



КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СБОРА ПРИРОДОРЕСУРСНЫХ ДАННЫХ С НАЗЕМНЫХ ПЛАТФОРМ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ «КУРС»

Арнольд Селиванов, Владислав Рогальский, Николай Дедов

Статья написана по итогам демонстрационных испытаний системы «КУРС».

Космическая система «Курс» предназначена для сбора метеорологической и экологической информации с неподвижных и движущихся платформ с одновременным определением их местоположения в любой точке земного шара.

Первый ИСЗ системы «Курс» был запущен 5 июля 1995 года на круговую околополярную орбиту с космодрома Плесецк. Орбита ИСЗ «Космос-2315» имеет высоту 1000 км и угол наклонения к плоскости экватора $\sim 82^\circ$. В 1995 году были успешно завершены летные испытания ИСЗ, а в течение 1996 года система «Курс» обеспечивала демонстрационные испытания с участием целого ряда заинтересованных федеральных организаций, в том числе и в совместном эксперименте РКА и CNES (Франция) по определению местоположения объектов, перевозящих особо опасные грузы по территории Европы. Франция использовала космическую систему ARGOS, обладающую такими же возможностями, как и система «Курс».

Разработку системы «Курс» и её функционирование финансирует Российское космическое агентство (РКА).

Система «Курс» состоит из космической и наземной частей (рис. 1). В космическую часть входят ИСЗ с бортовой приемно-передающей аппаратурой. В на-

стоящее время в системе используется один ИСЗ, в 1998 году планируется запуск второго ИСЗ с бортовым приемником-процессором второго поколения.

В наземную часть входят станции приема и обработки информации (СПОИ), региональные центры (РЦ), диспетчерский центр потребителя (ДЦП).

АППАРАТУРА ПОТРЕБИТЕЛЯ

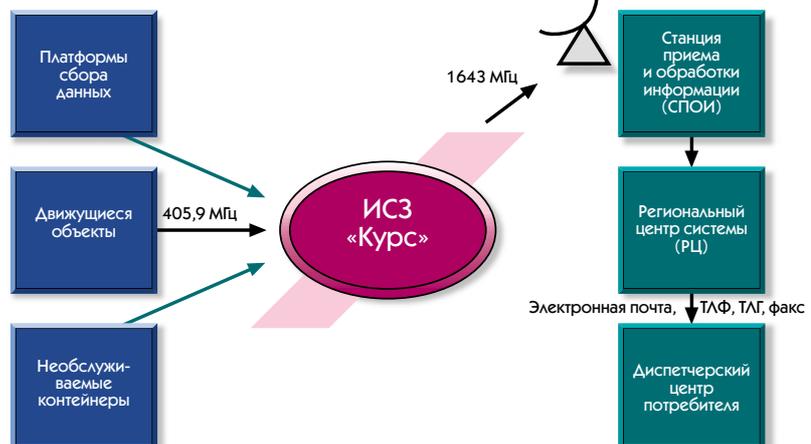


Рис. 1. Состав системы «Курс»

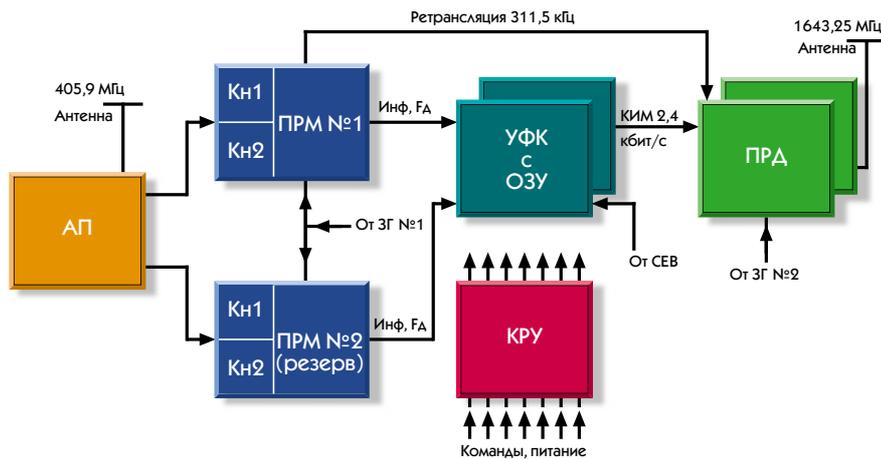


Рис. 2. Структурная схема БРК ИСЗ «Курс» («Космос-2315»)

