

## **БОРТОВАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

**Михаил Владов<sup>1</sup>, Дмитрий Добров<sup>1</sup>, Георги Сотиров<sup>2</sup>, Румен Недков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL, Comelpro@mail.ru,*

<sup>2</sup>*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: Comelpro@mail.ru,  
rnedkov@space.bas.bg, gsotirov@space.bas.bg*

**Ключевые слова:** бортовой комплекс телеметрии, телеметрическая радиолиния, передатчик, бортовые антенно фидерные устройства.

**Абстракт:** В докладе приведено описание бортовой системы телеметрического контроля летательного аппарата включающего в своем составе бортовой комплекс телеметрии, передающие устройства и бортовые антенно фидерные устройства двух диапазонов

## **ONBOARD SYSTEM OF THE TELEMETERING CONTROL OF THE FLIGHT VEHICLE**

**Michael Vladov<sup>1</sup>, Dmitry Dobrov<sup>1</sup>, Roumen Nedkov<sup>2</sup>, Georgi Sotirov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*SRL «COMELPRO», Cishinev, Comelpro@mail.ru, <sup>2</sup>*

<sup>2</sup>*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: Comelpro@mail.ru,  
rnedkov@space.bas.bg, gsotirov@space.bas.bg*

**Key words:** Onboard complex of telemetry, telemetering radio link, the transmitter, onboard antenna feeder devices.

**Abstract:** In the report the description of onboard system of the telemetry control of a flight vehicle including in the structure an onboard complex of telemetry, sending devices and onboard antenna feeder devices of two ranges is resulted.

Бортовая система телеметрического контроля (БСТК) предназначена для сбора, обработки, запоминания и передачи по 2-м радиолиниям, телеметрической информации на наземные командно- телеметрические станции (НКТС).

БСТК обеспечивает сбор, обработку, запоминание и передачу по 2-х канальной радиолинии на НКТС результатов телеизмерений функциональных медленноменяющихся (ММП) и быстроменяющихся параметров (БМП) и цифровой информации от бортового вычислительного комплекса (БВК) и цифровых датчиков.

Бортовая система телеметрического контроля включает в своем составе следующие устройства: бортовой комплекс телеметрии БКТМ; передающее устройство L - диапазона – прибор ПМ; передающее устройство S - диапазона – прибор ПД; бортовое антенно - фидерное устройство L - диапазона – АФУ- L; бортовое антенно – фидерное устройство S - диапазона – АФУ- S.

Анализ технических требований предъявляемых к бортовой системе телеметрического контроля позволяет определить следующие обобщающие требования к телеметрической системе в целом:

- одновременное измерение многих разнообразных физических величин;
- высокая точность передачи сообщений - относительная погрешность для каналов измерений составляет 0,5% для ММП и 7% для БМП;

- обеспечение одновременной передачи и приема сообщений с разнообразными спектрами (от единиц до десятков тысяч Герц);
- высокий объем и высокая скорость передачи информации - максимальная информативность составляет 1,6 Мбит/с;
- высокие требования к БСТК в связи со специфическими условиями работы изделия на старте, активном участке траектории и в полете;
- информационная гибкость – изменение скорости передачи информации;
- регистрация данных наземными устройствами в форме, удобной для анализа и дальнейшей обработки на ПЭВМ;
- оперативная выдача экспресс - информации об изменении ряда наиболее существенных параметров;
- обработка полного объема информации с помощью ПЭВМ;
- обеспечение автосопровождения изделия.

В основу построения БКТМ положена магистрально-модульная схема сбора и передачи телеметрических измерений с адресным опросом измерительных каналов. Управляющим элементом приборов является «цифровой автомат», расположен в модуле центрального процессора (ЦП), реализован на основе программируемой логической матрицы (ПЛМ) фирмы "Altera". Модуль ЦП обеспечивает:

- сбор информации от всех измерительных каналов по одной из программ, находящейся в ПЗУ;
- формирование внутреннего и внешнего кадра БКТМ;
- формирование ряда служебных команд для управления другими устройствами прибора;
- управление ПЗУ, определяющим последовательность и частоты опроса измерительных каналов;
- управление ОЗУ, обеспечивающим формирование задержанной информации;
- обмен сигналами с бортовым вычислительным комплексом (БВК).

