

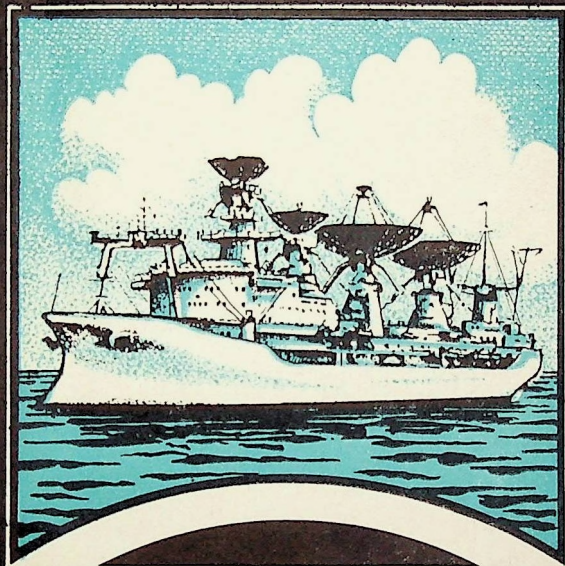
КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1986/9

В.Л. Горьков
КОСМИЧЕСКИЕ
РАДИОЛИНИИ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

9/1986

Издается ежемесячно с 1971 г.

В. Л. Горьков,
кандидат технических наук

КОСМИЧЕСКИЕ РАДИОЛИНИИ

в приложении этого номера:
НОВОСТИ КОСМОНАВТИКИ



Издательство «Знание» Москва 1986

СОДЕРЖАНИЕ

Командно-измерительный комплекс	3
Трасса полета	7
Фигура Земли	9
Орбиты спутников связи	12
Космические антенны	17
Спутник, где ты?	22
Управление спутниками	27
Увидеть невидимое	34
Крымский радиотелескоп	39
Корабельные командно-измерительные пункты	44
Особенности корабельных командно-измерительных пунктов	47
В океане как на суше	50
Заключение	58
НОВОСТИ КОСМОНАВТИКИ	60

Горьков В. Л.

- Г67 Космические радиолнии. — М.: Знание, 1986. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 9).

11 к.

Управление движением космических аппаратов, получение народнохозяйственной и иной информации, связь с космонавтами и другое радиотехническое обеспечение космических полетов осуществляются с помощью различных линий связи. В брошюре рассказывается о том, как работают эти космические радиолнии, описываются структура и системы необходимого для этого наземного оборудования.

Брошюра рассчитана на всех интересующихся современными проблемами космонавтики.

3607000000

ББК 32.884.1

КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

4 октября 1957 г. в 22 ч 50 мин по московскому времени с космодрома Байконур ушел на орбиту первый искусственный спутник Земли. Через десять лет просторы Вселенной бороздили уже больше сотни рукотворных аппаратов. Теперь их количество исчисляется тысячами. Они отличаются друг от друга по конструкции и массе, сроку активного существования и назначению. Но вместе с тем у них есть и общее. Все они неразрывно связаны с наземными службами обеспечения космических полетов. Сюда относят космодромы, командно-измерительный комплекс (КИК) с центрами управления полетом, поисково-спасательный комплекс, а при пилотируемых полетах и Центр подготовки космонавтов. КИК занимает среди них одно из основных мест.

Состав и основные принципы построения средств КИК были разработаны советскими учеными еще в середине 50-х годов по заданию С. П. Королева. На первых порах комплекс обеспечивал контроль и управление одиночными космическими аппаратами. По мере повышения интенсивности запусков, усложнения программ полета, появления специализированных космических систем рос технически и организационно КИК. Увеличивалось число наземных командно-измерительных пунктов. Для повышения надежности и непрерывности контроля и управления космическими аппаратами были созданы плавучие командно-измерительные пункты — научно-исследовательские суда АН СССР. С целью расширения зоны радиовидимости стационарных пунктов КИК пополнился самолетными измерительными пунктами. Созданы центры управления полетом различных типов космических аппаратов, оснащенных современной техникой и средствами связи.