Условные обозначения:

АП – антенный переключатель,
БРК – бортовой радиокomплекс,
ЗГ – задающий генератор,
КИМ – кодовая импульсная модуляция,
Кн – канал приема,
КРУ – командно-распределительное устройство,

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство,
ПРА – передатчик,
ПРМ – приемник,
СЕВ – система единого времени,
УФК – устройство формирования кадра

совмещенные территориально со СПОИ, и аппаратура потребителя (АП).

Бортовой приемник-процессор (рис. 2) в течение сеанса связи АП с ИСЗ длительностью от 3 до 15 минут принимает от 4 до 16 посылок от АП. Он выделяет цифровые данные, измеряет доплеровский сдвиг частоты с точностью до 0,3 Гц для каждой посылки и обеспечивает привязку измеренных значений частоты с точностью 10 мс к московскому времени. Цифровые данные, значения доплеровского сдвига и время его измерения записываются в бортовую память ИСЗ. Будучи принятыми на СПОИ, эти данные совместно с точно известными эфемеридами ИСЗ обеспечивают определение координат АП.

Бортовой приемник-процессор представляет собой систему приема данных от АП со свободным доступом. При длительности единичного сообщения, равного ~0,5 секунды, и периоде повторения один раз в 50 секунд двухканальный бортовой приемник-процессор с вероятностью 0,98 обеспечивает прием посылок от 70 АП, одновременно работающих в зоне видимости ИСЗ. Для увеличения производительности в системе «Курс» используются 7 частотных литер несущей частоты. Так как предполагается, что каждый радиопередатчик АП будет работать сеансами, определяемыми программным устройством, то общая производительность системы составляет 100 тысяч АП.

Основные технические характеристики системы «Курс» приведены в табл. 1.

Для проведения демонстрационных испытаний системы «Курс» были разработаны несколько типов радиомаяков (РМ), входящих в аппаратуру потребителя (табл. 2):

- спутниковый радиомаяк СРМ для установки на крупных объектах. Он работает от сети переменного тока ~220В/50 Гц и постоянного тока 24 В;
- автономный радиомаяк АКРМ, предназначенный для установки на необслуживаемых платформах сбора данных, которые могут устанавливаться в различных удаленных точках. Он имеет в своем составе литиевые батареи, а также работает от сети постоянного тока 12-18 В;
- малый радиомаяк РМ-П предназначен для применения на объектах, где необходим небольшой вес, длительное время работы и нет внешних источников электроэнергии;

- радиомаяк МАРАН, предназначенный для установки на речных и морских судах. Он работает от сети переменного тока ~220В/50 Гц и постоянного тока 24 В;

● радиомаяк для морского буя, обеспечивающий сбор данных (Лобан-ТМ). Первые три типа РМ были разработаны и изготовлены в РНИИ КП, РМ МАРАН разработан и изготовлен АО «Ярославский радиозавод», РМ морского буя Лобан-ТМ изготовлен специалистами Морского Гидрофизического Института Национальной Академии Наук Украины (МГИ НАНУ).

Радиомаяк СРМ-405 (рис. 3) выбрал в себя все самые лучшие идеи, которые были получены в результате разработки и эксплуатации аварийных радиобуев системы КОСПАС-SARSAT. СРМ-405 предназначен для установки на суда морского и речного типа, а также на другие крупные подвижные объекты, и обеспечивает определение координат, опознание объекта и передачу с него информации в объеме до 30 байт.

