068 угл. град.;
- эксцентриситет 0,00115.

Информационные характеристики МТВЗА-ГЯ, приведенные к орбите спутника представлены в таблице 3.

Схема кругового конического сканирования МТВЗА-ГЯ построена таким образом (рис. 3), что визирование производится в направлении кормы КА. Направление скана - слева направо с рабочим сектором 105° (от -90° до 15° относительно трассы спутника), что обеспечивает полосу обзора 1500 км. Угол визирования составляет $53,3^\circ$, а угол падения 65° .

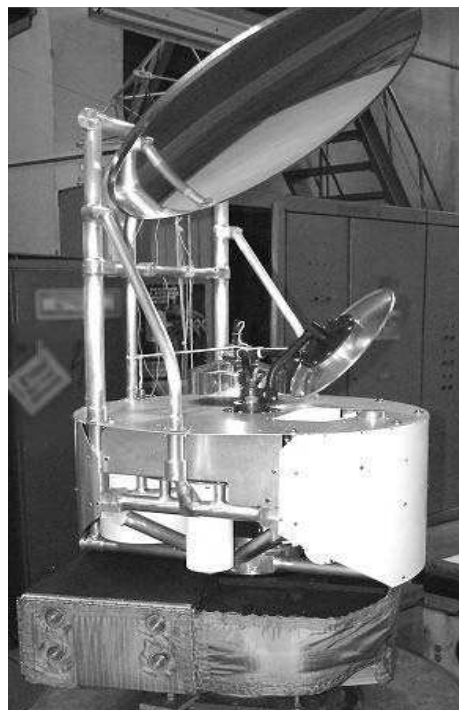


Рис. 1. Микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ

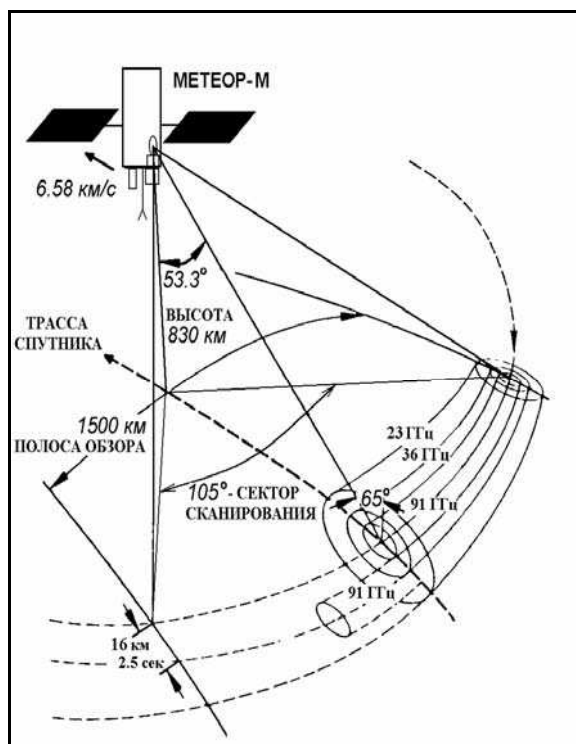


Рис. 2. Геометрия наблюдения МТВЗА-ГЯ с орбиты КА «Метеор-М»

