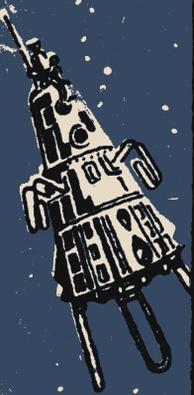
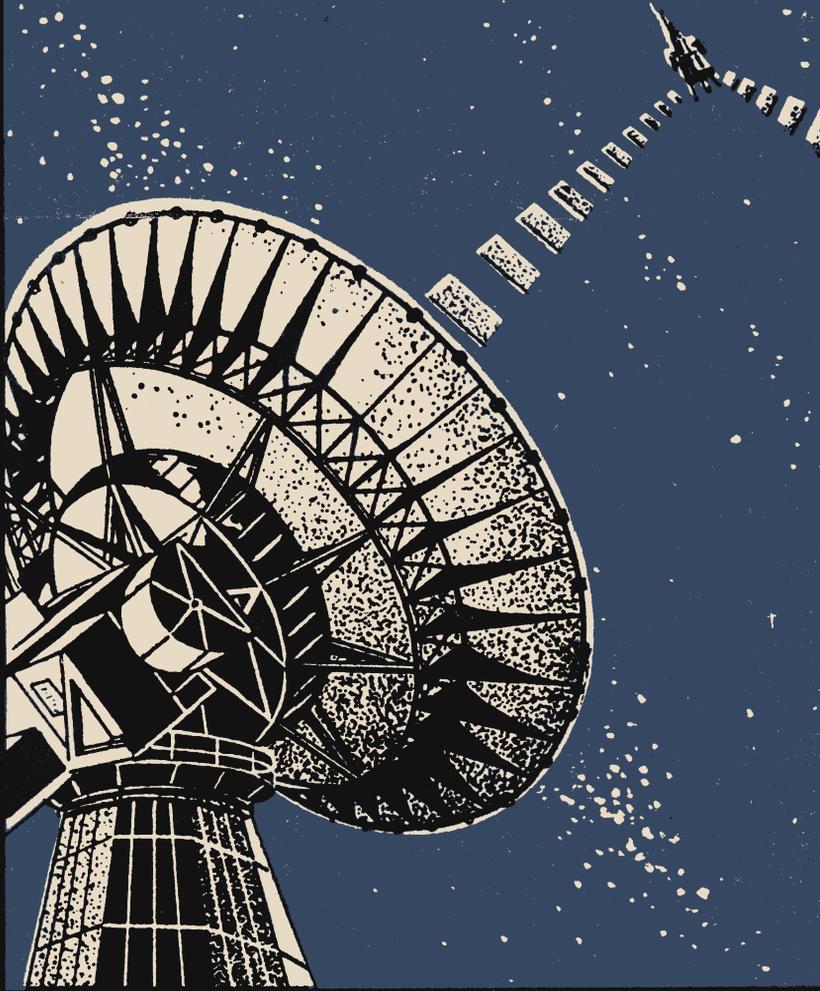




Серия 9 Физика Математика Астрономия  
1964 13



В. Н. ПЕТРОВ Г. С. ХОЗИН

# КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОСВЯЗЬ

В. Н. ПЕТРОВ, Г. С. ХОЗИН

# КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОСВЯЗЬ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва 1964

**6Ф2**

---

**П30**

**П**уть человеку к Луне, к планетам солнечной системы прокладывают космические ракеты и автоматические межпланетные станции (АМС). С помощью автоматических приборов, установленных на борту ракет и АМС, получают важные данные о явлениях, происходящих в космосе. Для того чтобы эти данные попали к ученым, необходима бесперебойно действующая связь Земля — космос — Земля.

В брошюре рассказано о современных системах дальней космической радиосвязи. Читатель узнает о наземных приемопередающих устройствах для связи с дальними космическими объектами, о конструкции и работе бортового радиооборудования космических ракет и АМС.

Рассмотрены также ближайшие перспективы развития средств дальней космической связи.

## **Дальняя космическая связь**

За годы, прошедшие после запуска первого советского спутника, наука обогатилась разнообразными сведениями о космическом пространстве. Ученые получили возможность, помимо астрономических и радиоастрономических наблюдений, проводить исследования с помощью кораблей-спутников и автоматических межпланетных станций. Космические лаборатории первыми проникают в недоступный прежде для человека мир. Вслед за ними к далеким планетам полетят космические корабли с экипажами.

Первые шаги в исследовании планет и межпланетного пространства уже сделаны.

Вот несколько примеров.

12 февраля 1961 года была запущена первая автоматическая станция к Венере. Стартовав с поверхности Земли на промежуточную орбиту, вышел тяжелый искусственный спутник

Земли. Затем в строго определенный момент с борта искусственного спутника Земли стартовала АМС весом 643,5 кг, начавшая многомесячный путь к Венере. Оборудование АМС включает научную аппаратуру, системы ориентации и управления, программные устройства, источники питания. Работу систем и передачу на Землю научной информации обеспечивало радиотехническое оборудование для дальней космической связи. В ходе этого полета были проведены многочисленные сеансы дальней космической связи.

27 августа 1962 года в США был запущен космический аппарат «Маринер-II», который прошел за 109 дней путь около 86,9 миллиона километров, произвел различные измерения в космосе и передал на Землю данные о космическом пространстве, об атмосфере Венеры и температуре ее поверхности.

1 ноября 1962 года в Советском Союзе был произведен запуск автоматической межпланетной станции «Марс-I».

В период всего полета любого космического корабля с ним должна поддерживаться непрерывная связь. Для этого регулярно проводятся сеансы связи.

Связь Земля — космический корабль и космический корабль — Земля происходит по специальным радиолиниям.

Линия связи Земля — космический корабль называется командной. По ней передаются на борт корабля команды управления или серии команд, несущих цифровую информацию, необходимую для управления полетом космического корабля и корректировки траектории полета.

Связь по командной радиолинии должна быть особенно надежной. Ведь если команды управления не достигнут борта корабля или будут искажены при передаче, окажется невозможным управлять аппаратурой корабля и производить на борту необходимые операции, такие, как включение и выключение бортовых передатчиков, подача команд на включение телеметрической, телевизионной аппаратуры, переключение дублирующих приборов и др. Выход из строя командной радиолинии может в отдельных случаях привести к аварийному положению на борту корабля, значительному снижению ценности получаемой информации и нерациональному использованию бортовых источников энергии.

По линии связи космический корабль — Земля поступает телеметрическая и телевизионная информация. Телеметрическая информация по своему содержанию делится на две группы. К первой группе относится информация о состоянии систем объекта и работе бортовой аппаратуры. Сюда входят данные о температуре различных частей и элементов корабля, о давлении в его отсеках, о раскрытии антенн, работе элементов систем энергоснабжения. По этим данным судят о состоянии космического корабля в полете.

Ко второй группе относится телеметрическая информация, содержащая результаты измерений научной аппаратуры, установленной на борту корабля, например магнитометров, измеряющих магнитное поле планет и межпланетного пространства, радиометров, регистрирующих излучение планет в определенном диапазоне, счетчиков микрометеоров и других частиц с различными энергиями и т. д. Хотя телевизионная информация и имеет свои специфические особенности, ее также можно отнести ко второй группе.

Основное требование, предъявляемое к радиолинии передачи информации, — достаточная информативность, т. е. получение максимально возможного количества информации на единицу времени. Правильный выбор информативности радиолинии очень важен, так как он позволяет наиболее полно использовать энергетические ресурсы корабля, иначе говоря, добиться минимальной затраты энергии на единицу принимаемой информации.

Количество принятой информации может быть увеличено путем повышения энергии принимаемого сигнала (это путь увеличения мощности бортовых передатчиков). Существует и более эффективный способ — уменьшение количества энергии на единицу принимаемой информации выбором более эффективной системы связи.

Одно из основных затруднений при конструировании телеметрической системы заключается в существующем противоречии между требуемым количеством данных, их точностью и сложностью оборудования космического корабля. Так, с увеличением скорости передачи телеметрической информации прямо пропорционально возрастает и ширина полосы частот передаваемого сигнала. Это, в свою очередь, приводит к необходимости увеличить мощность принимаемого сигнала. При передаче телеметрической информации с космических аппаратов большей частью пользуются так называемыми частотной или фазовой модуляциями. Они обладают более высокой устойчивостью к помехам, чем амплитудная, при прочих равных условиях.

Для траекторных измерений, т. е. измерений, с помощью которых определяется траектория полета космического корабля, чаще всего используются обе радиолинии Земля — космический корабль и космический корабль — Земля одновременно. Для определения дальности до объекта по радиолинии Земля — космический корабль посылается сигнал запроса. Это может быть импульс или серия импульсов в случае, если радиолинии импульсного действия, или определенное изменение частоты, или фазы сигнала в случае радиолинии непрерывного действия.

Сигналы на борту корабля ретранслируются и по радиолинии космический корабль — Земля излучаются на Землю.

**В зависимости от времени распространения импульса или изменения частоты или фазы сигнала (учитывая время ретрансляции сигнала на борту) можно определить расстояние до объекта.**

Измерение радиальной скорости корабля производится, как правило, по эффекту Доплера, т. е. по изменению частоты сигнала, излучаемого бортовым передатчиком, в зависимости от скорости самого объекта. На борт корабля с Земли передается непрерывный сигнал определенной частоты, который ретранслируется бортовым приемо-передатчиком и принимается на Земле. Принятый сигнал будет отличаться по частоте от первоначально излученного наземным передатчиком (коэффициент преобразования частоты в бортовом приемо-передатчике учитывается в расчетах). По разнице частот определяют скорость объекта.

Измерение радиальной скорости принципиально возможно и без использования запросной радиолинии. Достаточно сравнить частоту бортового передатчика, измеренную на наземном пункте, с известной номинальной частотой его излучения. Точность измерений будет зависеть прежде всего от стабильности бортового генератора частоты. Создать высокостабильные генераторы, обладающие небольшими размерами и весом, крайне трудно. Сейчас в качестве высокостабильных генераторов в наземной аппаратуре используются охлаждаемые молекулярные генераторы. Большой вес и размеры, а также трудности охлаждения ограничивают возможности их использования на космических кораблях.

Траекторию космического аппарата можно определить, измеряя угловые координаты. Этот метод не нуждается в запросных сигналах. Нецелесообразно прибегать в этом случае к применяемым в радиолокации для определения координат методам «равносигнальной зоны», «по минимуму сигнала» и «по максимуму сигнала». Они не достаточно точны.

Наиболее перспективен так называемый фазометрический метод. Сигнал бортового передатчика принимается одновременно двумя или более наземными пунктами, находящимися на определенном, точно известном расстоянии друг от друга. Сравнение фазы принимаемого сигнала на этих пунктах позволяет определять угловые координаты космического корабля. Недостаток этого метода — необходимость иметь целую систему пунктов (для надежности измерения — не менее трех), связанных между собой и оснащенных дорогостоящими антеннами и приемной аппаратурой. Кроме того, математическая обработка измерений в известной мере осложняется.

Принципиально отличается метод, при котором положение космического корабля определяют относительно известных звезд или планет с помощью аппаратуры, установленной на борту, например оптических систем. Такая аппаратура из-

меряет угловое положение корабля относительно нескольких звезд при строго ориентированном положении самого корабля. Данные этих угловых измерений могут передаваться по радиолинии на Землю. Подобные астронавигационные системы должны обеспечивать точность измерений порядка долей угловых секунд. Они особенно перспективны для дальних космических полетов, когда другие методы не дают требуемой точности траекторных измерений. Без точных же траекторных измерений полеты космических ракет в межпланетном пространстве невозможны. Так, если ошибка в скорости при выведении космического корабля на заданную трассу к Луне и планетам солнечной системы составит  $0,3 \text{ м/сек}$ , то, ориентировочно, корабль пройдет на следующем расстоянии от небесных тел:

Луна — 40—200 км.  
 Венера — 46 000 км.  
 Марс — 37 000 км.  
 Юпитер — 120 000 км.

Во всех случаях корабль развивает полную скорость около  $11 \text{ км/сек}$ , т. е. ошибка составляет около 3 десятитысячных процента! При старте с промежуточной орбиты ошибки несколько меньше.

Итак, для связи с космическим кораблем необходима командная радиолиния, линия для передачи телеметрической и телевизионной информации и радиолиния для траекторных измерений.

Основная особенность радиолиний космической связи — это огромные расстояния, на которых они должны действовать. До ближайшей планеты Венеры среднее расстояние от Земли составляет около 150 млн. км, а до остальных оно гораздо больше. Эти расстояния приводятся в табл. 1, где также указано время, за которое до них доходит радиосигнал с Земли.