Конструктивно СРМ-405 состоит из двух частей:

- устройства формирования сообщения (УФС) совместно с источниками питания на 12 и 5 В и задающим генератором (ЗГ), размещенными в одном блоке размерами 320×300×150 мм и весом 3 кг. Располагается в помещении;
 - штыревой антенны с отражателем с установленным на ней высокочастотным (ВЧ) блоком. Располагается на открытом воздухе. Высота антенны 190 мм, диаметр отражателя 400 мм, размер ВЧ-блока 105×105×30 мм. Вес антенны и ВЧ-блока 1 кг.
- Выходная мощность СРМ-405 – 10 Вт. Между собой оба блока соединены коаксиальным кабелем длиной 30 метров, по которому передаются одновременно радиосигнал и напряжение питания для ВЧ-блока. ВЧ-блок крепится на антенне и соединен с ней коротким коаксиальным кабелем длиной 20 см. Такая конструкция позволяет легко разме-

Таблица 1

Основные технические характеристики системы «Курс»

Количество сеансов связи АП с диспетчерским центром потребителя в сутки при одном ИСЗ	15 (>80° Ш) >7 (>50° Ш) >4 (>20° Ш)
Количество ИСЗ в системе	1
Точность определения координат АП, км неподвижного движущихся с $V \leq 100$ км/ч (без знания траектории движения)	1,0 10,0
Объем данных за сеанс связи, бит	144-240
Вероятность приема данных и определения координат за один сеанс	0,99

Таблица 2

Основные характеристики радиомаяков

Тип радиомаяка	СРМ	ЛОБАН-ТМ	МАРАН	АКРМ	РМ-П
ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ:					
Выходная мощность, Вт	10	5	5-7	5	0,5
Индекс фазовой модуляции, рад	1,1 ±0,1				
Несущая частота (одна из 7 литер) в диапазоне, МГц	405,978-405,878				
Относительная нестабильность частоты ЗГ	10 ⁻⁹ за 100 мс, 10 ⁻⁸ за 15 мин, 2х10 ⁻⁶ за 5 лет				
Период повторения посылок, с	45-55	47,5-52,5	47,5-52,5	45-55	30-60
Режимы работы работает/пауза, ч	8/4, 6/6, 4/8, 24/0	24/0	6/6, 4/8, 24/0	24/0	по заранее рассчитанной программе
Возможность смены информации в посылке	есть	есть	нет	нет	нет
Размер передаваемого сообщения, бит	64-240	144-240	64	64	64-240
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ					
Ресурс работы, ч	50 000	50 000	50 000	50 000	4000
Состав и размеры РМ, мм	устройство формирования сообщения: 320x300x150, ВЧ-блок со штыревой антенной: 105x105x30, высота антенны 190 мм, диаметр отражателя 400 мм	конструктивно размещается в морском дрейфующем буе, состоит из блока сбора данных с датчиков и передающего устройства	пульт управления: 225x156x173, устройство формирования кадра с радиопередатчиком и антенной: 320x300x150	радиоблок с устройством формирования сообщения: 190x70x30, батареи: 190x70x30 штыревая антенна: высота 200 мм, диаметр отражателя 100 мм	единый радиоблок с батареями 60x40x30
Условия эксплуатации антенны и ВЧ-блока температура, °С давление, мм. рт. ст.	-40... +65 атмосферное	-40... +65 атмосферное	-40... +65 атмосферное	-60... +85 > 90	-10... +40 атмосферное ±100 мм
Ударостойкость антенны и ВЧ-блока одиночный удар, з многократные удары, з	100 15	100 10	100 10	1000 15	10 1
Тип электропитания	~220 В/50 Гц =24 В	=15 В	~220 В/50 Гц =24 В	=12... 18 В	=6-15 В
Общая масса, кг	10	-	27,2	3,7	0,09
Потребляемая мощность, Вт в режиме излучения в режиме молчания	55 2	- -	55 6,5	27 2	1,4 0,000015

щать антенну и ВЧ-блок в любом месте транспортных средств с учетом требований маскировки и недоступности для посторонних лиц, а блок УФС располагать в месте, удобном для подключения к сети питания и источникам информации (датчик аварийной ситуации, навигационный приемник систем GPS/Гло-

насс и т. п.). Потребляемая мощность от сети ~220 В/50 Гц 55 Вт (в режиме излучения).