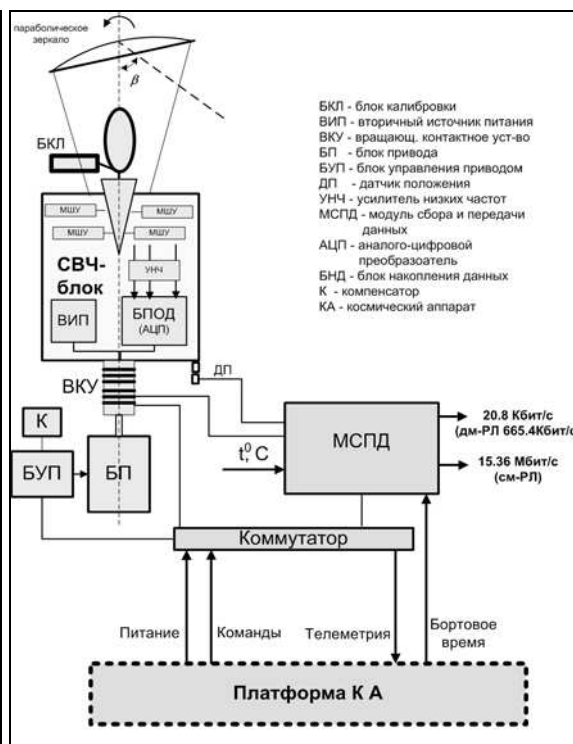


Рис. 3. Функциональная схема МТВЗА-ГЯ

Таблица 2. Параметры радиометрических каналов МТВЗА-ГЯ

№ канала	Центральная частота, ГГц	Кол-во полос	Ширина полосы, МГц	Чувствительность не хуже, К ($\tau=1$ сек)	Поляризация	Тип приемника
1	10.6	1	100	0.06	В	ППУ
2	10.6	1	100	0.06	Г	ППУ
3	18.7	1	200	0.05	В	ППУ
4	18.7	1	200	0.05	Г	ППУ
5	23.8	1	400	0.04	В	ППУ
6	23.8	1	400	0.04	Г	ППУ
7	31.5	1	1000	0.05	В	ППУ
8	31.5	1	1000	0.05	Г	ППУ
9	36.7	1	1000	0.06	В	ППУ
10	36.7	1	1000	0.06	Г	ППУ
11	42	1	1000	0.07	В	ППУ
12	42	1	1000	0.07	Г	ППУ
13	48	1	1000	0.07	В	ППУ
14	48	1	1000	0.07	Г	ППУ
15	52.80	1	400	0.08	В	СГП
16	53.30	1	400	0.08	В	
17	53.80	1	400	0.08	В	
18	54.64	1	400	0.08	В	
19	55.63	1	400	0.08	В	
20	57.290344±0.3222±0.1	4	50	0.12	Г	СГП
21	57.290344±0.3222±0.05	4	20	0.2	Г	
22	57.290344±0.3222±0.025	4	10	0.3	Г	
23	57.290344±0.3222±0.01	4	5	0.45	Г	
24	57.290344±0.3222±0.005	4	3	0.5	Г	
25	91.655	2	2500	0.04	В	СГП
26	91.655	2	2500	0.04	Г	СГП
27	183.31 ± 7.0	2	1500	0.08	В	СГП
28	183.31 ± 3.0	2	1000	0.1	В	
29	183.31 ± 1.0	2	500	0.15	В	

В – вертикальная поляризация, Г – горизонтальная поляризация,
 ППУ – приемник прямого усиления, СГП – супергетеродинный приемник.

Несимметричность сектора сканирования связана с максимальной реализацией поля незатенения элементами конструкции КА. Для данной высоты орбиты существует потенциальная возможность реализовать полосу обзора для прибора МТВЗА-ГЯ не менее 2000 км.

За период сканирования 2,5 с перемещение нормали спутника составит 16 км, что сравнимо с элементом пространственного разрешения микроволнового радиометра в каналах 91 ГГц и 183 ГГц. Поэтому масштаб 16 км выбран в качестве пространственного элемента квантования сигнала (для всех радиометрических каналов) как вдоль трасы движения спутника, так и вдоль направления сканирования. Дальнейшая процедура пространственного усреднения (сглаживания) в отдельных радиометриче-

ских каналах производится на этапе предварительной обработки данных в наземных условиях (см. табл. 3).

Таблица 3. Информационные характеристики СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ приведенные к орбите КА "Метеор-М" (высота 830 км)

Рабочая частота (ГГц)	Пространственное разрешение (кМхкМ)	Пиксель изображения (кМхкМ)	Чувствительность не хуже (К/пиксель)	Высота максимума весовой функции (км)
10.6	89x198	32x32	0.5	-
18.7	52x116	32x32	0.4	-
23.8	42x94	32x32	0.3	-
31.5	35x76	32x32	0.3	-
36.7	30x67	32x32	0.3	-
42	26x60	32x32	0.4	-
48	24x43	32x32	0.4	-
52.80	21x48	48x48	0.4	2
53.30	21x48	48x48	0.4	4
53.80	21x48	48x48	0.4	6
54.64	21x48	48x48	0.4	10
55.63	21x48	48x48	0.4	14
57.290344±0.3222±0.1	21x48	48x48	0.4	20
57.290344±0.3222±0.05	21x48	48x48	0.7	25
57.290344±0.3222±0.025	21x48	48x48	0.9	29
57.290344±0.3222±0.01	21x48	48x48	1.3	35
57.290344±0.3222±0.005	21x48	48x48	1.7	42
91.655	14x30	16x16	0.6	Поверхность
183.31 ± 7.0	9x21	32x32	0.5	1.5
183.31 ± 3.0	9x21	32x32	0.6	2.9
183.31 ± 1.0	9x21	32x32	0.8	5.3

Внутренняя калибровка радиометрических каналов МТВЗА-ГЯ с целью определения шкалы антенных температур, проводится на каждом скане вне зоны рабочего сектора и основана на измерении излучения эталонного излучателя (абсолютно "черного" тела) находящегося при температуре "окружающей" среды и излучения космического пространства, переотраженного с помощью зеркала в апертуру облучателей.