Таблица 1

Название планеты	Среднее расстояние от Земли (в млн. км)	Время распространения сигнала (в мин.)
Венера	149	0,8
Марс	228	1,2
Юпитер	773	4,3
Сатурн	1415	7,9
Плутон	5850	32,5

Как видно из таблицы, временем распространения сигнала, направленного к планете, нельзя пренебрегать, тогда как в земных условиях оно не принимается во внимание.

Энергия сигнала, принятого наземным приемным устройством, обратно пропорциональна квадрату расстояния до кос-

мического корабля. Отсюда ясно, насколько эффективным должно быть наземное приемное устройство, чтобы принять сигнал от космического корабля, удаленного на столь значительное расстояние от нас.

Чтобы преодолеть расстояния до планет солнечной системы при современном уровне развития ракетной техники, космическому кораблю придется лететь многие месяцы, а может быть, и годы. Все это время аппаратура корабля должна работать бесперебойно.

Не менее важной особенностью системы дальней космической связи является повышенное требование к надежности бортовой аппаратуры. Элементы, из которых конструируется аппаратура — электронные лампы, полупроводники и т. д., имеют определенный срок службы. Выход из строя любого из них приводит к отказу целого узла или даже комплекта аппаратуры. А таких элементов в современной радиотехнической аппаратуре корабля многие сотни тысяч. В космическом пространстве для аппаратуры особую опасность представляют микрометеориты, столкновение с которыми может привести в негодность всю аппаратуру космического корабля. Это учитывается при проектировании аппаратуры и принимаются специальные меры для повышения ее надежности.

Широко применяется дублирование наиболее ответственных элементов бортовой аппаратуры. Обычно устанавливают два, а иногда и более комплектов передатчиков, приемников, телеметрических коммутаторов и т. д.

Созданные в Советском Союзе мощные ракеты-носители позволили вывести на межпланетные трассы космические корабли весом около тонны; вес американского космического аппарата «Маринер-II» составлял 202,7 кг.

Если в общий вес космического корабля включается вес корректирующих тормозных двигательных установок, систем ориентации и терморегулирования, то на радиоаппаратуру и систему ее энергопитания остается не больше 40—30% общего веса. Отсюда ясно, что вес систем энергоснабжения и радиотехнической аппаратуры ограничен.

Бортовые передающие устройства потребляют большую часть электрической энергии, вырабатываемой на космическом корабле, хотя она и не превышает десятков или сотен ватт.

Из-за ограничений веса и габаритов космического корабля желательно совмещать радиолинии, выполняющие различные функции. В единой радиолинии Земля — корабль можно совместить командную радиолинию и запросную радиолинию траекторных измерений, а в радиолинии корабль — Земля — радиолинии, по которым передается телеметрическая и телевизионная информация, и ответную радиолинию траекторных измерений. Такое совмещение радиолиний позволяет использовать те же элементы прямо-передающей бортовой аппара-

туры для различных функциональных действий и уменьшить вес радиотехнической аппаратуры, а также наиболее рационально использовать энергию бортовых источников питания.

Ограниченность мощности бортовых передающих устройств привела к тому, что наиболее трудной проблемой стало создание радиолинии космический корабль — Земля, определяющей возможную дальность связи с космическим кораблем.

Создать радиолинию Земля — космический корабль несколько проще, так как имеется возможность использовать наземные передающие устройства большой мощности и антенные системы с большим коэффициентом усиления.

Из общих принципов радиолокации следует, что дальность действия радиолинии связи космический корабль — Земля зависит от таких факторов, как мощность бортовых передающих устройств, направленность бортовых антенн, усиление наземных антенн и чувствительность наземной приемной аппаратуры, определяемая в основном эффективной шумовой температурой.

## О шумовой температуре

Любая радиотехническая аппаратура, будь то приемное устройство, антенное устройство или фидерный тракт, служит источниками помех, вызываемых в основном тепловым движением электронов. Интенсивность теплового движения электронов зависит от температуры тел, и уровень помех такого рода повышается с увеличением температуры, поэтому он определяется так называемой эффективной шумовой температурой, измеряемой в градусах Кельвина.

Так как шум в приемном тракте усиливается вместе с полезным сигналом, уровень шума в основном будет определяться уровнем шумов входного устройства. Кроме приемной аппаратуры, антенны с ее фидерным трактом, источниками шумов являются атмосфера Земли, тепловое излучение Земли и некоторых космических объектов (галактик, других туманностей, Солнца и т. д.). Чтобы определить уровень шумов на входе приемного устройства, нужно сложить шумовые температуры всех источников. Так, если эффективная шумовая температура приемного устройства  $50^{\circ}\text{K}$ , антенны и фидерного тракта  $120^{\circ}\text{K}$  и внешних источников  $30^{\circ}\text{K}$ , то суммарная шумовая температура на входе приемного устройства будет равна:

$$T_{\text{сумм}} = T_{\text{пр}} + T_{\text{ант}} + T_{\text{вн}} = 200^{\circ}\text{K}.$$

Мощность шума зависит от полосы пропускания приемного устройства. Для уменьшения этой мощности желательно иметь узкополосные приемные системы. Однако в связи с тем, что количество информации, которое можно передать в единицу

времени, прямо пропорционально ширине полосы приемного устройства, существует определенный предел сужения полосы приемного устройства.

При выборе диапазона радиоволн для дальней космической связи необходимо учитывать свойства земной атмосферы и межпланетного пространства, а в случае посадки космического корабля на другую планету — и свойства атмосферы этой

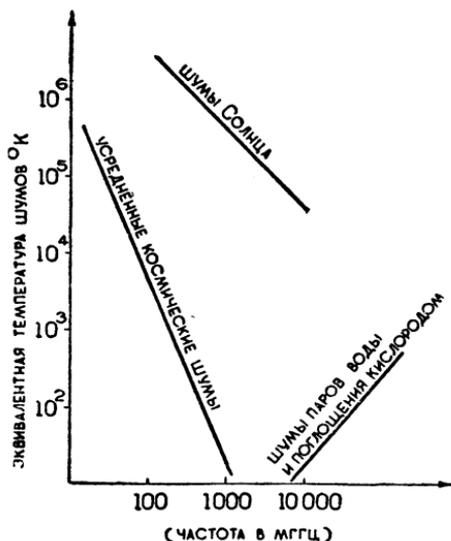


Рис. 1. Зависимость температуры шумов космического пространства от частоты:

планеты. Атмосфера нашей планеты не пропускает радиоволны частотой 10—20 мегагерц, частично или полностью отражая их к Земле. Этот предел — нижняя граница возможного использования радиоволн для космической связи.

При прохождении через ионосферу радиоволны диапазона 10—100 мегагерц значительно поглощаются там вследствие перехода энергии электромагнитных колебаний в кинетическую энергию ионов и электронов ионосферы. Интенсивность поглощения радиоволн в ионосфере обратно пропорциональна квадрату частоты.

Радиоволны частотой выше 10 000 мегагерц значительно ослабляются парами воды, туманом, молекулами и атомами кислорода и других газов.

При приеме слабых сигналов важно, чтобы уровень внеземных шумов (от космических источников) в данном диапазоне был по возможности минимальным.

На рис. 1 приведены значения усредненных шумовых температур космического пространства.

Кроме того, при выборе диапазона радиоволн необходимо

учитывать возможности электрорадиотехники в создании средств генерации мощных колебаний, уровень шумов приемной радиотехники в данном диапазоне и т. п.

На рис. 2 приведены значения эквивалентных шумовых температур для различных элементов радиотракта в зависимости от частоты. Как видно из этого рисунка, наиболее перспективно использование в приемных устройствах косми-

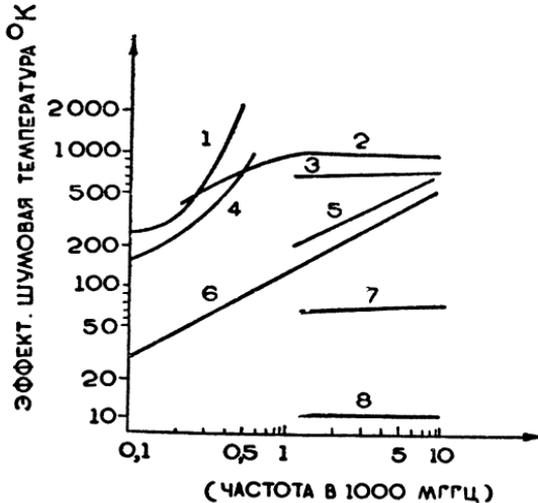


Рис. 2. Эквивалентные шумовые температуры элементов радиотракта в зависимости от частоты:

1 — полупроводниковые триоды; 2 — диодные смесители; 3 — туннельные диоды; 4 — электронные лампы; 5 — лампы бегущей волны; 6 — параметрические усилители; 7 — молекулярные усилители, охлаждаемые жидким азотом; 8 — молекулярные усилители, охлаждаемые жидким гелием.

ческих систем связи приборов, обладающих минимальными собственными шумами. К ним относятся лампы бегущей волны, параметрические и молекулярные усилители.

Принцип действия параметрических усилителей основан на введении в их схемы энергии от внешних источников. Это осуществляется изменением какого-нибудь параметра в схеме усилителя, например емкости или индуктивности контура.

В молекулярных усилителях принимаемый сигнал усиливается за счет внутренней энергии атомов или молекул, возбуждаемых внешними источниками. Молекулярные усилители характеризуются очень низким уровнем собственных шумов,

что объясняется высокой стабильностью квантового излучения возбужденных атомов или молекул.

Таким образом, для системы космической связи можно использовать радиодиапазон от 100 до 10 000 мегагерц. Если учесть возможное конструктивное выполнение антенных систем, приемо-передающих устройств наземной и бортовой аппаратуры, то в указанных границах наиболее выгодной будет область, близкая к верхнему пределу.

## Наземная аппаратура

Системы дальней космической связи могут быть основаны на различных принципах. Основное назначение таких систем — обеспечивать связь на сверхдальние расстояния. На рис. 3

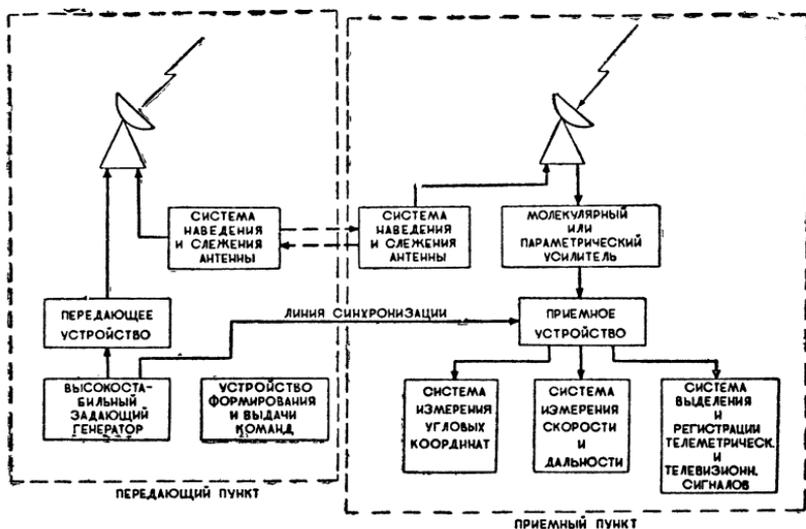


Рис. 3. Принципиальная блок-схема наземной аппаратуры системы дальней космической связи.

приведена принципиальная блок-схема наземной аппаратуры системы дальней космической связи для определения координат. Она построена по принципу «запроса непрерывным сигналом».

Для беззапросной системы потребуются два или более пунктов, а в системе связи, использующей импульсный метод определения дальности до космического корабля, можно совместить приемную и передающую антенны в одну приемо-пе-

редающую и установить дополнительный антенный коммутатор, который должен осуществлять поочередное подключение к антенной системе приемного или передающего устройства. Однако такое подключение к одной антенне высокочувствительного приемного устройства и мощного передатчика нежелательно, так как оно приводит к тому, что некоторая доля шумов передатчика проникает в полосу пропускания приемного устройства и, следовательно, к уменьшению чувствительности приемного устройства.

Антенная система — один из основных элементов наземной аппаратуры космической связи, от которой в значительной степени зависит качество радиолинии.

Приемная антенная система должна иметь большую эффективную поверхность и минимальную температуру шумов, а передающая антенна — высокий коэффициент усиления. Кроме того, антенные системы должны обеспечивать высокую точность наведения в широких пределах и достаточную скорость перемещения антенны при слежении за космическим кораблем.

Однако в отличие от антенн, предназначенных для связи с искусственными спутниками Земли, антенны дальней космической связи не должны передвигаться с большой скоростью, так как космические аппараты на расстояниях миллионов километров не могут иметь больших угловых скоростей относительно Земли.

Для систем дальней космической связи используются различные типы интерференционных и особенно зеркальных антенн.