СРМ-405 позволяет формировать сообщение, состоящее из 1, 2 или 3 посылок с максимальным объемом передаваемой информа-

ции пользователя до 30 байт. Сообщение можно вводить как с клавиатуры, расположенной на лицевой панели блока УФС, так и получать от любого



Рис. 3а. Структурная схема СРМ



Рис. 3б. Внешний вид СРМ

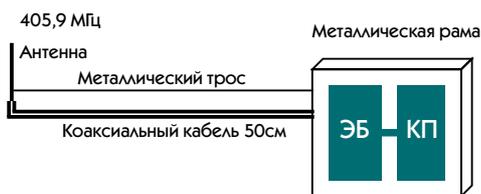


Рис. 4а. Структурная схема АКРМ



Рис. 4б. Внешний вид АКРМ

внешнего источника данных по интерфейсу RS-232.

С помощью клавиш управления на УФС блоке возможно изменять период повторения посылок (50, 75 или 100 с) и изменять режимы работы СРМ-405 (работа/пауза).

Автономный контейнерный радиомаяк (АКРМ), был изготовлен для применения в местах, подверженных ударам и другим неблагоприятным воздействиям ($t = -60...+85^{\circ}\text{C}$, влажность 98% при $t = +35^{\circ}\text{C}$, уменьшение давления до 100 мм. рт. ст.). Он является полностью автономным устройством со своим питанием, имеет малые габариты. Может устанавливаться на контейнерах, перевозимых железнодорожным, автомобильным и морским транспортом, а также на вертолетах и самолетах.

Функционально АКРМ (рис. 4) состоит из электронного блока (ЭБ), содержащего передатчик и устройство формирования сообщения, кассеты питания (КП), и штыревой антенны, соединенной с электронным блоком.

ЭБ и КП являются отдельными блоками, крепящимися в единой металлической раме, изготовленной из сварного металлического уголка, скрепленного для большей прочности металлическим тросом в торцах.

Размеры АКРМ в раме 190×95×60 мм, вес 4 кг; без рамы размер 190×70×30 мм, вес 2 кг.

АКРМ в раме выдерживает удар до 1000g, без рамы до 100g.

АКРМ может передавать только одно неизменное сообщение. Посылка содержит в себе идентификационный номер, заложенный при изготовлении изделия. Период повторения посылок 50 с, режим работы АКРМ непрерывный. Потребляемый ток АКРМ в режиме излучения 1,2 А, в паузе 130 мА.

Малый радиомаяк

РМ-П (рис. 5) разработки и производства РНИИ КП отличается малым весом ~90 г и длительным временем работы (до 9 месяцев) от одного комплекта литиевых батарей.

РМ-П имеет микропроцессор, который управляет работой передатчика по сложной временной программе, синхронизированной со временем пролета ИСЗ над РМ-П. При необходимости режим работы может быть изменен путем перепрограммирования микропроцессора. Выходная мощность РМ-П 0,5 Вт.

Судовой радиомаяк МАРАН был разработан и изготовлен на АО «Ярославский радиозавод». АО «Ярославский радиозавод» является изготовителем радиобуев морского и персонального назначения для системы КОСПАС-SARSAT.