Работу БСТК осуществляется, смотри рис.1, следующим образом:

На входы прибора БКТМ поступают сигналы от телеметрических датчиков в соответствии с программой телеметрических измерений. БКТМ осуществляет сбор, обработку, запоминание и передачу по 2-м радиоканалам телеметрической информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов. Два выхода БКТМ используются для выдачи видеосигнала телеметрической информации (ТМИ) на передающие устройства метрового (ПМ) и дециметрового (ПД) диапазона волн, третий выход предназначен для выдачи видеосигнала ТМИ на контрольно-проверочную аппаратуру (КПА). Прибор ПМ осуществляет передачу телеметрической информации в L – диапазоне на одной из следующих частот 390 МГц, 395 МГц, 400 МГц. Прибор ПД осуществляет передачу телеметрической информации в S – диапазоне на частоте 2257,5 МГц.

Высокочастотный модуль (ВЧ) прибора ПМ обеспечивает преобразование модулирующего видеосигнала в квадратурный фазоманипулированный QPSK ВЧ сигнал. Модуль СВЧ прибора ПД обеспечивает преобразование модулирующего видеосигнала в квадратурный фазоманипулированный QPSK СВЧ сигнал. Модули питания обеспечивают выдачу необходимых напряжений для модуля ВЧ и модуля СВЧ приборов ПМ и ПД соответственно. Приборы ПМ и ПД обеспечивают выполнение внешней команды "Выключение генерации", при этом мощность несущей выходного сигнала становится равной 0. Выходные сигналы приборов ПМ и ПД поступают на бортовые антенно-фидерные устройства L и S диапазонов соответственно. Бортовые антенно-фидерные устройства L и S диапазонов предназначены для излучения сигналов на наземные командно-телеметрические станции.

Прибор БКТМ обеспечивает:

- сбор и преобразование сигналов от датчиков физических величин;
- сбор и преобразование сигналов от схемных датчиков;
- дискретизацию входных измерительных сигналов и их временное уплотнение;
- формирование сигналов служебной информации для синхронизации работы НКТС;
- формирование кода бортового времени;
- формирование полного выходного кадра (видеосигнала), выдачу его одновременно на два передатчика и на контрольный выход;
- запись регистрируемой ТМИ в оперативное запоминающее устройство с возможностью ее последующего воспроизведения через заданный интервал времени – 20 секунд и объединения с непосредственно передаваемой ТМИ в выходном кадре;
- питание отдельной датчиковой аппаратуры, подключенной к входам БКТМ;
- прием и обработку внешних управляющих сигналов;

- обмен сигналами с бортовым вычислительным комплексом (БВК).

Прибор БКТМ обеспечивает телеметрирование параметров, указанных в программе телеизмерений, в том числе:

- аналоговых непрерывных параметров (АНП) - 9 каналов с частотой опроса 128 Гц и 3 канала с частотой опроса 2048 Гц. Максимальная амплитуда входного сигнала  $\pm 2,5$  В; быстроменяющихся параметров (БМП) - 4 канала с частотой опроса 2048 Гц.
- максимальная амплитуда входного сигнала  $\pm 2,5$  В;