Интерференционные антенны основаны на принципе сложения сигнала от нескольких излучающих элементов, т. е. эти антенны являются многоэлементными. Их достоинство — сравнительно небольшая стоимость. К недостаткам же можно отнести сравнительно малую эффективную поверхность и сложность изготовления таких антенн для сантиметрового диапазона радиоволн.

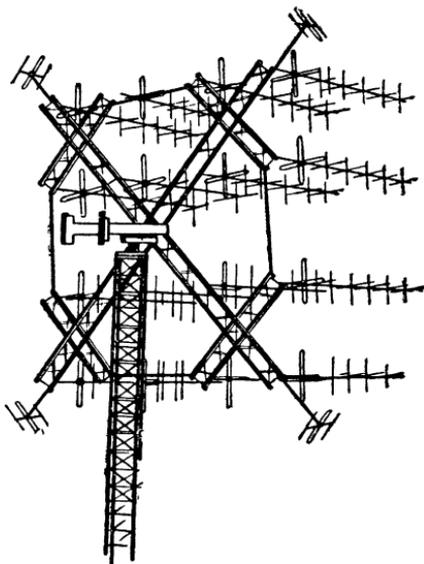


Рис. 4.  
Интерференционная антенна метрового диапазона радиоволн.

Из-за этих недостатков интерференционные антенны не нашли достаточного широкого применения в системах дальней космической связи. Они используются лишь для связи на сравнительно небольшие для космических масштабов расстояния в метровом диапазоне радиоволн (например, для связи с космическим кораблем при полете к Луне). Пример интерференционной антенны показан на рис. 4.

Зеркальные антенны лишены недостатков, присущих интерференционным антеннам, — они дают большое усиление, так как обладают большими эффективными площадями. Их можно использовать в широком диапазоне радиоволн.

Чаще всего применяют антенны в виде параболоидов вращения; их поверхность представляет собой единую конструкцию. Примером может служить радиотелескоп ФИАН АН СССР с диаметром параболоида 22 м (рис. 5).

С ростом геометрических размеров антенн увеличиваются их эффективные площади, а следовательно, и коэффициенты усиления. Однако это справедливо лишь до определенных пределов. Дальнейшее увеличение коэффициентов усиления наземных антенных систем ограничено тем, что трудно изготовить элементы крупных антенн с достаточной точностью.

Точность изготовления рефлектора антенны должна быть не меньше  $1/16$  длины используемой волны, и чем соответственно больше диаметр параболоида, тем труднее выдержать требуемую абсолютную точность его изготовления. При низкой точности изготовления антенны часть электромагнитной энергии отражается в пространство и рассеивается. Это происходит из-за неровностей поверхности антенны, и, следовательно, ее эффективная площадь уменьшается.

Увеличение частоты выше определенного предела снижает эффективную площадь антенны. Если это снижение площади компенсирует выигрыш за счет уменьшения длины волны, то дальнейшее увеличение частоты окажется невыгодным.

Таким образом, дальнейшее увеличение коэффициента усиления затруднено, особенно если учесть, что элементы антенн деформируются под действием силы тяжести Земли при вращении, и, чем больше габариты и вес антенн, тем больше это явление будет сказываться.

Из проектируемых антенных систем определенным интересом представляет проект «Хейстак». С помощью такой антенны можно поддерживать связь с космическими объектами на расстояниях до 180 млн. км при полосе приемного устройства в 10 герц. Американские ученые надеются, что антенна позволит использовать диапазон частот до 8 мм (35 000 мегагерц).

Имеется ряд проектов создания антенных систем с большими эффективными поверхностями при высокой точности изготовления их элементов. Одним из наиболее перспективных путей является разработка антенн, совмещающих положитель-

ные качества зеркальных и интерференционных антенн. Такая антенна состоит из отдельных элементов — параболоидов различного вида, плоских листов и т. д. Большая эффективная поверхность антенны создается набором большого количества таких элементов, но в то же время точность изготовления каждого из них может быть более высокой, чем, например, па-

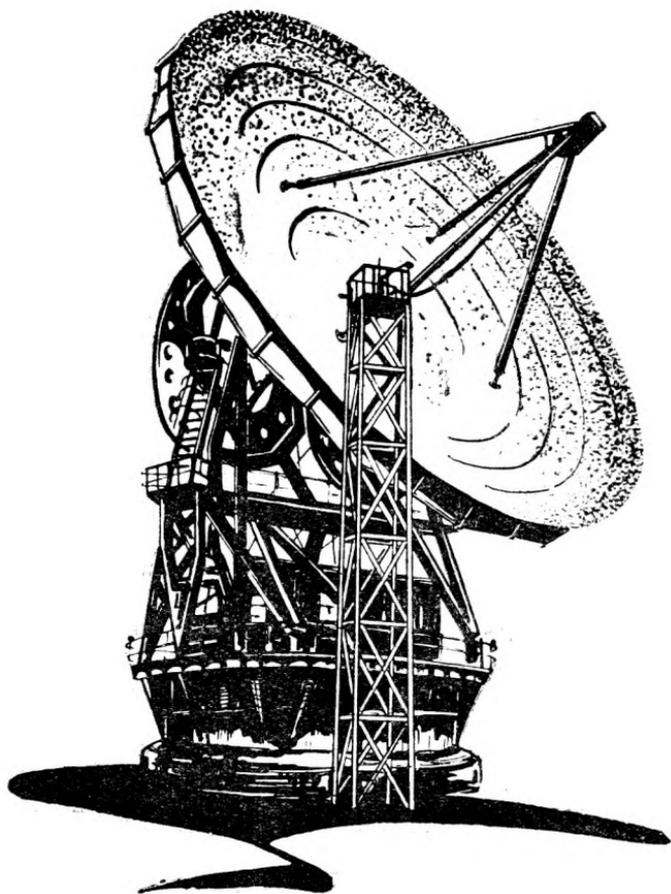


Рис. 5. Радиотелескоп ФИАН АН СССР с параболическим рефлектором диаметром 22 м.

раболоида большего размера. Недостаток таких антенн — сложность управления многочисленными элементами и трудность их экранирования от теплового излучения Земли (рис. 6).

Система управления антеннами космической связи должна обеспечивать точное наведение и сопровождение космических объектов. Это необходимо потому, что диаграммы направлен-

ности наземных антенн имеют вид узкого пучка шириной в несколько долей градусов. В связи с этим точность наведения и сопровождения должна быть не меньше десятков, а то и единиц угловых минут.

Другим важным элементом наземной радиотехнической аппаратуры является высокочувствительное приемное устройство.

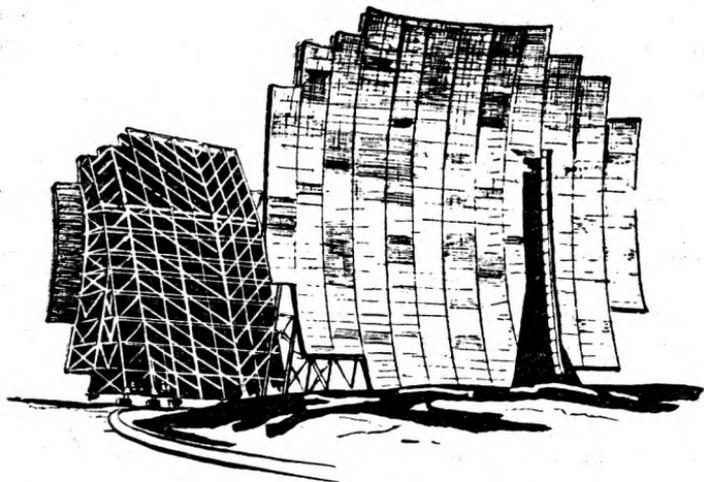


Рис. 6. Сложная антенная система для слежения за космическими объектами.

Чувствительность приемного устройства зависит в основном от уровня шумов первого усилительного устройства, так как шумы остальных элементов схемы будут сказываться значительно меньше. Дело в том, что сигналы шумов усиливаются в приемном тракте вместе с полезным сигналом. Например, у приемного устройства с коэффициентом усиления первого усилительного устройства, равным 10, и одинаковым уровнем шумов во всех элементах уровень шума от первого усилительного устройства будет в 10 раз больше, чем уровень шумов следующего устройства.

Таким образом, исключительно важно иметь более низкий уровень шумов входного устройства; именно этим будет определяться чувствительность, а значит, и дальность действия радиолинии.

Разработаны и широко используются в качестве первичных устройств усиления сигнала параметрические и молекулярные усилители с малым уровнем шумов.

Так как уровень шума зависит от температуры, то в некоторых случаях применяется схлаждение молекулярных усилите-

лей до низких температур с помощью жидкого азота или гелия.

Эффективную шумовую температуру охлажденных параметрических усилителей можно довести до сорока-шестидесяти градусов Кельвина.

Возможно и дальнейшее уменьшение эффективных шумовых температур усилительных устройств. Однако это рационально только при условии, что суммарный уровень внешних шумов антенны и антенно-фидерного тракта будет примерно одной величины. Как указывалось выше, эффективная шумовая температура приемной системы определяется суммой шумовых температур, поэтому уменьшение одного из слагаемых недостаточно эффективно.

Параметрические или молекулярные усилители обычно устанавливаются в непосредственной близости к антенной системе для уменьшения размеров антенно-фидерного тракта и снижения потерь в нем.

Итак, один из методов увеличения дальности действия радиолинии — повышение чувствительности приемных устройств за счет снижения уровня собственных шумов. Другой метод сводится к применению специальных схем приемных устройств для приема слабых сигналов, а также оптимальных способов модуляции.

В системах дальней космической связи обычно используют один из видов частотной или фазовой модуляции вместо широко применяемой в наземной связи амплитудной модуляции. Это объясняется тем, что при прочих равных условиях частотная или фазовая модуляция обеспечивает на входе приемного устройства лучшее соотношение «сигнал — шум», чем при амплитудной модуляции. Кроме того, первые два способа характеризуются более высокой помехоустойчивостью радиолинии.

При обычном приеме и детектировании сигналов соотношение сигнала к шуму ухудшается за счет подавления сигнала в нелинейных элементах схемы. Особенно сильно это сказывается при приеме слабых сигналов, по уровню близких к уровню шумов.

Например, при детектировании слабого сигнала в обычном приемнике отношение «сигнал — шум» меняется по квадратному закону. Можно показать, что отношение полезного сигнала к шуму после детектирования уменьшится тем значительно; чем меньше величина самого отношения.

Существует несколько методов для устранения этого явления. В приемной аппаратуре радиолиний дальней космической связи широко используется метод так называемого когерентного приема.

Он заключается в том, что на умножающее устройство в схеме приемника подается напряжение сигнала и напряжение

специального местного генератора той же частоты, что и полезный сигнал, сдвинутого по фазе строго на  $90^\circ$ . Для получения от местного генератора сигнала одной частоты и фазы с принимаемым сигналом применяются специальные схемы автоматической подстройки частоты и фазы. На рис. 7 приводится упрощенная схема приемного устройства «Микролог», исполь-

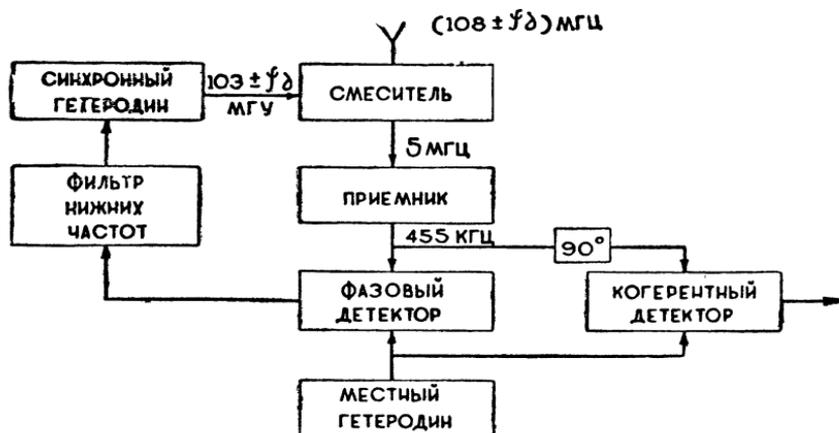


Рис. 7. Упрощенная схема приемного устройства «Микролог».

зуемого в США для системы космической связи. В этом приемном устройстве на когерентный детектор подается напряжение сигнала с приемника и напряжение сигнала местного гетеродина. Частоты сигналов строго совпадают, а фазы сдвинуты на  $90^\circ$ . В результате и получается выигрыш, о котором говорилось выше.

Сигналы стабилизируются по фазе следующим образом: на фазовый детектор подается сигнал с приемника и с местного генератора. Напряжение, снимаемое с фазового детектора пропорционально разности фазы этих двух сигналов. В свою очередь, частота синхронного генератора зависит от напряжения, снимаемого с фазового детектора. Таким образом и регулируется фаза входящего сигнала.

Из других методов наиболее часто используются методы накопления сигнала и фильтрации.