Конструктивно РМ «МАРАН» состоит из двух блоков (рис. 6):

- радиоблока, включающего в себя радиопередатчик, антенное устройство, устройство формирования кадра и блок питания. Размеры радиоблока 220×160×490 мм, вес 5,2 кг;
- пульта управления и индикации (ПУИ), включающего в себя таймер на три режима временных интервалов включения радиобуя, индикатора работы передатчика на излучение и блока питания. Размеры ПУИ 220×156×173 мм, вес 2,5 кг.

Антенна радиоблока закрыта радиопрозрачным колпаком и представляет собой единое целое с радиоблоком.

РМ МАРАН излучает сообщение, состоящее из одной посылки, несущей в себе идентификационный

номер, заложенный при изготовлении изделия. Содержание посылки является постоянным и не может быть изменено.

Потребляемая мощность радиоблока РМ МАРАН в режиме излучения составляет 55 Вт, в режиме ожидания не более 2 Вт, потребляемая мощность ПУИ не более 4,5 Вт.

РМ системы «Курс» в составе дрейфующего буя Лобан-ТМ (рис. 7) состоит из унифицированного передатчика, способного работать в составе различных морских, воздушных и наземных измерительных платформ и микропроцессорного контроллера, конструктивно расположенного на одной стойке с передатчиком. Контроллер способен программным путем адаптироваться к использованию в составе различных измерительных платформ.

Состав аппаратуры потребителя зависит от ее назначения и в максимальной комплектации состоит из радиопередатчика с выходной мощностью 0,5-10 Вт, электронного устройства, обеспечивающего сбор данных и формирование программы включения АП, антенны и источника питания. В ряде случаев для повышения точности определения координат на АП устанавливается приемник навигационных сигналов GPS/ГЛОНАСС с отдельной антенной.

Летные испытания ИСЗ «Космос-2315» (1995 г.) подтвердили основные проектные характеристики системы «Курс».

В процессе летных испытаний было установлено, что минимальная мощность радиомаяка со штыревой антенной, при которой система обеспечивает в течение сеанса связи достоверный прием сообщения и определение координат со среднеквадратичным отклонением круговой ошибки менее 1 км, составляет 0,4 Вт.



Рис. 5. Радиомаяк РМ-П на стерхе (Окский заповедник)

В демонстрационных испытаниях системы, которые проводились в 1996 году, принимали участие федеральные организации Минтранса, Росгидромета, Минэкономики и РАН. В течение года было реализовано шесть демонстрационных проектов с использованием практически всех типов радиомаяков, характеристики которых приведены в табл. 2. Перечень демонстрационных проектов, сроки их проведения и район расположения РМ приведены в табл. 3.

В августе 1996 г. были проведены полевые испытания малых радиомаяков РМ-П, предназначенных для установки на крупных мигрирующих птицах (журавлях). Особенностью РМ-П является его малый вес и программное включение питания, обеспечивающее контроль за перемещением объекта в течение 6-9 месяцев. Нетермостабилизированный кварцевый задающий генератор имеет пониженную стабильность частоты, а мощность передатчика 0,5 Вт обеспечивала только пороговое значение мощности сигнала на входе бортового приемника.

В результате этого вероятность приема сообщения на ИСЗ и точность определения координат на СПОИ ниже, чем для радиомаяка с номинальной мощностью и стабильностью.

В результате полевых испытаний шести РМ-П удалось установить, что вероятность приема сообщения на ИСЗ составляет 0,62, а среднеквадратическое значение ошибки определения координат равно 4,3 км. Были уточнены эксплуатационные требования к конструкции РМ-П.

В мае 1996 г. радиомаяк СРМ-405 N2 без датчиков был установлен в поселке Эрзин (217 км южнее г. Кызыла) – главной базе Убсунурского заповедника – с целью определить реальное число сеансов связи с ИСЗ «Курс», достоверность передаваемых тестовых данных и точность определения координат СРМ.

Эксперимент проводился с 15 ч 00 м 23.05.1996 г. до 16 ч 00 м 30.05.1996 г.