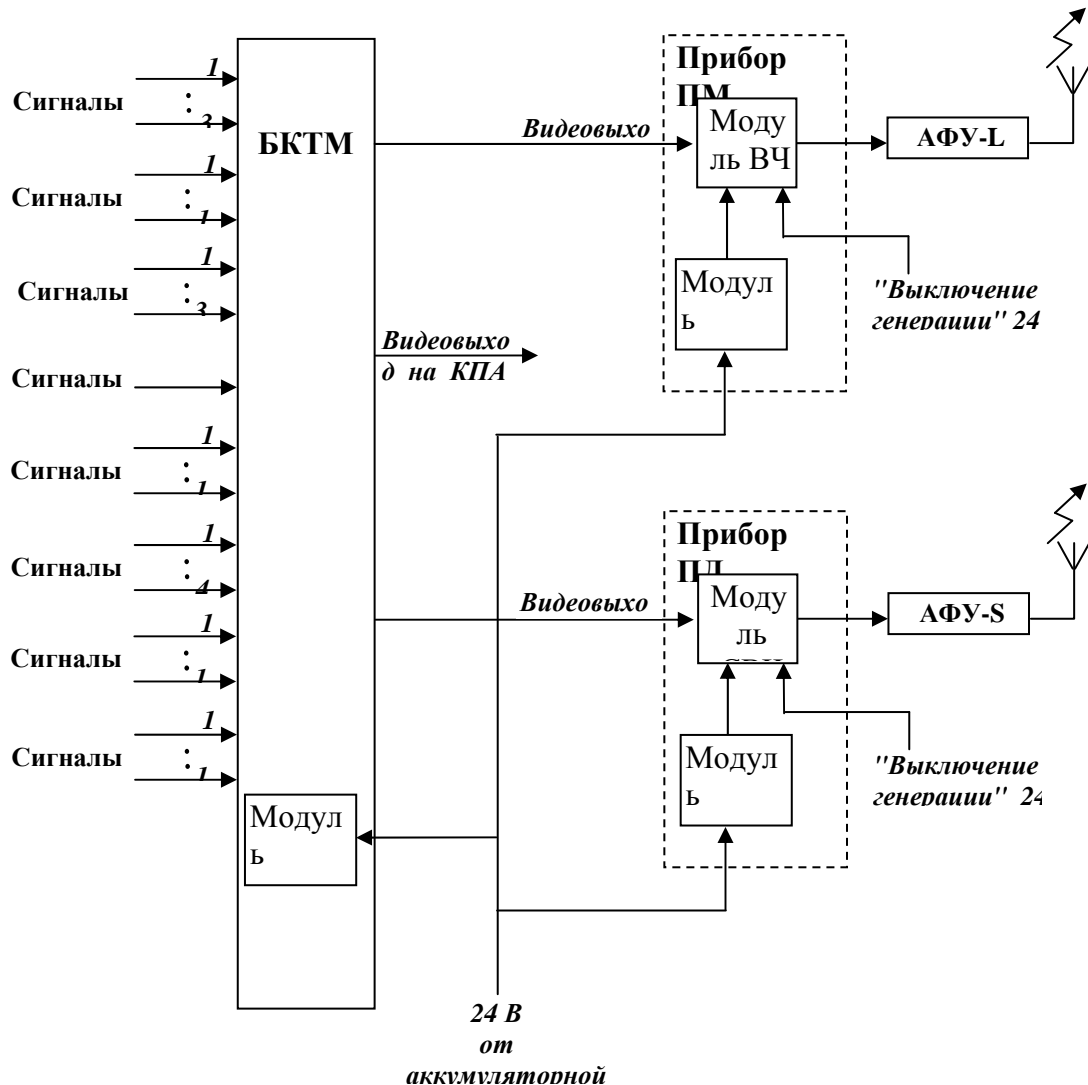


Рис. 1. Структурная схема БСТК

- аналоговых параметров по изолированным каналам (ИЗК) - 3 канала с частотой опроса 128 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала  $\pm 30$  В, 4 канала с частотой опроса 512 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала  $\pm 2,5$  В, 4 канала с частотой опроса 512 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала  $\pm 10$  В;

- релейных сигнальных параметров (РСП) - 16 каналов с частотой опроса 32 Гц.
- максимальная амплитуда входного сигнала  $\pm 30$  В;
- однобитных параметров (ОБП) - 12 каналов с частотой опроса 1024 Гц. Уровни входного сигнала – TTL;
- цифровых параметров (ЦВП) - 3 канала с частотой опроса 16384 Гц, уровни входного сигнала – TTL;
- сигналов от бесплатформенной инерциальной системы (БИНС) - 32 канала с частотой опроса 2048 Гц. Уровни входного сигнала – TTL;
- сигналов от спутниковой навигационной системы (СНС) по интерфейсу NMEA 0183 - один 7-и разрядный канал с частотой опроса 512 Гц

Блок БКТМ (см. рис.2) состоит из модулей сбора и преобразования телеметрических измерений и модуля питания.