Первый заключается в том, что превышение сигнала над шумами создается путем накопления многократного повторяющегося сигнала. В этом случае амплитуда полезного сигнала возрастает, а амплитуда шумов, поскольку сигнал шума есть функция случайного процесса, растет значительно меньше. Этот метод широко используется в тех случаях, когда приходится принимать сигналы по уровню ниже уровня шумов. В частности, он использовался в работе аппаратуры, с помощью

которой советские ученые проводили локацию планет Венеры, Меркурия и т. д.

Второй метод заключается в следующем. Как уже указывалось, шум — это случайный процесс с широким спектром, его уровень прямо пропорционален полосе приемного устройства. Полезный сигнал занимает определенный строго фикси-

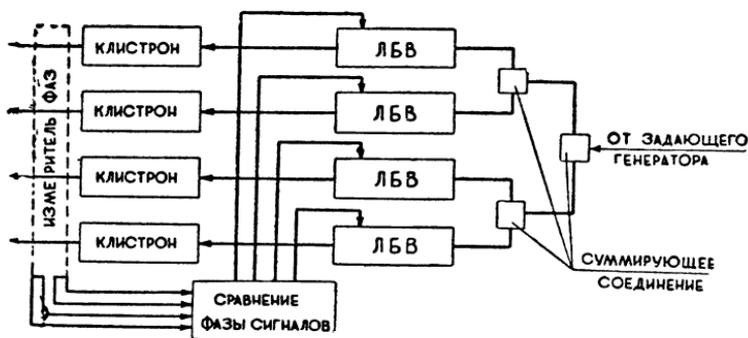


Рис. 8. Блок-схема передающего устройства системы космической связи. рованный спектр. Сигнал с шумами подается на ряд узкополосных фильтров, которые вырезают сигнал из более широкого спектра, и тем самым как бы сужается общая полоса приемного устройства, которая определяет уровень шумов.

Основным требованием, предъявляемым к наземным передающим устройствам, считают создание достаточной мощности излучения.

Как уже указывалось, по радиолинии Земля — космический корабль передаются команды управления бортовой аппаратурой и запросные сигналы траекторных измерений. Радиолиния, по которой предусматривается передача команд управления, должна обладать повышенной надежностью, для чего и требуется наземные передающие устройства с большой мощностью. В настоящее время созданы передающие устройства, позволяющие поддерживать надежную связь на расстоянии сотен миллионов километров.

Ученые США уже проектируют передающее устройство с непрерывной мощностью излучения 100 кВт. В таком передатчике в качестве генераторных приборов используется четыре мощных клистронов, синхронизированных между собой и работающих как один генератор.

Насколько велика эта мощность, можно судить по количеству электрической энергии для питания клистронов. Мощность одних только источников постоянного тока для питания этих четырех клистронов примерно равна мощности электростанции, обеспечивающей энергией небольшой город.

На рис. 8 приводится блок-схема передающего устройства.

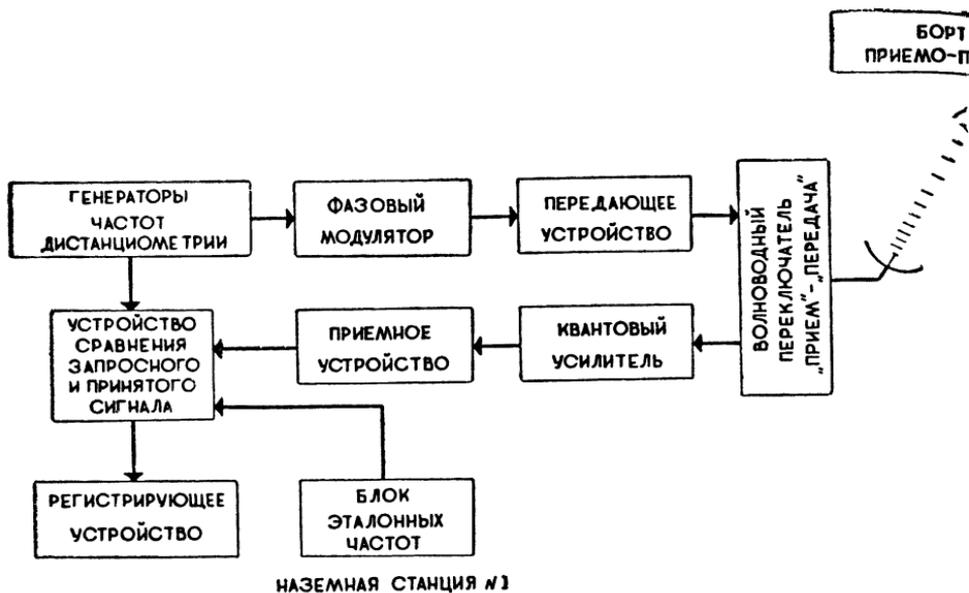


Рис. 9. Упрощенная блок-схема

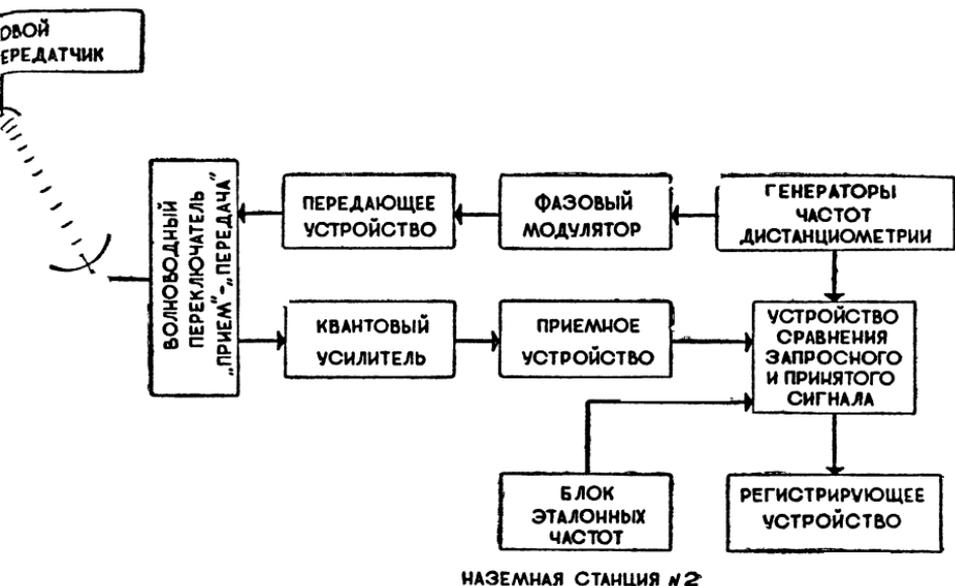
Для создания больших колебательных мощностей в импульсном режиме в СВЧ диапазоне используется генераторный прибор магнетрон<sup>1</sup>, а в непрерывном режиме — клистрон<sup>2</sup>.

В настоящее время для обеспечения дальней космической связи наиболее широкое применение находят радиолнии с непрерывным режимом работы. Освоение сантиметрового диапазона для систем дальней космической связи затруднено отсутствием мощных генераторных клистронов для столь высоких частот. Однако в настоящее время созданы мощные генераторные клистроны, работающие в диапазоне до 8500 мегагерц ( $\lambda = 3,5$  см).

Кроме перечисленных, наземная аппаратура включает еще большее количество сложных радиомеханических устройств. Сюда входят устройства выделения и регистрации телеметрических, телевизионных сигналов, аппаратура измерений пара-

<sup>1</sup> Магнетрон — электровакуумный прибор для генерирования высокочастотных колебаний, действие которого зависит от времени пролета электронов через электрические и магнитные поля.

<sup>2</sup> Клистрон — электровакуумный прибор для генерирования высокочастотных колебаний, в котором используется принцип модуляции электронного пучка по скорости. Электронный поток, управляющий сеткой, разбивается на группы электронов, движущихся с разными скоростями; проходя через сетку, они возбуждают колебаниями в резонансном контуре.



радиотехнической системы «АЗУАЗА-марк-II».

метров траектории, шифрующая и дешифрующая аппаратура командной радиолнии, высокостабильные задающие генераторы, вычислительные устройства для обработки принимаемого сигнала.

Приведенное перечисление показывает, насколько сложна аппаратура центров дальней космической связи.

Примером наземного измерительного комплекса дальней космической связи является наземный измерительный комплекс, с помощью которого производилось слежение за автоматической межпланетной станцией «Марс-1» и поддерживалась с ней связь в процессе полета. Именно этому комплексу и принадлежит мировой рекорд дальности связи—106 млн. км.

В него входят центр дальней космической радиосвязи и пункты контроля приземного участка. Центр дальней космической связи оснащен уникальной радиотехнической аппаратурой и антенными системами с очень большими эффективными площадями, позволяющими поддерживать радиосвязь на многие миллионы километров в различных диапазонах радиоволн.

Пункты контроля приземного участка необходимы по следующим причинам:

для получения максимально возможной точности измерения траектории на начальном участке полета путем замеров

из нескольких точек, достаточно далеко отстоящих друг от друга;

для приема возможно большего объема телеметрической информации, характеризующей работу систем и элементов конструкции космического корабля,

для слежения за космическим кораблем, имеющим большие угловые скорости, что трудно выполнить с помощью громоздких антенных систем, предназначенных для обеспечения связи на космические расстояния.

Все это приводит к необходимости иметь, кроме Центра дальней космической радиосвязи, еще и сеть пунктов приземного контроля, перекрывающих большие расстояния и оснащенных более простым и менее дорогим радиотехническим оборудованием и антенными системами, но способными следить за космическим кораблем, который движется со значительными угловыми скоростями.

В будущем, при развитии космических полетов, возникнет необходимость войти в связь с кораблем в любое время суток. Тогда одного центра дальней космической связи уже будет недостаточно.

Примером станции дальней космической связи может служить созданная в США система «АЗУАЗА-марк-II» (рис. 9).

Система предназначена для сопровождения и управления полетом космического аппарата на дальностях порядка 400 млн. км (при бортовой слабонаправленной антенне). При использовании на борту космического аппарата антенны с большим коэффициентом усиления дальность действия возрастает еще в 10 раз. В простейшем случае система включает в себя две наземные станции и бортовой ответчик (приемо-передатчик).

Основные характеристики системы:

мощность наземного передатчика — 10 квт;

наземная антенна — 28-метровый параболоид с коэффициентом усиления  $6 \cdot 10^6$ ;

мощность бортового передатчика — 50 вт;

коэффициент усиления бортовой антенны — 25;

частота — 5000 мегагерц.

С помощью данной системы связи осуществляется подача на борт космического аппарата команд управления, прием телеметрической информации с борта космического аппарата и измерение скорости и дальности.

Передаваемые на корабль команды автоматически ретранслируются бортовым ответчиком, что позволяет фиксировать прохождение команд на борту. Сигнал несущей частоты и сигнал, модулированный по фазе наземной станцией, ретранслируется бортовым ответчиком и принимается наземной станцией. Сравнение запросного и принятого сигнала как несущей частоты, так и модулированного по фазе позволяет опре-

делять скорость аппарата (используя эффект Доплера) и дальность до него. Точность определения дальности порядка трех метров.

Система сконструирована таким образом, что при выходе из строя радиолинии «Земля — борт» слежение за космическим аппаратом и траекторные измерения могут осуществляться, хотя и с меньшей точностью, определяемой стабильностью бортовых эталонов частоты.

## Оборудование космических кораблей

Космические корабли, прокладывающие путь к планетам солнечной системы, представляют собой весьма сложные технические устройства. Они оборудованы прежде всего системами ориентации и астронавигации, терморегулирования и энергоснабжения и разнообразной радиоэлектронной аппаратурой.

Кроме этого, на борту корабля обычно имеются: двигательная установка, научная аппаратура и антенно-фидерные устройства.

**Двигательная установка.** Современный уровень развития техники запуска позволяет обеспечить достаточно высокую точность вывода корабля на орбиту. Но большая протяженность космических трасс, недостаточное знание влияния небесных тел на траекторию полета и ряд других факторов делают необходимым осуществлять коррекцию траектории полета корабля. Иногда условия полета требуют выполнения коррекции несколько раз.

Эта сложная и важная для успеха всей программы полета операция выполняется с помощью корректирующей двигательной установки. Если программа предусматривает посадку корабля на поверхность планеты, эта же двигательная установка может быть использована в качестве тормозной.

В настоящее время в качестве корректирующих и тормозных двигателей наиболее широко используются жидкостные реактивные двигатели. Их применение особенно целесообразно по сравнению с двигателями на твердом топливе, при необходимости многократного включения двигательной установки.

**Система ориентации и астронавигации.** Система ориентации необходима космическому кораблю для различных целей. И прежде всего для проведения коррекции траектории полета, так как дополнительная скорость, которая придается космическому кораблю при коррекции двигательной установки, должна иметь строго определенное направление в пространстве. Это обычно осуществляется требуемой пространственной ориентацией космического корабля, с корпусом которого жестко связана двигательная установка.