Анализ полученных данных показал, что из 57 возможных сеансов в 44 состоялось успешное определение координат радиомаяка. В 13 сеансах не были

получены координаты радиомаяка из-за отсутствия электропитания на местной электрической сети. В состоявшихся 44 сеансах связи были приняты все три последовательно передаваемые посылки СРМ-405 N2.

Среднеквадратичная ошибка определения координат составила 1,8 км.

Эксперимент подтвердил возможность регулярной передачи не менее 144 бит данных с любой точки Убсунурского заповедника в каждом сеансе связи.

Целью эксперимента, проведенного в декабре 1996 г. сотрудниками МГИ НАНУ в западной части Черного моря, было изучение циркуляции поверхностных вод с помощью морского буя Лобан-ТМ путем измерения его текущих координат системой «Курс» с одновременным сбором данных о температуре воды вдоль траектории движения буя. Полученные результаты важны для изучения

распределения и переноса течениями в Черном море загрязненных речных стоков и предсказания трасс перемещения нефтяных пятен в случае разлива нефти.

На большом морском бую Лобан-ТМ был установлен радиомаяк системы «Курс», имеющий в своем составе микропроцессор и устройство сбора телеметрических данных с датчиков, размещенных на бую. Общий объем телеметрических данных, передаваемых за один сеанс связи с ИСЗ, составляет 144 бита.

Особенностью данного эксперимента являлось осуществление синхронных измерений температуры поверхностного слоя морской воды контактными методами измерения и дистанционными методами с помощью радиометров, установленных на американских метеорологических ИСЗ NOAA-12 и NOAA-14. Прием данных с ИСЗ NOAA осуществлялся наземной станцией МГИ НАНУ в г. Севастополе.

С помощью системы «Курс» была построена траектория 32-суточного дрейфа. Таким образом впервые удалось определить траекторию западной ветви черноморского течения на отрезке более 1000 км с одновременным измерением температуры поверхностного слоя. Эксперимент показал эффективность использования системы «Курс» для изучения течений как во внутренних морях, так и в мировом океане.

Говоря о перспективах использования системы «Курс», следует подчеркнуть качественно новую возможность приема данных и определения координат АП с маломощным радиомаяком, что позволяет довести массу АП до 100 г, а длительность работы в автономном режиме до 6-9 месяцев. Реально длительность работы



Рис. 6а. Радиоблок РМ МАРАН



Рис. 6б. ПУИ РМ МАРАН



Рис. 6в. Структурная схема РМ МАРАН



Рис. 7. Внешний вид дрейфующего буя Лобан, оснащенного аппаратурой связи «Курс» и измерительными каналами температуры воды и воздуха

Таблица 3

Перечень демонстрационных проектов системы «Курс» в 1995-1996 гг.

N п/п	Тип подвижного объекта	Район испытаний	Тип радиомаяка	Дата испытаний	Длительность испытаний, дней
1.	Речное пассажирское судно "К. Циолковский"	Москва-река и каналы Северо-запада России – Санкт-Петербург и обратно	МАРАН N1, 2	июль - август 1995 г.	28
2.	Специальный ж/д вагон	Москва – Орел – Курск – Белгород – Брянск – Москва	АКРМ, СРМ N1	октябрь 1995 г.	9
3.	Экспедиционное морское судно "Академик Федоров"	Санкт-Петербург – Кейптаун – Буэнос-Айрес – Антарктида и обратно	МАРАН N4	март-сентябрь 1996 г.	166
4.	Мигрирующие птицы	район Салехарда	РМ-П	август-сентябрь 1996 г.	28
5.	Легковой автомобиль	Москва – Н. Новгород – Сыктывкар – Ухта - Владимир - Москва	АКРМ	октябрь 1996 г.	16
6.	Морской дрейфующий буй	Черное море (район г. Севастополя – турецкое побережье)	ЛОБАН-ТМ	декабрь 1996 г. - январь 1997 г.	32

в автономном режиме определяется программой включения радиомаяка и обеспечивается микропроцессором, входящим в состав РМ.