Современный КИК — это уникальный по сложности

и техническим возможностям высокоорганизованный и автоматизированный комплекс управления всеми функционирующими в космическом пространстве аппаратами. Вместе с тем явного территориального единства он не имеет, поскольку понятие это организационно-техническое. Он насчитывает в своем составе около 30 наземных, плавучих и самолетных командно-измерительных и измерительных пунктов, расположенных на территории СССР и в акватории Мирового океана, несколько центров управления полетом, координационно-вычислительный центр. Все они связаны между собой линиями радиосвязи (рис. 1); см. стр. 32—33.

Основным органом управления является координационно-вычислительный центр (КВЦ). Он оценивает общую космическую обстановку, координирует работу центров управления полетом, служб и средств КИК, обеспечивает взаимодействие с космодромами и организациями, участвующими в выполнении конкретной программы полета. Центр управления полетом (ЦУП) — главный орган автоматизированной системы управления космическими аппаратами данного типа. Здесь работают специалисты, руководящие всем процессом управления их движением, функционированием и выполнением целевой задачи.

Вся организационно-техническая структура КИК направлена на выполнение возлагаемых на комплекс задач: управление космическим полетом, траекторный и телеметрический контроль, прием научной (прикладной) информации, радиосвязь с космонавтами. Все эти задачи решаются с помощью радиолиний. Управление полетом космических аппаратов осуществляется с помощью радиокоманд. В большинстве случаев эти команды передаются на командно-измерительный пункт из ЦУП заблаговременно телеграммой или по телеграфному каналу. Однако не исключается их передача на спутник и «транзитом». Такой режим работы космических радиолиний обычно соответствует нештатным ситуациям.

Радиокоманды управления делят на две группы. К первой относят команды управления движением, а ко второй — связанные с работой приборов, агрегатов, систем спутника. Исполнение команд может быть либо непосредственным, т. е. в режиме приема, либо по программе. В последнем случае команды поступают сначала в бортовое программно-временное устройство, где

запоминаются, а их исполнение происходит в расчетный момент времени. Программа управления может быть рассчитана на виток, два и т. д.

Программы и команды управления передаются с помощью командных радиотехнических станций, устанавливаемых на командно-измерительном пункте (КИП). Каждая станция имеет пульт выдачи команд, программно-временное устройство для автоматической выдачи команд и программ, аппаратуру кодирования командной информации, радиопередатчик и антенну.

Однако прежде чем приступить к управлению работой спутника, необходимо знать параметры его движения. Их определяют с помощью станций траекторного контроля. Данные измерений после предварительной обработки на пункте кодируют и отправляют в ЦУП. Здесь сосредоточиваются данные измерения параметров движения, привязанные ко времени и к географическим координатам КИП. Результаты расчетов на ЭВМ — текущие и прогнозируемые параметры орбиты — используются для управления и планирования работы с данным спутником.

Сведения о состоянии бортовых систем, режимах их работы, характеристиках и т. д. дают радиотехнические станции телеметрического контроля. Как и при радио-контроле орбиты, телеметрическая информация нужна для управления полетом спутников, а иногда и для траекторных расчетов (например, момент включения тормозной двигательной установки при спуске космического аппарата на Землю). Следует, правда, отметить и ее самостоятельное значение. Ведь конечная цель космических запусков — получение информации. А разницы в технике передачи научной (прикладной) и телеметрической информации нет. Отличие их, может быть, заключается лишь в том, что для приема научной (прикладной) информации используются специальные пункты ее приема.

Телеметрическая информация поступает от датчиков, расположенных на борту спутника. Сигналы, вырабатываемые датчиками, кодируются, а затем передаются на Землю. Наземная телеметрическая станция состоит из радиоприемной аппаратуры, аппаратуры декодирования сигналов, регистрации, анализа и отображения информации. Результаты анализа направляются по каналам связи в ЦУП.