Для питания бортовой аппаратуры и подзарядки химиче-

ских источников питания панели солнечных батарей корабля должны быть постоянно обращены к Солнцу.

Кроме того, должны быть строго ориентированы в пространстве остронаправленные бортовые антенны, объективы фото- и телекамер. Только в этом случае будет обеспечено высокое качество передачи фото- и телевизионного изображения поверхности планет, их облачного покрова и т. д.

Для успешной ориентации корабля в пространстве должны бесперебойно действовать астронавигационная аппаратура и исполнительные органы системы ориентации.

Астронавигационная аппаратура состоит из оптических и фотоэлектрических датчиков, следящих за определенными небесными светилами, гироскопов, счетно-решающих и логических устройств.

Сигналы с астронавигационной аппаратуры подаются на исполнительные органы системы ориентации, которые и заставляют корабль принять требуемое угловое положение в пространстве. В качестве исполнительных или рабочих органов системы ориентации и стабилизации наиболее часто используется система реактивных сопел, питаемых сжатым газом. Подобная система обладает хорошей надежностью; она способна устранять большие возмущающие моменты, действующие на корабль. Однако основным недостатком такой системы считается необходимость иметь довольно большой запас сжатого газа (рабочего тела). Величина этого запаса зависит от предполагаемого времени работы системы ориентации.

В качестве рабочих органов можно использовать вращающиеся маховики (инерционные массы), расположенные по осям корабля. Способ их действия основан на одном из основных законов механики — законе сохранения главного момента количества движения.

Принцип действия маховиков заключается в следующем. Предположим, необходимо стабилизировать корабль, вращающийся относительно одной из своих осей. В этом случае маховик, расположенный по этой же оси, необходимо двигателем раскрутить в направлении вращения корабля. Так как главный момент энергии относительно каждой из осей должен сохраняться постоянным, то при определенной скорости вращения маховика вращение корпуса корабля будет остановлено. Такие исполнительные органы рационально использовать при действии на корабль небольших возмущающих моментов, в противном случае потребуются маховики с довольно значительной массой, и система ориентации должна будет работать длительное время.

Для космических аппаратов наиболее рационально совместное использование обеих систем — системы реактивных сопел для устранения больших возмущающих моментов, например после вывода на орбиту корабля или после коррекции

его траектории, и системы маховиков для стабилизации корабля при длительном нахождении его на орбите.

В настоящее время разрабатываются и испытываются принципиально новые системы ориентации, в которых моменты для стабилизации или поворота корабля на требуемые углы создаются инерционными силами, возникающими при движении ртути или другого жидкого металла по замкнутому контуру.

Для стабилизации объекта относительно трех осей требуются три замкнутых контура. Циркуляция ртути обеспечивается так называемым электромагнитным насосом. Он действует так. Перпендикулярно трубопроводу со ртутью создается магнитное поле, а по трубопроводу пропускается постоянный ток, создающий, в свою очередь, магнитные поля. В результате взаимодействия магнитных полей ртуть будет перемещаться по трубопроводу. Скорость и направление перемещения ртути будет меняться в зависимости от величины и направления тока.

Эту систему можно использовать и в сочетании с системой управляющих сопел, что дает ей ряд преимуществ перед системой с маховиками. Отсутствие движущихся деталей значительно повышает ее надежность, а питание электрической энергией обеспечивает быстрое действие.

**Система терморегулирования.** Известно, что температура тел, движущихся в межпланетном пространстве, меняется в больших пределах, в зависимости от освещенности их лучами Солнца. Солнце — основной источник энергии в межпланетном пространстве. В результате проведенных исследований установлено, что на искусственный спутник Земли приходится поток солнечной энергии, равный  $1,4 \cdot 10^{14}$  фотонов на квадратный сантиметр в секунду.

При переводе в калории это составляет приблизительно 0,03 малых калории на квадратный сантиметр поверхности тела в секунду. Разница температур освещенной и затененной поверхности тел может колебаться в пределах нескольких сотен градусов. Такой перепад неблагоприятно влияет на работу радиотехнической аппаратуры и других систем космического корабля.

Другим источником тепла космического аппарата является его работающая бортовая аппаратура. При запуске космических аппаратов температура различных частей его может меняться в пределах от минус  $55^{\circ}$  до плюс  $650^{\circ}\text{C}$ . Чтобы устранить температурные колебания на космическом корабле, обычно предусмотрена система терморегулирования. Известно несколько систем терморегулирования, отличающихся друг от друга по принципу действия.

Так, равномерный нагрев космического корабля и колебания температуры его поверхности в допустимых пределах

можно обеспечить вращением корабля вокруг оси, подбором материалов и соответствующей окраской элементов внешней конструкции корабля. Однако подобная система терморегулирования, хотя и довольно экономична, но далеко не всегда удобна. Она слишком «пассивна». Солнечные батареи, установленные на космическом корабле, нужно ориентировать на Солнце, направленные антенны — на Землю. Все это затрудняет конструктивное выполнение такой системы терморегулирования.

Для регулирования температуры на борту аппарата могут использоваться специальные радиаторы, через которые по замкнутому контуру циркулирует жидкость-теплоноситель или охладитель. Радиаторы для нагрева выполняются из материалов, хорошо поглощающих солнечные лучи, а поверхность радиаторов для охлаждения хорошо отражает солнечные лучи.

В зависимости от температуры аппаратуры корабля включается соответствующая система радиаторов. Чтобы обеспечить равномерный нагрев аппаратуры внутри корабля, его отсеки герметизируются и наполняются газом. Это делается потому, что высокая степень разрежения межпланетного пространства обуславливает хорошую теплоизоляцию отдельных элементов аппаратуры космического корабля, что, в свою очередь, вызывает неравномерный нагрев аппаратуры и затрудняет ее охлаждение.

**Система электропитания.** Источники питания бортовой аппаратуры служат одним из важнейших элементов бортового оборудования. Они во многих случаях ограничивают мощность бортовых передающих устройств, потребляющих значительную часть электрической энергии, и определяют длительность функционирования всех систем космического корабля.

Анализ тенденций развития космических полетов, сделанный зарубежными учеными, позволяет предположить, что вплоть до семидесятых годов потребная мощность источников питания не будет превышать следующих значений:

ИСЗ для научных исследований . . .	1 квт
ИСЗ специального назначения, (геодезические, навигационные, связные и т. д.)	3 квт
космические аппараты . . . . .	2 квт

Для снабжения энергией бортовых систем космических кораблей применяются химические источники питания и солнечные батареи. Такими источниками могут служить аккумуляторные батареи. Обычно это серебряно-цинковые или никель-во-кадмиевые кислотные батареи. Они обладают наиболее высокой удельной емкостью, коэффициентом полезного действия, менее чувствительны к резким изменениям температуры и т. д.

Емкость аккумуляторов прямо пропорциональна их весу.

Поэтому ясно, что обеспечить длительную работу бортовой аппаратуры, используя только химические источники питания, довольно трудно. В настоящее время удельная емкость химических источников питания составляет ориентировочно 0,1 квт-ч на один килограмм веса.

Однако химические источники питания имеют очень хорошее свойство — их мощность можно регулировать в широких пределах. Практически она ограничена только их внутренним сопротивлением.

Источником энергии для космического корабля может служить и лучистая энергия Солнца, которая преобразуется в электрическую энергию в фотоэлектрических генераторах, получивших название солнечных батарей. Конструктивно они выполнены в виде панелей, на которых размещаются кремниевые элементы. Применяемые сейчас за рубежом солнечные батареи имеют коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую 10—12%. Это позволяет получать с квадратного метра поверхности батареи до 100 вт электрической мощности. Эта цифра справедлива для космических кораблей, находящихся на орбите спутника Земли. Что же касается межпланетных кораблей, то в этом случае количество электроэнергии, вырабатываемой батареями, будет в значительной степени зависеть от расстояния до Солнца. С помощью солнечных батарей в космическом пространстве мы можем получать «даровую» энергию непрерывно в течение длительного времени, но для этого панели солнечных батарей должны быть строго ориентированы на Солнце. Однако мощность солнечных батарей сравнительно невелика, так как их геометрические размеры и вес ограничены по конструктивным соображениям.

В иностранной печати появилось сообщение о том, что создана солнечная энергетическая установка мощностью 4 квт. Она состоит из 130 000 солнечных элементов.

Как правило, на борту космических аппаратов используется система энергопитания, представляющая собой комбинацию солнечных батарей и химических источников питания. Это позволяет проводить постоянную подзарядку химических источников питания от солнечных батарей. В период сеансов связи, когда потребление энергии резко возрастет, питание аппаратуры производится за счет энергии, запасенной в аккумуляторах.

Такая система энергопитания считается в настоящее время наиболее рациональной.

Ученые и инженеры работают сейчас над проблемой использования топливных элементов для питания систем космического корабля. Топливные элементы преобразуют энергию химических реакций непосредственно в электрическую энергию. Этот вид источников электрической энергии имеет большие перспективы для применения на космических аппаратах.

Уже разработан топливный элемент, в котором используется реакция водорода с кислородом. Его мощность равна 1,7—1,6 кв. К. п. д. такого источника питания составляет около 70%, удельная мощность на единицу объема 180 *квт/м<sup>3</sup>*. Он может работать в течение 14 суток. Большая удельная мощность и высокий к. п. д. позволяет использовать топливные элементы на космических аппаратах без солнечных батарей с большей эффективностью, чем химические аккумуляторные батареи.

Уже находят применение в космических аппаратах энергетические установки, преобразующие тепловую энергию ядерного распада радиоактивных элементов непосредственно в электрическую.

Как сообщается в зарубежной печати, разработана энергетическая установка с радиоактивным радиоизотопом полония (атомный вес — 210). Мощность установки пока невелика — 25 *вт*, продолжительность работы 5 лет и вес 12,5 *кг*. Такие установки в дальнейшем будут широко применяться в космических аппаратах, а мощность их будет увеличиваться.

В будущем, когда мощность ракет-носителей значительно возрастет, на межпланетные орбиты можно будет выводить космические корабли весом в десятки и сотни тонн. Тогда появится возможность применять бортовые ядерные источники питания. Опытные работы в этом направлении уже ведутся. Так, в США создана установка SNAP-50; ее мощность равна 1000 *квт*, а продолжительность работы — 10 тыс. часов.

Радиоэлектронная аппаратура. На современном космическом корабле имеется сложный комплекс радиоэлектронной аппаратуры, включающий средства траекторных измерений, оборудование передачи телеметрической и телевизионной информации, аппаратура командной радиолинии, программно-временные устройства и др.

Максимальное расстояние, на которое можно установить связь в космическом пространстве, зависит, в конечном итоге, от характеристики оборудования космического корабля (передающих и приемных устройств, антенн, систем ориентации в пространстве).

Одна из возможных блок-схем бортовой радиотехнической аппаратуры приводится на рис. 10.

К бортовой радиотехнической аппаратуре предъявляются жесткие требования, во многом противоречащие друг другу. Так, бортовая аппаратура должна иметь минимальный вес и габариты, отличаться высокой надежностью и экономичностью и в то же время обладать высокой чувствительностью и стабильностью и иметь большой срок службы. В таблице приведены параметры систем связи космос — Земля для различных космических аппаратов.

Принципиально бортовая радиотехническая аппаратура

имеет ряд существенных отличий от привычной нам радиоаппаратуры, применяемой в земных условиях. К ее особенностям относятся:

широкое применение малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры в целях обеспечения минимальных весов и габаритов аппаратуры;

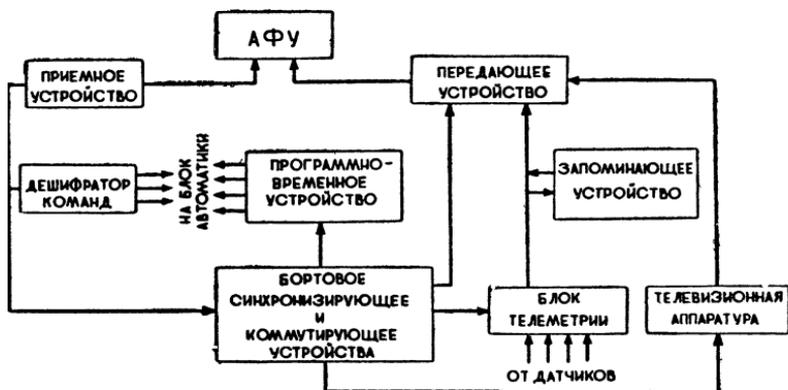


Рис. 10. Блок-схема радиотехнической аппаратуры космического корабля.

специальные методы монтажа, обеспечивающие соответствующие габариты и надежность работы бортовой аппаратуры;

использование полупроводниковых приборов, отличающихся высокой экономичностью, более надежных в эксплуатации и имеющих больший срок службы по сравнению с радиолампами.