Ничего подобного нельзя будет достичь в перспективных космических системах связи, использующих десятки низкоорбитальных ИСЗ («Гонец», IRIDIUM), так как минимальная скорость передачи в 2400 бит/сек требует передатчика с мощностью 10 Вт. Кроме того, в системах связи местоопределение АП обеспечивается, как правило, при использовании приемников навигационных сигналов GPS/ГЛОНАСС с отдельной антенной, что, в свою очередь, приводит к дополнительному увеличению массы (на 300-500 г) и потребления АП в 2-3 раза.

Уменьшение энергопотребления и габаритов РМ существенно расширяет круг потенциальных потребителей. В частности, возможно использование системы «Курс» для слежения за грузовыми перевозками на железнодорожном и автомобильном транспорте, передачи метеорологической информации с автоматических станций, разрабатываемых Центральным Конструкторским Бюро Гидрометеорологического Приборостроения (ЦКБ ГМП) Роскомгидромета (г. Обнинск), отслеживания путей миграции крупных птиц и мест обитания животных (белых медведей, дельфинов и т. п.).

После запуска второго ИСЗ системы «Курс» (с бортовым приемником-процессором второго поколения) в 1998 г. количество обслуживаемых АП, одновременно работающих в зоне видимости ИСЗ, составит 200 шт., существенно сократится время доставки и увеличится количество передаваемых потребителю данных (до

240 бит за сеанс связи). Сведения о погоде со станций, устанавливаемых в районах Крайнего Севера, смогут поступать потребителю в г. Москве не реже, чем 1 раз в час, с задержкой не более 20 минут.

В системе «Курс» предполагается как централизованное, так и децентрализованное получение данных с АП.

В первом случае используются региональные центры приема, обработки и распределения данных. СПОИ, оснащенные аппаратурой, способной работать с ИСЗ системы «Курс», размещены в городах Москве, Архангельске и Находке. На рис. 8 показаны антенна диаметром 1,3 м для приема сигнала с ИСЗ и аппаратура обработки информации, расположенная в г. Москве.

При децентрализованном распределении информации малогабаритные станции приема и обработки (МСПОИ) могут размещаться непосредственно у владельцев аппаратуры потребителя. В 1997 г. будут завершены испытания малой станции приема данных с ИСЗ «Курс» массой ~8 кг, которую можно установить в любом месте, где есть источник питания ~220В/50 Гц. МСПОИ представляет собой спиральную антенну с приводом в радиопрозрачном колпаке, аппаратуру обработки данных размерами 400×200×200 мм и персональный компьютер. ●



Рис. 8а. Антенна СПОИ системы «Курс», расположенной в г. Москве (Тёплый Стан)

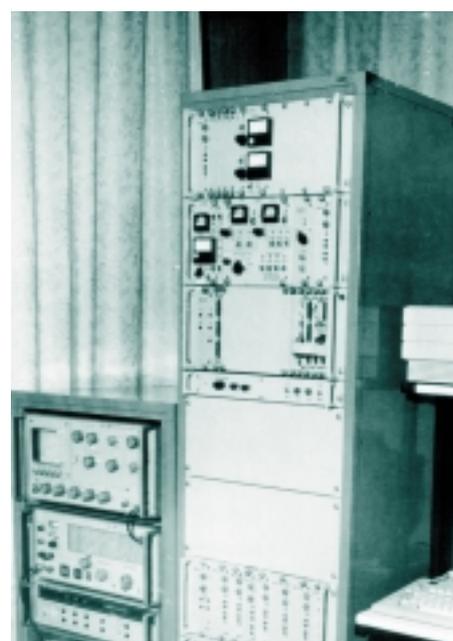


Рис. 8б. Аппаратура СПОИ системы «Курс», расположенной в г. Москве (Тёплый Стан)