Модули состоят из унифицированного каркаса прямоугольной формы, к которому с помощью винтов крепится печатная плата. Для обеспечения теплового режима модуля электрорадиоэлементы, выделяющие наибольшее количество тепла, устанавливаются на теплопроводящую шину расположенную на печатной плате и плотно прилегающую к каркасу модуля. Через разъемы к блоку подключаются кабели от первичных датчиков и преобразователей. Межмодульная коммутация в блоке осуществляется с помощью разъемов, установленных на печатной плате. Механическое соединение модулей осуществляется между собой с помощью винтов. Блок должен устанавливаться на металлическую плиту, выполняющую роль радиатора.

Масса прибора - не более 3,5 кг;

Габаритные размеры - 227 x 48 x 131 мм

Установочная площадь не более –  $3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ .

Структура выходного кадра БКТМ.

Используется фиксированный формат, который в течение передачи не имеет перестановок последовательностей, изменений в структуре кадра, длине или расположении слова и интервале выборки измеряемой величины. В кадре присутствуют как слова данных, так и служебные слова. Длина любого слова составляет 12 бит. Старший бит имеет номер 11. Далее в пределах слова биты нумеруются последовательно в сторону уменьшения значения разряда.



Рис. 2. Внешний вид бортового комплекса телеметрии БКТМ

Данные с выхода БКТМ передаются в формате IRIG 106-96, класс I.

Служебные слова и слова данных объединяются в младшие кадры. Младший кадр определяется как структура данных от начала комбинации синхронизации младшего кадра до начала комбинации синхронизации следующего младшего кадра рис. 3.

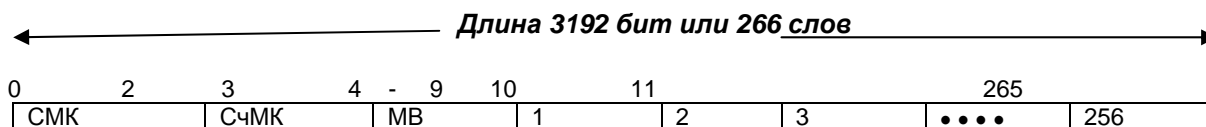


Рис. 3. Структура младшего кадра

СМК – синхронизатор младшего кадра (3 слова);

СчМК – счетчик младших кадров (1 слово);

МВ – метка времени (6 слов);

1...256 – слова данных.

В состав младшего кадра входят:

- синхронизирующая последовательность (0...2-е слова),
- счетчик младших кадров (3-е слово),
- метка времени (4-е...9-е слова),
- слова данных (10-е.....265-е слова).

Слова в пределах младшего кадра нумеруются слева направо от 0 до 265. Синхронизирующая последовательность состоит из трех фиксированных слов.

Счетчик младших кадров представляет собой счетчик, обеспечивающий естественный двоичный счет, соответствующий номеру младшего кадра в пределах старшего кадра.

После достижения максимального значения, СЧМК устанавливается в начальное состояние.

Метка времени представлена 3-я словами времени, каждое из которых состоит из двух 12-и разрядных слов младшего кадра. Всего метка времени занимает 6 слов младшего кадра. Слова времени обозначены как "старший разряд", "младший разряд" и "микросекунда". Слово времени "микросекунда" имеет разрешающую способность 1 микросекунду. Слово времени "младший разряд" имеет разрешающую способность 10 миллисекунд. Так же в этом слове передаются разряды, кратные значениям 0,1 секунды, 1 секунда, 10 секунд. Данные в "младшем разряде" передаются в двоично-десятичной форме.

Младшие кадры объединяются в старшие кадры. Количество младших кадров в старшем кадре зависит от информативности БКТМ (табл.1).

Таблица 1

Информативность изм. слов/сек	Количество младших кадров в старшем кадре
131072	128
65536	64
32768	32
16384	16

Первый младший кадр в старшем кадре должен иметь номер "ноль". Каждый последующий младший кадр должен нумероваться последовательно в пределах старшего кадра. Для любой информативности длительность старшего кадра равна 0,25 секунды.

Скорость передачи служебной информации определяется по формуле

$$V_{\text{изм}} = 4 * N_{\text{слж}} * N_{\text{мк}},$$

где,

$N_{\text{слж}}$  – количество служебных слов в младшем кадре;

$N_{\text{мк}}$  – количество младших кадров в старшем кадре.

Для информативности

$$V_{\text{изм}} = 4 * 10 * 128 = 5120$$

находим информативность БКТМ

$$I = (5120 + 131072) * 12 = 1634304 \text{ бит/с.}$$

### Прибор ПД (S-TMTR)

Назначение

Прибор ПД предназначен для передачи на несущей частоте информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов.