Большие перспективы открывает применение в бортовой аппаратуре молекулярных генераторов. Сейчас в бортовой аппаратуре применяются кварцевые генераторы, имеющие суточную стабильность  $10^{-8}$ . Они обеспечивают достаточную точность траекторных измерений беззапросным методом. Применение молекулярных генераторов позволит повысить стабильность до  $10^{11}$ . В этом случае точность траекторных измерений еще более повысится. Беззапросные методы траекторных измерений позволят увеличить дальность действия траекторной радиолинии. Однако на современном этапе использование молекулярных генераторов в бортовой аппаратуре затруднено. Эти генераторы имеют значительный вес и габариты, для них требуются мощные экраны, а их охлаждение связано с довольно сложными операциями. По этой причине пока еще не рационально применять молекулярные и параметрические усилители в бортовых приемных устройствах.

При конструировании бортовой аппаратуры космических аппаратов вопросам надежности работы ее уделяют перво-

степенное внимание. На надежность бортовой аппаратуры оказывают влияние следующие факторы:

вибрация, ускорения и удары в процессе запуска, коррекции траектории или при торможении космического аппарата для посадки на поверхность планеты;

резкое изменение температуры в широких пределах;

солнечная радиация, космическое и рентгеновское излучение;

воздействие микрометеоритов;

воздействие разреженных газов;

вакуум космического пространства.

Чтобы устранить вредное влияние вибрации ускорений и ударов на бортовую аппаратуру, принимают ряд мер. В этой области уже накоплен значительный опыт. Прежде всего необходимо уделять особое внимание креплению тяжелых элементов. Так, при весе более 7 г элементы прикрепляют непосредственно на шасси и по возможности используют более короткие и толстые выводы. Чтобы устранить влияние вибраций, наиболее рационально применять печатные схемы.

Для исключения вредного влияния резких изменений температуры и поддержания ее в определенных пределах на космических аппаратах целесообразно применять системы терморегулирования, устройство которых мы рассмотрели выше.

Под воздействием высокого вакуума космического пространства и молекул диссоциированных газов свойства некоторых материалов космического корабля могут меняться.

Представляет опасность быстрое окисление или испарение некоторых материалов, особенно интенсивное при высоких температурах. Эти процессы еще не достаточно изучены. Пока наиболее эффективной защитой бортовой аппаратуры от вредного воздействия этих факторов считают помещения бортовой аппаратуры в герметизированные контейнеры, наполненные инертными газами или сухим воздухом.

Материалы, из которых выполнена аппаратура космического корабля и особенно полупроводниковые приборы, входящие в состав важнейших элементов аппаратуры (триоды, диоды, солнечные элементы), меняют свойства и под действием космического излучения. Работы по изучению воздействия космического излучения на аппаратуры космических аппаратов ведут ученые многих государств.

Свойства оптических систем и солнечных батарей ухудшаются при воздействии на них микрометеорных частиц, оставляющих на поверхности аппаратуры множество мелких углублений. Даже столкновение с частицами, вес которых не превышает таких минимальных величин, как  $10^{-16}$  г, оказывает вредное влияние на работу оборудования.

В связи с этим при проектировании солнечных батарей космических аппаратов учитывают возможность снижения их

эффективности в период ислета и предусматривают специальные устройства для защиты наиболее важных оптических систем. И так, к бортовой радиотехнической аппаратуре предъявляются высокие требования прежде всего с точки зрения ее надежности. Перед тем как получить путевку в космическое пространство аппаратура корабля или спутника проходит всесторонние испытания на Земле. В ходе испытаний имитируются те условия, в которых будет работать аппаратура при движении корабля в космосе: вибрации частотой от 30 до 5000 герц, ударные нагрузки, температуры от глубокого холода минус  $55^{\circ}\text{C}$  до высоких порядка плюс  $700^{\circ}\text{C}$  и т. д.

До настоящего времени еще не накоплено достаточного количества опытных данных о действии аппаратуры в космическом пространстве, работы в этом направлении ведут ученые многих стран.

Для полетов в околоземном космическом пространстве и по трассам к Луне на искусственных спутниках и автоматических станциях применялись в основном ненаправленные антенны. Для использования таких антенн не требовалось стабилизации космического корабля в полете. Ненаправленные антенны имеют вид вибраторов различного типа. Для радиоволн метрового диапазона вибраторы имеют значительные геометрические размеры и выполняются в виде металлических штырей, лент и т. д.

С момента запуска, вплоть до выхода на орбиту или межпланетную траекторию, вибраторы остаются в сложенном положении, а затем специальное устройство раскрывает их. По мере проникновения все дальше в глубины космоса для связи с космическими аппаратами начинают использовать направленные антенны. Только с их помощью можно обеспечить надежную связь на значительные расстояния. Космический корабль, на борту которого установлена направленная антенна, должен быть точно ориентирован и стабилизирован в пространстве в течение полета. От точности ориентации корабля в пространстве зависит и степень направленности бортовой антенны, так как при значительном отклонении направления максимального излучения бортовой антенны от направления на землю качество сигналов ухудшается, а иногда и вообще нарушается связь.

При допустимом ослаблении сигнала в 1,25 раза и точности ориентации космического корабля  $\pm 0,2^{\circ}$ ;  $1^{\circ}$  и  $3^{\circ}$  минимальная ширина луча бортовой антенны по уровню половинной мощности будет составлять соответственно  $0,8^{\circ}$ ;  $4^{\circ}$  и  $12^{\circ}$ .

Направленные антенны космических кораблей наиболее часто представляют собой параболические антенны, выполненные целиком из металла или с использованием металлизированной ткани на жестком каркасе. Антенна ориентируется на Землю либо при помощи системы ориентации всего корабля,

на котором жестко установлена антенна, либо ориентацией отдельного узла, на котором крепится антенна.

Последний способ, по-видимому, более перспективный, поскольку в этом случае ориентация самого корабля в полете не будет связана с его ориентацией на Землю во время проведения сеансов связи. Кроме того, последний вариант позво-

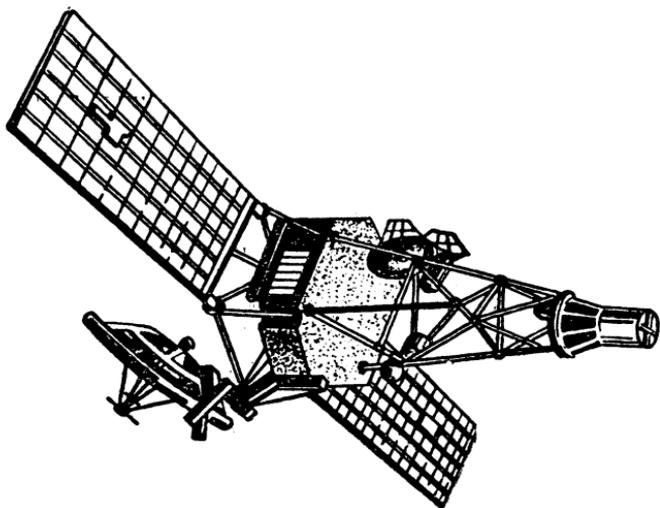


Рис. 11. Внешний вид космического аппарата США «Маринер-II».

ляет добиться более точной ориентации бортовой антенны пеленгацией принимаемого сигнала. Такой способ позволяет снизить требования к точности ориентации космического корабля, так как точность ориентации будет выбираться из условий вероятного попадания сигнала в зону приема бортовой антенны, а уже дополнительная ориентация антенны в направлении максимального излучения сигнала будет осуществляться автоматически.

Рассмотрим конструктивные особенности космических аппаратов, с помощью которых уже были проведены исследования ближайших к Земле планет солнечной системы.

Американский космический аппарат «Маринер-II» (рис. 11). До отделения от ракеты-носителя аппарат имеет максимальный поперечный размах 1,5 м и длину 3 м. В развернутом положении (после отделения от ракеты-носителя) длина аппарата составляет 3,6 м, а размах панелей с солнечными элементами — 5 м.

Каркас аппарата представляет собой шестигранную усеченную пирамиду трубчатой конструкции. Его вес 34,9 кг.

У большего основания пирамиды расположен шестигранный контейнер, внутри которого размещается двигательная установка с запасом топлива, никеле-кадмиевая батарея, преобразователи тока, аппаратура системы ориентации и запас сжатого газа для этой системы, автопилот, программное устройство и радиооборудование (без антенн).

Научные приборы, установленные на аппарате, весят 18,4 кг. Приведем краткие данные об этих приборах.

Микроволновый радиометр для регистрации излучения Венеры на волнах 13,5 и 19 мм. Излучение на волне 13,5 мм поглощается парами воды, а на волне 19 мм не поглощается парами воды (оно измерялось для определения температуры Венеры).

Параболическая антенна радиометра имеет диаметр 51 см. После включения радиометра антенна начинает сканирование в телесном углу  $120^\circ$  со скоростью 1 град/сек, которая затем снижается до 0,1 град/сек. Для определения фонового излучения космического пространства на параболической антенне расположены две большие рупорные антенны; их оси отклонены от оси параболической антенны на  $60^\circ$ , и в поле зрения рупорных антенн Венеры не попадает. Излучения, принятые параболической антенной и рупорными антеннами, сравниваются в кристаллическом приемном устройстве радиометра. Потребная мощность микроволнового радиометра 3,5 вт.

Инфракрасный радиометр для регистрации излучения в диапазонах 8—9 и 10—10,8 микрона. Излучение в первом диапазоне поглощается парами воды, излучение во втором диапазоне — углекислым газом. Этот радиометр предназначался для обнаружения разрывов в облачном покрове Венеры, если они существуют. Инфракрасный радиометр установлен на параболической антенне микроволнового радиометра, так что оба эти радиометра регистрировали в каждый момент излучения одного и того же участка. Для регистрации фонового инфракрасного излучения использовался специальный чувствительный элемент. Ось этого элемента отклонена от оси параболической антенны на  $45^\circ$ , и в поле его зрения планета не попадает. Вес инфракрасного радиометра 1,2 кг, диаметр 5,1 см, высота 15,2 см, потребная мощность 2 вт.

Магнитометр для измерения интенсивности и направления магнитных полей в межпланетном пространстве, а после сближения с Венерой — магнитного поля этой планеты. Чувствительные элементы магнитометра расположены по трем взаимно-перпендикулярным осям в металлическом цилиндре под всенаправленной антенной на максимально возможном удалении от тех элементов бортового оборудования, которые могут создавать магнитное поле. Порог чувствительности прибора 0,5 гамма, вес 2,13 кг, потребная мощность 6 вт.

Ионизационная камера для регистрации протонов с энер-

гией более 10 мегаэлектронвольт (*Мэв*). Электронов с энергией более 0,5 *Мэв* и альфа-частиц с энергией более 40 *Мэв*. Камера работает в импульсном режиме. При достижении предельного уровня заряда происходит разряд, и на Землю посылается соответствующий сигнал. Частота сигналов, получаемых от камеры, позволит определить среднюю степень ионизации космического излучения. С камерой связаны два счетчика Гейгера — Мюллера, регистрирующие число заряженных частиц. Счетчики откалиброваны таким образом, чтобы, сравнивая их показания, можно было определить отношение числа электронов к числу других частиц в космическом излучении. На аппарате установлен еще один счетчик Гейгера — Мюллера (с торцовым окошком) для регистрации протонов с энергией более 1 *Мэв* и электронов с энергией более 0,04 *Мэв*. Счетчики Гейгера — Мюллера установлены на каркасе аппарата на некотором расстоянии от прочего оборудования, чтобы на них не попадало вторичное излучение от этого оборудования. Общий вес ионизационной камеры и трех счетчиков Гейгера — Мюллера 1,27 кг, потребная мощность 0,4 вт.

Счетчик частиц низкой энергии для излучения так называемой «солнечной плазмы» (поток частиц низкой энергии, идущий от Солнца). Продольная ось счетчика параллельна продольной оси аппарата, которая почти постоянно направлена на Солнце. Чувствительность прибора может регулироваться путем изменения подводимого напряжения. Напряжение меняется периодически с помощью автоматического устройства. Самый низкий порог чувствительности 240 электронвольт. Вес счетчика 2,2 кг, потребная мощность один ватт.

Счетчик микрометеоров, состоящий из магниевой пластины (12,7 × 25,4 см), кристаллического микрофона и двух электронных счетчиков ударов. Вес счетчика 0,84 кг.

На космическом аппарате «Маринер-II» установлены также устройства для проверки исправности и работы бортового оборудования. Последовательность передачи данных от научных приборов и от проверочных устройств регулируется бортовым электронным временным устройством. На среднем участке полета телеметрические данные передавались сеансами по 37 секунд, в том числе данные от научных приборов 20 секунд (8<sup>1</sup>/<sub>3</sub> единицы информации в секунду) и от проверочных устройств 17 секунд (33<sup>1</sup>/<sub>3</sub> единицы информации в секунду).