Подготовка радиотехнических станций к сеансу связи начинается с включения и автономной проверки отдельных постов аппаратуры, установки заданных режимов и кодов, настройки на заданные частоты. Затем переходят к комплексной проверке станции или группы станций, участвующих в предстоящем сеансе. Подготовка к сеансу связи включает также выставку антенн в исходное положение по целеуказаниям. В расчетное время начинается поиск сигналов, посылаемых со спутника или межпланетной станции. После их обнаружения следует управление по программе, которая разрабатывается на предстоящий сеанс связи операторами или с помощью ЭВМ. Наземные командно-измерительные пункты (КИП) предназначены для непосредственного контроля и управления космическими полетами. Полнота решения возложенных на них задач достигается рассредоточением этих пунктов по обширной территории СССР (от западных до восточных границ), технической оснащенностью и планированием их работы. Основу оборудования наземного КИП составляют радиотехнические станции, электронно-вычислительная техника и средства связи.

Первоначально пункты оснащались специализированными станциями радиоконтроля орбиты, передачи команд, приема телеметрической и научной (прикладной) информации. По мере накопления опыта стало понятно, что решение возложенных на КИП задач целесообразно осуществлять одновременно. Так возникли многофункциональные радиотехнические системы, представляющие в настоящее время основной парк радиотехнического оборудования КИП.

Не менее важным стало и использование ЭВМ. С их помощью разрабатываются и реализуются программы автоматизированного управления радиотехническими системами. ЭВМ обрабатывают информацию, поступающую с космического аппарата, управляют передачей ее в ЦУП. Вся информация, приходящая на КИП и отправляющаяся с него, должна быть привязана к единому времени. Хранителем точного времени на пункте служит эталонный генератор, а сигналы, вырабатываемые им, образуют местную высокостабильную шкалу времени. Поскольку по этому времени идет привязка работы всего оборудования, метки эталонного генератора требуют проверки. Она осуществляется регулярно с помо-

щью специальных радиостанций, передающих сигналы точного времени.

Связь КИП и ЦУП может осуществляться по наземным телеграфным и телефонным каналам и через спутники связи.

ТРАССА ПОЛЕТА

При запуске спутника специалисты КИП каждый раз решают две взаимосвязанные задачи. Первая заключается в расчете трассы полета, вторая — в определении конкретных пунктов, способных обеспечить благоприятные условия работы со спутником. Это необходимо прежде всего для организации устойчивой двусторонней связи с Землей, без чего невозможны управление полетом, контроль траекторного движения, передача научной и телеметрической информации.

Эти задачи нередко бывают и противоречивыми. Дело в том, что целевое назначение каждого спутника требует вполне определенной орбиты, и может случиться так, что часть наземных измерительных средств будет перегружена работой, в то время как остальная техника использоваться слабо. Поставленная проблема напоминает ту, которую решают работники городского транспорта: как проложить маршруты, чтобы обеспечить удобную и быструю доставку людей к месту их следования. Естественно, чем крупнее город, тем труднее совместить удобство и быстроту передвижения. А в космосе все обстоит гораздо сложнее.

Чтобы понять сущность рассматриваемых задач, совершим небольшой экскурс в теорию космического полета. Если бы не было вращения Земли, возмущений, вносимых ее фигурой и атмосферой, Солнцем и планетами в орбиту полета, то трасса — след летящего спутника на поверхности нашей планеты — все время оставалась бы неизменной. Но Земля вращается, и это вызывает смещение трассы с каждым витком. Как же ее определяют специалисты?

Точное решение задачи возможно только с помощью ЭВМ, но для оценки достаточно и элементарных расчетов. Поскольку скорость вращения Земли вокруг своей оси составляет 15 °/ч, то нетрудно определить и смещение трассы за виток. Если период обращения спутника составляет 90 мин, то начало очередного витка сместит-

ся на Запад на $22,5^\circ$, или на 2500 км (на экваторе 1° равен 111 км). С увеличением широты эти цифры уменьшаются.

Форма трассы в основном определяется периодом обращения спутника, скоростью вращения Земли и наклоном плоскости орбиты. Период вносит, пожалуй, наибольшее разнообразие в очертание трассы. Для абсолютного большинства низколетящих спутников с направлением движения на северо-восток либо юго-восток трасса представляется синусоидой. С увеличением высоты форма ее непрерывно изменяется. Сжимаясь, словно пружина, она по достижении периода 24 ч превращается в восьмерку. При дальнейшем его увеличении форма трассы в общем случае напоминает так называемые фигуры Лиссажу. Значит, чем выше летит спутник, тем большую роль в очертаниях трассы играет вращение Земли.