Основное назначение прибора – работа в составе бортовой системы телеметрического контроля. Внешний вид прибора ПД показан на рис.4.

Основные технические характеристики прибора ПД

1. Частота несущей сигнала -  $2257,5 \pm 0,045$  МГц.  
2. Отклонения несущей частоты сигнала от номинального значения - не более  $\pm 0,002\%$ .

3. Прибор выдаёт в нагрузку с сопротивлением  $R_{\text{н}}=50$  Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции - QPSK.

4. Прибор обеспечивает требуемые параметры при коэффициенте стоячей волны и напряжения в нагрузке (КСВН) не более 1,54 и сохраняет работоспособность при работоспособность при КСВН не более 2,5.

5. Мощность выходного сигнала прибора  $(10 \pm 2)$  Вт и  $(5 \pm 1)$  Вт. Варианты исполнения прибора предусматривают несущую частоту сигнала (F), мощность и индекс информативности потока в соответствии с шифром.

6. Напряжение внешнего источника питания постоянного тока прибора  $- 24_{-2}^{+4}$  В.

7. Ток, потребляемый прибором от источника питания  $(24_{-2}^{+4})$  В – не более 3 А.

8. Мощность, потребляемая от источника питания  $(24_{-2}^{+4})$  В - не более 72 Вт.

9. Уровень побочных излучений относительно уровня немодулированной несущей сигнала не более:

- при мощности прибора  $P=5$  Вт (минус 62 дБ);
- при мощности прибора  $P=10$  Вт (минус 65 дБ), что соответствует уровню излучений не более минус 25 дБ.

11. Выключение излучения прибора осуществляется соединением между собой цепей «Off Gen +» и «Off Gen –»

12. Прибор соответствует требованиям не более чем через 20 с после подачи на него питания и входных сигналов.

13. Масса прибора - не более  $(2,2 \pm 0,2)$  кг.

14. Объем прибора - не более  $1,8$  дм<sup>3</sup>.

15. Габаритные размеры прибора -  $(192 \times 159,5 \times 58,5)$  мм.

17. Прибор соответствует заданным требованиям при непрерывной работе в течение двух часов при условии его установки на теплоотводящую поверхность, обеспечивающую температуру перегрева корпуса прибора не более  $15 \pm 5$ °С.



Рис. 4. Внешний вид прибора ПД

### Прибор ПМ 1 (L-TMTR)

#### Назначение

Прибор ПМ 1 предназначен для передачи на несущей частоте информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов. Внешний вид прибора ПМ показан на рис.5.

Основное назначение – работа в составе бортовой системы телеметрического контроля.

Основные технические характеристики прибора ПМ

1. Масса прибора ПМ - не более 1,2 кг.
2. Объем прибора ПМ1- не более  $0,73$  дм<sup>3</sup>.
3. Габаритные размеры прибора ПМ1 -  $(135 \times 135 \times 40)$  мм.
4. Прибор выдает в нагрузку  $R_{н}=50$  Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции - QPSK.

5. Прибор обеспечивает требуемые параметры при коэффициенте стоячей волны и напряжения в нагрузке (КСВН) не более 1,4 и сохраняет работоспособность при КСВН не более 2,5.

6. Мощность выходного сигнала прибора ПМ  $(5\pm 1)$  Вт или  $(10\pm 2)$  Вт.

7. Отклонения частоты сигнала от номинального значения - не более  $\pm 0,002\%$ .

8. Напряжение внешней питающей сети постоянного тока составляет от 22 до 28 В.

9. Масса прибора ПМ - не более 1,2 кг.

10. Объем прибора ПМ1 - не более  $0,73 \text{ дм}^3$ .

11. Габаритные размеры прибора ПМ1 -  $(135 \times 135 \times 40)$  мм.

12. Прибор выдает в нагрузку  $R_n=50$  Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции - QPSK.

13. Прибор обеспечивает требуемые параметры при КСВН не более 1,4 и сохраняет работоспособность при КСВН не более 2,5.