Двигательная установка для коррекции траектории включает в себя ЖРД, работающий на продуктах разложения гидразина. Гидразин находится в эластичном баке и выдавливается из него в камеру сжатым гелием, хранящимся в баллоне под давлением 210 кг/см<sup>2</sup>. Тяга двигателя 22,7 кг, продолжительность работы может регулироваться в пределах от

0,05 до 57 секунд интегрирующим акселерометром, измеряющим скорость с точностью до 0,03 м/сек. Двигатель снабжен газовыми рулями, которые отклоняются по команде автопилота.

Никеле-кадмиевая батарея емкостью один киловатт-час используется до развертывания панелей с солнечными элементами, а также во время маневра аппарата (в это время панели не обращены к Солнцу) и в дополнение к солнечным элементам для получения пиковой мощности.

Панели с солнечными элементами несут 9800 элементов общей площадью 2,5 м<sup>2</sup>. Минимальная мощность, обеспечиваемая солнечными элементами, 148 вт, максимальная — 222 вт. Ориентация панелей относительно Солнца выдерживается с точностью 0,5°; для обеспечения такой ориентации управляющие реактивные сопла включаются примерно один раз в час.

Преобразователи тока обеспечивают получение постоянного (25,8—33,3 в) и переменного (50 в, 2400 герц и 26 в, 400 герц) тока.

Система ориентации включает в себя три гироскопа, запас азота, реактивные управляющие сопла и датчики. Азот хранится под давлением 245 кг/см<sup>2</sup> в двух баллонах из титанового сплава. Запас азота (1,95 кг) рассчитан на 200 суток. В управляющие реактивные сопла азот поступает под давлением 1,05 кг/см<sup>2</sup>. Десять управляющих сопел, расположенных четырьмя группами, должны обеспечивать заданную ориентацию аппарата относительно Солнца и Земли. Кроме того, с помощью этих сопел аппарат ориентировался перед включением бортовой двигательной установки.

Чувствительными элементами системы ориентации служат шесть солнечных датчиков и датчик направления на Землю. Четыре солнечных датчика крепятся в различных местах на каркасе аппарата, два — на панелях с солнечными элементами. Датчик направления на Землю установлен на направленной антенне.

Радиооборудование включает в себя передатчик, командный приемник и три антенны: направленную, всенаправленную и антенну командного приемника. Мощность передатчика 3 вт. Он включается при старте ракеты-носителя, но первое время работает на пониженной мощности (1,1 вт) во избежание возникновения дугового разряда при полете на высотах 45—75 км. Передатчик работает на направленную или на всенаправленную антенну. В основном используется направленная антенна (диаметр 1,2 м) с высоким коэффициентом усиления, которая должна обеспечивать радиосвязь на расстоянии до 100 млн. км. Всенаправленная антенна используется в те периоды, когда направленная антенна не обращена к Земле (в начальный период полета и во время маневра). Антенна

командного приемника установлена на одной из панелей с солнечными элементами. Аппарат был выведен на орбиту 27 августа 1962 года. В период полета был выявлен ряд неисправностей в аппаратуре. Минимальное расстояние планеты было значительно больше расчетного и составило около 34 600 км. Это значительно снизило ценность данных научных

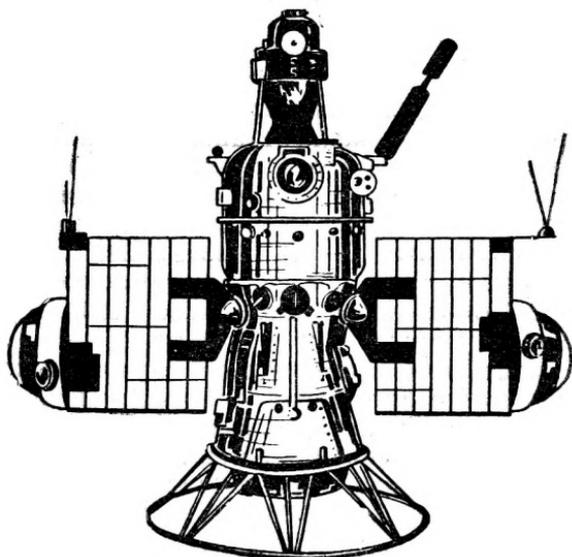


Рис. 12. Внешний вид космического корабля «Марс-1».

измерений. Прием информации с аппарата прекратился на дальности 86,9 млн. км.

Советская автоматическая межпланетная станция «Марс-1» (рис. 12) имеет наибольшие размеры 3,3 м по длине и 4 м по ширине с учетом солнечных батарей и радиаторов. Вес станции «Марс-1» — 893,5 кг; она выполнена в виде двух герметических отсеков — орбитального и планетного.

На орбитальном отсеке диаметром 1,1 м размещены корректирующая двигательная установка, панели солнечных батарей, полусферические радиаторы системы терморегулирования и антенны. Аппаратура орбитального отсека предназначена для обеспечения работы станции в период ее движения по межпланетной трассе. Сбрасываемые обтекатели защищали АМС при движении через плотные слои атмосферы. После отделения станции от последней ступени ракеты-носителя солнечные батареи, радиаторы и антенны раскрываются и переходят в рабочее положение.

Движение станции по сложной межпланетной трассе, ее правильное положение в космосе, сбор и передачу на Землю

научных данных обеспечивают радиотехническая аппаратура, система ориентации и коррекции траектории, источники энергопитания, а также научное оборудование. Магнитометры для обнаружения магнитного поля планеты и определения интенсивности магнитных полей в космическом пространстве между Землей и Марсом, газоразрядный и сцинтилляционный счетчик для выявления радиационных поясов планеты и изучения спектра космического излучения, счетчик для изучения ядерной компоненты первичного космического излучения, радиотелескоп для анализа космического излучения в диапазоне волн 150 и 1500 м, специальные датчики для регистрации протонов, электронов и концентрации положительных ионов вблизи планеты и в космическом пространстве, датчики для регистрации микрометеоритов.

Автоматическая станция «Марс-1» оснащена тремя радиосистемами, с помощью которых проводились траекторные измерения и передавалась на Землю телеметрическая информация: одна система работала в метровом диапазоне (1,6 м), другая — в дециметровом (32 см), а третья — в сантиметровом (5 и 8 см).

Специальные коммутаторы подсоединяют к передатчику научную аппаратуру и датчики, следящие за работой систем станции, и все эти сведения поступают на Землю в ходе сеансов связи. В промежутках между сеансами работают запоминающие устройства.

Система ориентации вступает в действие после отделения от космической ракеты. Она гасит все колебания, действующие на автоматическую станцию, и устанавливает ее в определенное положение. Корректирующий двигатель включается после того, как система ориентации обеспечит постоянное направление солнечных батарей на Солнце. Станция ориентируется оптическими датчиками направления на Солнце, заданную звезду и планеты.

Система термрегулирования регулирует температурный режим на борту станции. Систему терморегулирования составляют два полусферических радиатора, разделенные на две части, поверхности которых имеют различную теплоемкость и нагреваются Солнцем до различных температур. Теплообменники внутри герметических отсеков распределяют специальную жидкость, нагревая ее из холодных или теплых частей радиаторов, в зависимости от температуры станции.

В период полета АМС «Марс-1» были собраны ценные научные данные о трех радиационных поясах в космическом пространстве, о межпланетной и солнечной плазме, о потоках ионизированного газа, идущих от Солнца, о напряженности магнитного поля в космосе, о распределении метеоритного вещества.

Со станцией «Марс-1» был проведен 61 сеанс связи, в пе-

риод которых на борт было передано свыше 3000 радиокоманд. Впервые удалось поддерживать двухстороннюю радиосвязь со станцией на расстоянии 106 млн. км.

Полученные данные подтверждают правильность построения и эффективность радиолиний, методов модуляции и кодирования, обнаружения и выделения сигналов, измерения параметров движения станции.

На основе анализа работы радиолиний установлено, что их энергетика позволяет обеспечивать надежную радиосвязь на расстоянии свыше 400 млн. км.

## Будущее космической связи

Развитие техники космических полетов в ближайшие десятилетия потребует значительного увеличения дальности действия и информативности радиолиний связи. Каковы же пути дальнейшего развития средств космической связи?

Прежде всего будут применяться «традиционные» методы улучшения технических характеристик бортовой и наземной радиотехнической аппаратуры: дальнейшее увеличение коэффициента полезного действия бортовых и увеличение мощности наземных передающих устройств, повышение чувствительности приемных устройств, снижение эффективной шумовой температуры всего приемного тракта, увеличение эффективных площадей антенных систем.

Коэффициент полезного действия современных бортовых передающих устройств составляет 10—40%. Применение более совершенных электровакуумных и полупроводниковых приборов позволит в дальнейшем значительно увеличить к. п. д. Это даст увеличение мощности бортовых передающих устройств, которая сейчас еще очень ограничена сравнительно малой мощностью источников питания.

Чувствительность радиоприемных устройств будет увеличиваться в основном за счет применения малошумящих ламп бегущей волны параметрических и молекулярных усилителей. Высококачественные молекулярные усилители, охлаждаемые жидким азотом или гелием, найдут особенно широкое применение в наземной аппаратуре.

Применение малошумящих усилителей в бортовых приемных устройствах связано со значительным увеличением веса бортовой аппаратуры. Использовать их не всегда целесообразно, так как направленная антенна на борту космического корабля будет видеть наземный передатчик на фоне шумов Земли, который достаточно велик и достигает 300°К.

В одном из разделов уже говорилось, что в настоящее время для связи с космическими кораблями наиболее широкое применение находят зеркальные параболические антенны

с большими эффективными площадями. Однако их можно увеличивать до определенного предела. 180-метровый радиотелескоп в Шугер-Гров (США), очевидно, можно признать пределом возможного увеличения геометрических размеров параболических антенн со сканированием (перемещением радиолуча) по азимуту и углу места путем вращения.

Можно конструировать параболические антенны с большими площадями неподвижного зеркала, где сканирование будет достигаться перемещением облучателя. Примером подобной антенны служит 300-метровая параболическая антенна в Пуэрто-Рико, созданная в естественной впадине на поверхности Земли.

Однако уже в ближайшем будущем такие антенны, которые сейчас кажутся гигантскими, перестанут удовлетворять инженеров и ученых, занимающихся проблемами дальней космической связи. Какие можно предвидеть тенденции развития средств связи с космическими кораблями и аппаратами?

Будущее систем космической связи, несомненно, принадлежит антеннам с эффективной площадью в сотни тысяч квадратных метров. Подобные антенны можно построить лишь в виде гигантских синфазных полотен или решеток и с электронным сканированием луча. Управлять подобной антенной будут, очевидно, лишь с помощью специальной электронно-вычислительной машины.

Развитие космической радиосвязи будет зависеть и от дальнейшего совершенствования ракетной техники. С увеличением полезного груза, выводимого на межпланетные трассы, окажется возможным оснастить космические корабли все более мощными источниками питания, более точными системами ориентации и астронавигации. Увеличение мощности и срока действия бортовых источников позволит увеличить и мощность бортового передатчика. Так, наличие на борту корабля ядерной энергетической установки мощностью 1000 квт и более позволит повысить среднюю мощность бортовых передатчиков до десятков и даже сотен киловатт. Напомним, что сейчас используются передатчики мощностью порядка десятков ватт.

Наличие на кораблях и автоматических станциях точных систем ориентации и стабилизации позволит эффективно использовать узконаправленные бортовые антенны, применение которых в сущности эквивалентно увеличению мощности бортовых передатчиков.

И, наконец, третий путь развития — это разработка и внедрение принципиально новых средств связи.

В будущем для дальней космической связи будут применяться миллиметровые, субмиллиметровые и световые волны. Они позволяют добиться исключительно высокой степени направленности с помощью небольших и легких антенн. Это особенно важно для бортовых антенн.

В этих диапазонах волн возможно создать колоссальные концентрации энергии в узких пучках.

Если обычные радиочастоты позволяют передать не более сотен тысяч единиц информации в секунду, а сверхвысоко-частотный диапазон — сотни миллионов единиц, то выход в оптический диапазон и освоение частот, в миллионы раз превышающих частоты современного телевизионного вещания, сулит широчайшие возможности для развития дальней космической связи.

Работы над квантовыми генераторами уже ведутся в широких масштабах. Они, несомненно, откроют человечеству величественные перспективы во многих областях, включая сверхдальнюю связь.

Уже сейчас ученым удалось получить световой луч шириной  $0,01^\circ$ . На каждые 1600 м пройденного расстояния линейная ширина такого луча возрастает лишь на 30 см. Если квантовый генератор применить для связи с космическим аппаратом, находящимся на удалении 1600 км от Земли, то его ширина у аппарата составила бы лишь 60 м. А если луч квантового генератора направить на Луну, он осветит на ней площадку диаметром не более 16 км. Таким образом, его направленность в 2000 раз больше направленности обычного некогерентного источника, например прожектора.