Функциональная схема прибора приведена на рис. 3. Антенная система и СВЧ-приемники, размещаются на сканирующей платформе. Оптические оси антенных лучей радиометрических каналов ориентированы таким образом, что они являются образующими конуса сканирования с углом при вершине $\beta=53,3^\circ$. Расхождение антенных лучей, которое обусловлено применением группового облучателя, находится в пределах углов $\pm 6,5^\circ$. Прецизионное вращение сканирующей платформы осуществляется с помощью блока привода БП и блока управления приводом БУП с нестабильностью не хуже, чем 10^{-4} .

Для компенсации кинетического момента сканирующей платформы используется маховик-компенсатор К.

Подача питания и снятие информации с вращающейся платформы осуществляется с помощью вращающегося контактного устройства ВКУ.

На вращающейся платформе находятся также блоки предварительной обработки данных БПОД, которые входят в состав встраиваемой, распределенной информационно-вычислительной системы (ИВС) микроволнового сканера/зондировщика МТВЗА-ГЯ (см. рис. 4).

ИВС выполняет функции сбора, предварительной обработки, хранения и передачи в радиолинии данных дистанционного зондирования, поступающих от СВЧ-каналов сканера и зондировщика. ИВС включает 4 компьютера (с холодным резервированием), выполненных в про-

мышленном стандарте PC-104 и объединенных сетью RS-485. БПОД построен на базе процессора 386, в блоках модуля сбора и передачи данных МСПД используется процессор 486. Запоминающее устройство построено на флэш-дисках и имеет объем 1 Гбайт.