Форма трассы существенным образом зависит не только от периода, но и от наклона плоскости орбиты. Так, при полете с востока на запад (наклонение больше 90°) характер следа спутника меняется настолько, что исчезает возможность получения синусоидообразных трасс. Интересна зависимость и следа суточной орбиты от наклона. С уменьшением последнего восьмерка постепенно сужается, а при нуле стягивается в точку. В этом случае говорят, что спутник находится на геостационарной орбите.

Одно из важнейших условий при связи со спутником — его прямая или визуальная видимость с поверхности Земли. Но как же оценить, насколько долго радиотехнические средства держат связь со спутником?

Наверное, многие видели на ночном небе маленькие яркие звездочки-спутники. Однако часто их нельзя обнаружить невооруженным глазом. Радиосредства «видят» лучше человека, но и их возможности ограничиваются горизонтом. Так, при высоте круговой орбиты около 2000 км ($T = 2$ ч) время пребывания спутника в зоне радиовидимости составляет около 10 мин, а при высоте 20 000 км — 4,5 ч. Значит, чем выше над планетой спутник, тем больше зона радиовидимости для каждого КИП.

Увеличивается она безгранично. С высоты геостационарной орбиты видна почти половина всей Земли, и, следовательно, ее предельная величина как раз и до-

стигается в этом случае. С другой стороны, наибольшая продолжительность сеанса связи соответствует прохождению трассы непосредственно через антенны КИП. Однако это бывает крайне редко. В основном след находится на некотором расстоянии от центра зоны радиовидимости, и, естественно, чем оно больше, тем короче сеанс связи.

Чтобы за несколько минут провести радиосеанс с низколетящим спутником, нужно точно знать, откуда и когда он появится, куда будет держать курс в дальнейшем. Эту информацию получают, рассчитав трассу полета спутника. Она дает возможность определить, в какое время и над какими пунктами Земли пролетает спутник. А это позволяет разработать программу работы как бортовой, так и наземной аппаратуры, рассчитать время входа спутника в зону радиовидимости и дать целеуказания для радиотехнических станций. С расчетом трасс полета тесно связано определение параметров орбиты спутника, которые, в свою очередь, зависят от фигуры Земли.

ФИГУРА ЗЕМЛИ

ТАСС сообщает: «...в Советском Союзе произведен запуск очередного искусственного спутника Земли...» За этими короткими строками официальных сообщений стоит кропотливый, каждодневный и разносторонний труд советских людей. Начатый конструкторами, инженерами, техниками и рабочими, он завершается на космодроме. Именно здесь приобретает законченный образ и ракетно-космический комплекс, а испытатели проверяют его «характер». Отсюда, с космодрома, ракета-носитель выводит космический аппарат на орбиту нашей планеты, дает ему дорогу в жизнь.

Слово «дорога» мы употребляем не случайно. Покинув Землю и выйдя в космос, аппарат не может просто так проститься с ней. Любая его «дорога» — орбита спутника — находится в постоянной зависимости от нашей планеты, и именно Земля и ее атмосфера оказывают наибольшее влияние на орбиту спутника. Под их воздействием он то поднимается или опускается, то смещается влево или вправо.

Как и почему это происходит?

Невозмущенное движение спутника простейшее. Оно

предполагает, что на космический аппарат действует только сила притяжения, т. е. Земля является центральным телом сферической массы с заданным радиусом, а сопротивление атмосферы отсутствует. Положение космического аппарата в любой момент времени определяется шестью постоянными величинами, называемыми элементами, или параметрами, орбиты. Наклонение (i) и долгота восходящего узла Ω определяют положение орбиты в пространстве, большая полуось и эксцентриситет — форму орбиты, аргумент перигея — ориентацию плоскости орбиты. Шестой параметр позволяет фиксировать положение космического аппарата на орбите в некоторый момент времени или же показывает момент, когда он достигает определенной точки. Все элементы, или параметры, орбиты при таком идеальном движении всегда остаются постоянными. В реальной обстановке все они изменяются. Каковы же основные причины, вызывающие возмущения элементов орбиты спутников?