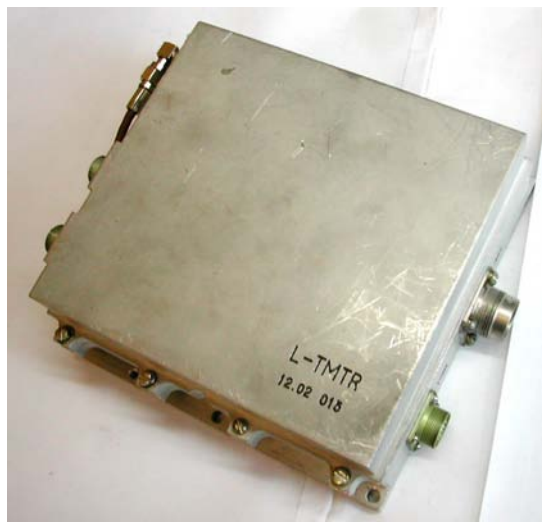


Рис. 5. Внешний вид прибора ПМ

14. Мощность выходного сигнала прибора ПМ  $(5\pm 1)$  Вт или  $(10\pm 2)$  Вт.

15. Отклонения частоты сигнала от номинального значения - не более  $\pm 0,002\%$ .

16. Напряжение внешней питающей сети постоянного тока составляет от 22 до 28 В.

17. Ток, потребляемый прибором от источника питания от 22 до 28 В - не более 2 А.

18. Мощность, потребляемая источником питания - не более 48 Вт.

19. Уровень побочных излучений относительно уровня немодулированной несущей сигнала не более:

- при мощности передатчика  $P=5$  Вт (минус 62 дБ);
- при мощности передатчика  $P=10$  Вт (минус 65 дБ), что соответствует уровню излучений не более минус 25 дБмВт.

20. 99% мощности выходного сигнала сосредоточено в пределах полосы  $9,65 F_B$  ( $F_B$ - скорость передачи).

21. Выключение излучения прибора осуществляется соединением сигнала "Off Gen" с минус 24 В.

### Бортовые антенно-фидерные устройства

Бортовые антенно-фидерные устройства L- и S-диапазонов, рис.6 и рис.7, предназначены для преобразования электрических сигналов бортовых передатчиков ПМ и ПД в электромагнитное поле, излучаемое в эфир.

#### Технические данные

Полоса рабочих частот:

- $(385\div 405)$  МГц для L-диапазона;
- $(2257,5\pm 3,5)$  МГц для S-диапазона.

Волновое сопротивление - 50 Ом.

Коэффициент бегущей волны (КБВН) - не менее 0,75.

Коэффициент полезного действия - не менее 0,8.

Устойчивость к механическим и климатическим внешним воздействиям:

- вибрации ( $10 \div 2500$ ) Гц;
- линейные перегрузки до 12 g;
- удары, продолжительностью до 10 мс с ускорением до 20g;
- окружающая температура от минус 40 °С до плюс 55 °С;
- атмосферное давление ( $1 \cdot 10^{-6} \div 1600$ ) мм рт. ст.

Масса:

- ( $0,4 \pm 0,05$ ) кг для антенны L-диапазона;
- ( $1,0 \pm 0,1$ ) кг с согласующим устройством и кабелями с разъемами для антенны S-диапазона.

Излучение радиосигналов – направленное.

Вероятность безотказной работы - 0,999.



Рис. 6. Внешний вид антенны L-диапазона

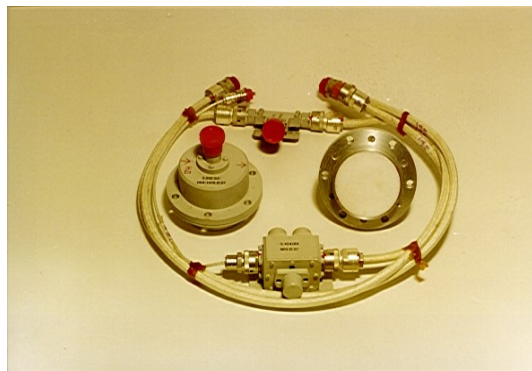


Рис. 7. Внешний вид антенны S-диапазона

#### Литература:

1. Назаров, А. В., Г. И. Козырев, И. В. Шитов и др. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс - Санкт-Петербург. Наука и техника, 2007.- 672 с.