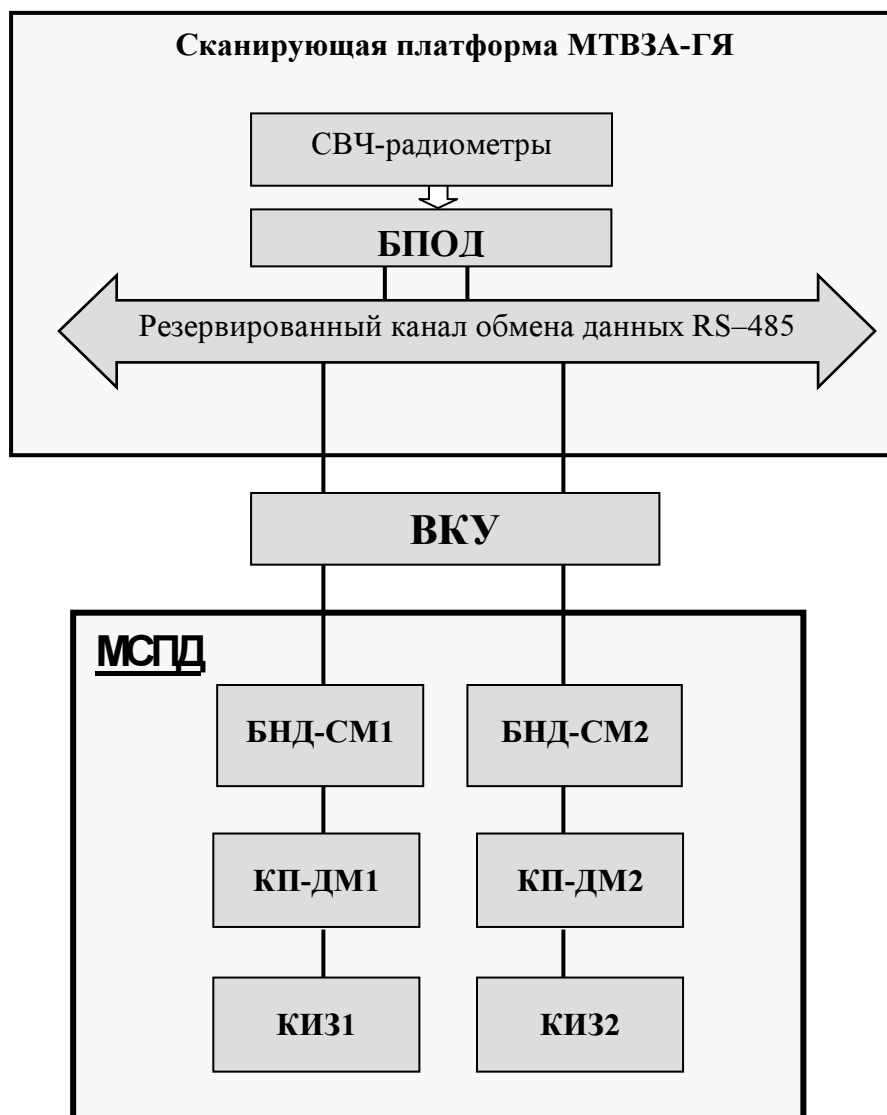


Рис. 4. Блок-схема информационно-вычислительной системы МТВЗА-ГЯ

Сбор информации от СВЧ-каналов осуществляется с помощью БПОД в рабочем секторе скана и в секторе калибровки. Геометрическая привязка измерений к положению секторов производится посредством реперных сигналов сканера. При этом производится предварительная обработка данных, включая юстировку (сведение) антенных лучей для соответствующих каналов с последующей передачей данных в МСПД. Данные от БПОД передаются через резервированный интерфейс RS-485. Синхронизация обмена и арбитраж осуществляется по реперному сигналу от сканера в соответствии с расписанием обмена. Скорость обмена 1,6 Мбод.

Данные от БПОД поступают в блок накопления данных БНД, где осуществляется их запись в ЗУ и подготовка к передаче в см-радиолинию. Одновременно данные поступают в контроллер передачи данных в дм-радиолинию КП-ДМ. Кроме того, в информационный поток как БНД, так и КП-ДМ поступает телеметрическая информация о приборе, которая собирается и формируется с помощью контроллера телеметрических измерений КИЗ.

В аппаратуре МТВЗА-ГЯ предусмотрено два режима сброса информации: непосредственная передача данных со средней скоростью 20,8 Кбит/с (мгновенная скорость 665,4 Кбит/с) через радиолинию 1,7 ГГц в международном стандарте HRPT и сброс глобальной информации из БНД в радиолинию 8,2 ГГц со скоростью 15,36 Мбит/с.

Абсолютная калибровка СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ, связанная с определением шкалы яркостных температур будет проводиться в период летных испытаний с использованием данных наземных подспутниковых измерений.

Литература

1. Черный И.В., Чернявский Г.М., Успенский А.Б., Пегасов В.М. СВЧ-радиометр МТВЗА спутника "Метеор-3М" №1: предварительные результаты летных испытаний // Исследование Земли из космоса, 2003. №6. С.1-15.

2. Наконечный В.П., Панцов В.Ю., Прохоров Ю.Н., Стрельников Н.И., Черный И.В., Чернявский Г.М., Данилов С.Г., Казанцев О.Ю. Оптико-микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ОК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей. М.: ООО "Полиграф сервис", 2004. С. 139-145.

3. Boldyrev V.V., Cherny I.V., Chernyavsky G.M., Danilov S.G., Kazantsev O.Yu., Nakonechny V.P., Pantsov S.Yu., Prokhorov Yu.N., Strelnikov N.I. Optical-Microwave Imager/Sounder MTVZA-OK of Spacecraft "Sich-1M". Proceedings of International Symposium on Remote Sensing of Environment 2005. St.Petersburg, Russia – June, 2005.

4. Kleespies T.J., McMillin L.M. The DMSP Special Sensor Microwave Imager/Sounder. Technical Proceedings of Eleventh International ATOVS Study Conference. Budapest, September, 2000.

5. Гуськов Г.Я., Мусеев С.С., Черный И.В. Вторичные неустойчивости в системе океан-атмосфера и метод микроволновой диагностики природных катастроф. Препринт ИКИ АН СССР, Пр-1762, М.,1991, 34 с.

6. Gorobets N.N., Dakhov V.M., Cherny I.V. Millimeter-Range Multi-Channel Two Polarization Horn Antenna. Third International Symposium "Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves", Kharkov, September, 1998, pp.618-619.