Что же касается затрат энергии на передачу информации, то система с квантовым генератором, согласно проведенным расчетам, расходует на передачу двоичной единицы информации в секунду лишь  $10^{-16}$  вт. Система, работающая в радиочастотном диапазоне, израсходует для передачи той же единицы в секунду  $10^{-7}$  вт, а система с некогерентным источником света —  $10^{-10}$  вт.

Как же работают системы связи светового диапазона? Принцип их работы заключается в следующем: в системе модулируется световой поток, выходящий из генератора. Сигнал излучается узким лучом в космическое пространство. Оптическая ось приемника строго параллельна оптической оси передатчика. Внешняя оптическая система фокусирует принятый световой сигнал на квантовый усилитель. Сигнал усиливается, проходит через детектор и попадает на демодулятор, выделяющий соответствующую частоту. В такой системе достигается исключительно высокая чувствительность приемного устройства вследствие того, что излучение квантового усилителя происходит под воздействием сигнала строго определенной частоты. Все шумы фона и помехи отсеиваются, поскольку приемное устройство реагирует лишь на сигналы, поступающие на него параллельно оптической оси.

Оптический диапазон открывает реальные возможности для связи с обитателями других миров, отдаленных от нас на десятки световых лет.

Однако применение средств связи оптического диапазона связано с определенными трудностями. Дело в том, что энергия волн этих диапазонов значительно поглощается атмосферой Земли и, очевидно, других планет. Поэтому для организации связи с космическим кораблем необходимо будет иметь ретрансляционные станции за пределами нашей атмосферы.

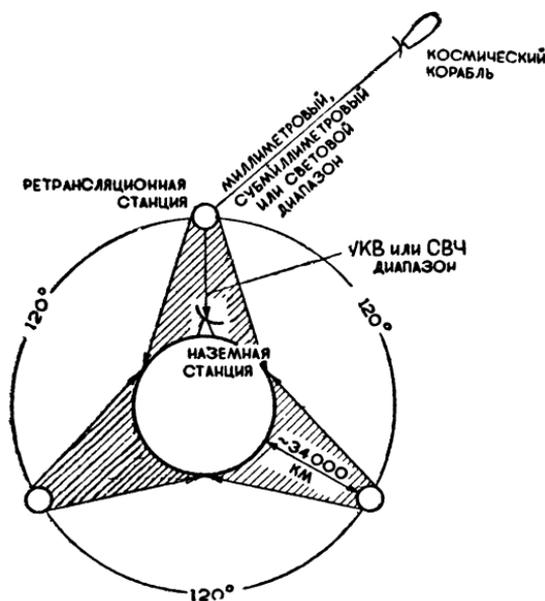


Рис. 13. Схема связи с космическим кораблем.

В случае посадки космического корабля на другую планету нужны будут такие же станции за пределами ее атмосферы. Тогда связь корабль — ретрансляционная станция можно будет поддерживать на одном из указанных диапазонов радиоволн, а связь ретрансляционная станция — Земля — в диапазоне, прозрачном для земной атмосферы или атмосферы планеты.

Подобную ретрансляционную станцию можно установить на естественном спутнике нашей планеты — Луне, на специальном искусственном спутнике или на одном из спутников системы глобальной связи, создание которой можно, очевидно, ожидать в недалеком будущем.

На рис. 13 приведена схема системы связи с космическим кораблем, использующая ретрансляционные станции за пределами атмосферы.

В качестве ретрансляторов в данном случае используют

ИСЗ, входящие в систему глобальной связи. Здесь для надежной связи с космическим кораблем, движущимся по межпланетной трассе, используются спутники на стационарной орбите. При этом один из трех спутников будет обязательно находиться в зоне надежной связи с кораблем. Два других спутника обеспечат ретрансляцию принимаемых из межпланетного пространства сигналов в любой район земного шара.

Недалеко то время, когда вслед за автоматическими кораблями к планетам нашей солнечной системы полетят корабли с экипажем на борту. Для этого необходимо решить много технических задач, основной из которых является создание сверхмощных ракет-носителей. Однако уже сейчас ученые многих стран работают над проектами подобных кораблей. По данным зарубежной печати, в США разработан проект космического корабля для полета на Марс, и схема такого полета. По проекту вес космического корабля должен составлять около 680 тонн, а длина — 213 метров. На борту будут находиться 6 космонавтов. Предполагается, что из них трое будут пилотами, а трое — учеными.

Проектирующийся корабль состоит из трех отсеков: невозвращаемого отсека экипажа, марсианской кабины и возвращаемого отсека экипажа. В невозвращаемом отсеке экипажа размещаются: лаборатория, жилье, помещения, кухня, ванная, пульт управления. В основании отсека установлена основная двухступенчатая двигательная установка. Кроме того, к основанию отсека крепится двигатель, помещенный на вытянутой (телескопической) штанге, создающей вместе с кораблем систему, которая, вращаясь вокруг своего центра масс, будет создавать искусственное тяготение.

Марсианская кабина состоит из дискообразного теплозащитного экрана, станции-лаборатории, предназначенной для пребывания космонавтов в период исследовательской работы на поверхности Марса, и контейнера с двигательной установкой, предназначенного для возвращения космонавтов с поверхности планеты на космический корабль.

Возвращаемый отсек экипажа имеет форму конуса и обеспечивает теплозащиту космонавтов при входе в земную атмосферу.

Предполагается, что возвращение отсека на Землю будет осуществлено без использования тормозных двигательных установок, а только за счет аэродинамического торможения (торможения за счет трения в воздушной среде). По проекту корабль по частям выводится на орбиту искусственного спутника Земли, где производится его сборка. Затем с помощью первой ступени основной двигательной установки корабль выводится на траекторию полета к Марсу.

При подлете к Марсу вторая ступень основной двигательной установки обеспечивает выход корабля на орбиту спут-

ника Марса. С вращающегося по орбите вокруг Марса корабля на поверхность Марса будет спущена марсианская кабина с космонавтами, которые, выполнив программу исследований и оставив на поверхности Марса станцию-лабораторию, вернутся в контейнере на корабль. Затем вторая ступень двигательной установки выведет космический корабль на траекторию полета к Земле. При входе в земную атмосферу невозвращаемый отсек экипажа будет отброшен, а экипаж разместится в возвращаемом отсеке.

Согласно проекту, весь полет продлится 380—400 дней, из них: 100—120 дней на полет к Марсу, 40 дней на исследование Марса и 240 дней на полет к Земле.

При полете корабля необходимо поддерживать с экипажем радио-телефонную связь. Эта связь будет наиболее важной не столько потому, что словесная информация наиболее доступна, а также и потому, что она даст космонавтам успокаивающее ощущение неразрывной связи с Землей, что может быть совершенно необходимым после многих дней космического полета.

Но поддержание радиотелефонной связи на расстояниях сотен миллионов километров является сложнейшей технической задачей. Существующие системы дальней космической связи могут обеспечить связь на подобные расстояния только при приеме сигналов в узкой полосе пропускания порядка десятков или даже единиц герц. Для передачи человеческой речи требуется полоса порядка 5—10 килогерц. Подобное расширение полосы принимаемого сигнала эквивалентно уменьшению мощности сигнала в сотни раз. Ясно, что создание радиотелефонных линий сверхдальней связи затруднительно. В связи с этим большой интерес представляет возможность использования для телефонной связи квантово-механических генераторов света — лазеров, о которых уже говорилось раньше. В этой области ведется интенсивная исследовательская работа советскими и зарубежными учеными. Так одна американская фирма провела с помощью лазера эксперимент по телефонной связи мощностью 125 микроватт. Когерентное излучение лазера модулировалось частотой 28,62 мегагерца, которая в свою очередь модулировалась телефонным сигналом. В период двух ночных сеансов связи на расстояние около 200 километров был передан текст из 300 слов.

Возможно, однако, что к моменту старта первых кораблей с экипажами из-за сложности технических проблем не будет еще возможности поддерживать с космонавтами прямую телефонную связь на больших расстояниях. Как быть в этом случае? Здесь придется применять различные технические «хитрости». Например, можно уменьшить полосу сигнала путем увеличения времени на его передачу. В этом случае

словесная информация предварительно записывается на магнитофон, а затем с меньшей скоростью ею модулируется несущая частота. На приемном устройстве происходит обратная картина — принятый сигнал записывается на магнитофон, а затем с повышенной скоростью так, чтобы сохранялся темп нормальной человеческой речи, воспроизводится. Возможен еще один прием, имеющий чисто психологический эффект. На борту корабля имеется целый ряд команд, сообщений и т. п., записанных заранее на магнитную ленту. По радиолинии с Земли воспроизводится требуемая команда или сообщение. Этот очень искусственный, на первый взгляд, прием может сильно сократить поток информации, который должен передаваться на борт корабля, и во многих случаях повысить оперативность в передаче распоряжений и команд.

\* \*

\*

Радиоэлектроника стала важнейшей отраслью техники, решающей жизненно важные задачи научно-технического прогресса. Она решает совместно с физикой и химией задачи управления, создает разнообразные материалы с заданными свойствами, разрабатывает новые источники энергии, обеспечивает автоматизацию производства и процессов обработки информации.

Претворение в жизнь решения декабрьского Пленума ЦК КПСС о развитии химической промышленности сулит большие перспективы для развития средств дальней космической связи. Химия даст возможность создать новые легкие, высокопрочные материалы для термостойких конструкций и элементов, сверхчистые материалы для полупроводниковых приборов, электровакуумного оборудования, световых генераторов, микроэлектронных блоков. Химики помогут получить новые материалы для защиты от вредных факторов космического пространства оборудования космических кораблей и прежде всего блоков сбора, обработки и передачи на Землю научной информации. Новые синтетические материалы обеспечат повышенное качество, надежность и срок службы радиоэлектронного оборудования.

Прогресс физики и химии твердого тела, изучение состава полупроводниковых и диэлектрических кристаллов позволит достичь еще более высокой степени микроминиатюризации, имеющей огромное значение для развития молекулярной электроники.

Штурм космоса продолжается. Специалисты дальней космической связи готовятся принять участие в новых дерзновенных опытах по исследованию глубин космоса, планет солнечной системы.

Творческий гений советских людей делает былью самые фантастические планы и дерзания.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	<i>Стр.</i>
Дальняя космическая связь . . . . .	3
О шумовой температуре . . . . .	9
Наземная аппаратура . . . . .	12
Оборудование космических кораблей . . . . .	23
Будущее космической связи . . . . .	38

Авторы

**Виталий Николаевич ПЕТРОВ и Григорий Сергеевич ХОЗИН**

Редактор **И. Б. Файнбойм**

Техн. редактор **А. С. Назарова**

Корректор **А. А. Пузакова**

---

Сдано в набор 15/IV 1964 г. Подписано к печати 11/VI 1964 г. Изд. № 143.  
Формат бум. 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. л. 1,5. Печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,61.  
А 03061. Цена 9 коп. Тираж 39 000 экз. Заказ 1509.

Опубликовано тем. план 1964 г. № 256.

Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

---

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ» ВЫПУСТИЛО в 1964 году  
следующие брошюры по серии**

**«ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА, АСТРОНОМИЯ»:**

1. **Б. Г. Кузнецов.** Физика и логика.
2. **И. Л. Радунская.** Мазеры.
3. **С. В. Вонсовский.** Природа магнетизма
4. **А. С. Коровкин.** Инфракрасная техника и космос.
5. **Сборник.** Строение вещества.
6. **А. С. Компанеец.** На переднем крае науки.
7. **А. Н. Григорьянц.** Атомная энергетика сегодня.
8. **В. Г. Фесенков.** Жизнь во Вселенной.
9. **Ю. Г. Перель.** Галилей и современная астрономия.
10. **Я. А. Смородинский.** Частицы и волны.
11. **Сборник.** Энергетика будущего.
12. **Сборник.** Рождение и эволюция галактик и звезд.

**Готовятся к изданию:**

- К. П. Станюкович, С. М. Колесников.** Гравитация.  
**Б. И. Стыро.** Изотопы рождаются в атмосфере.  
**Сборник.** Проблемы теории элементарных частиц.  
**В. Ф. Ноздрев.** Молекулярная акустика.  
**Сборник.** Луна.  
**Ю. И. Левин.** Математика и языкознание.  
**А. И. Яблонский.** Машина принимает решение.

Подписывайтесь на брошюры серии «Физика, математика, астрономия» издательства «Знание».

## **Дорогие читатели!**

Отзывы об этой брошюре просим присылать  
по адресу:

Москва, Центр, Новая площадь, д. 3,  
Издательство «Знание».

9 коп.

**Индекс**  
**72929**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»**  
**Москва 1964**