Одна из них — конфигурация нашей планеты. История определения фигуры Земли берет свое начало с И. Ньютона. Исследования его продолжил французский математик и астроном А. Клеро. Он пришел к выводу, что Земля имеет форму сфероида, а ускорение силы тяжести на ее поверхности изменяется в зависимости от широты. Связав распределение силы тяжести со сжатием Земли, А. Клеро показал новые возможности в исследованиях фигуры Земли.

Спустя 100 лет английский физик Д. Стокс обобщил выводы А. Клеро и его последователей. В частности, он решил обратную задачу: как по известной силе тяжести построить фигуру Земли? Если бы Земля действительно была сфероидом, то наблюдаемая сила тяжести точно соответствовала бы нормальной, полученной А. Клеро. Разности силы тяжести — наблюдаемой и нормальной — характеризуют отступление реальной поверхности от сфероида, или, как сейчас называют, аномалии силы тяжести.

Д. Стокс построил уровенную поверхность фигуры Земли, и с этого времени ее стали представлять в виде эллипсоида вращения. Постепенно она уточнялась, но своего завершения не получила до сих пор. Каждое государство в своей практике использует собственные геофизические постоянные и тем самым имеет собственную

модель фигуры Земли, которую может уточнять национальными средствами.

Особенности гравитационного поля планеты, обусловленные ее сжатием, вызывают постоянное вращение плоскости орбиты вокруг земной оси, т. е. перемещение линии узлов по экватору в направлении, обратном движению космического аппарата. Одновременно плоскость орбиты вращается вокруг собственной оси (скорость изменения аргумента перигея), т. е. вращается линия апсид (линия, соединяющая апогейную и перигейную точки). Эти возмущения называют вековыми.

В дополнение к вековым происходят различные периодические возмущения элементов орбиты. Наиболее существенные из них — колебания перигейного расстояния, вызываемого асимметрией Земли относительно экватора. При перемещении перигея от экватора на север расстояние перигея от центра Земли уменьшается на 6,8 км, а при перемещении на юг увеличивается на ту же величину по сравнению с экваториальным расположением. Кроме того, имеют место некоторые малые короткопериодические возмущения элементов орбиты i , Ω в течение одного витка, вызываемые более мелкими неоднородностями гравитационного поля.

Вторая причина, вызывающая возмущения элементов орбиты, — земная атмосфера. История изучения последней, а нас интересует верхняя атмосфера, началась в наши дни, незадолго до запуска первого спутника. Изучение атмосферы связано с решением двух важнейших вопросов теории полета: срока баллистического существования космического аппарата и влияния атмосферы на изменение элементов орбиты. Чтобы оценить влияние атмосферы, нужна ее модель. Теория строения атмосферы предлагает две модели: стационарную и динамическую. Первая исходит из того, что атмосфера Земли имеет сферическую структуру, а ее параметры с высотой изменяются.

Реальная атмосфера отличается так называемыми флуктуациями. Так, замечено, что в соответствии с периодами солнечной активности наблюдаются четыре вида колебаний, разнесенных по времени. Во-первых, случайные колебания плотности в течение суток как на дневной, так и на ночной стороне Земли обусловлены спорадическими солнечными возмущениями. Во-вторых, колебания плотности повторяются через 27-суточные ин-

тервалы, равные периоду вращения Солнца вокруг своей оси по отношению к Земле. В-третьих, имеются сезонные колебания, на которые накладывается шестимесячный цикл. Например, плотность стремится к минимуму в июле и к максимуму в октябре, причем в январе наблюдается вторичный минимум, а в апреле — вторичный максимум. В-четвертых, атмосфера реагирует на колебания солнечной активности в течение 11-летнего цикла появления солнечных пятен. Заметим, что, кроме солнечных возмущений, на атмосферу Земли оказывают воздействие и другие факторы.

Все это учитывают при построении динамической модели атмосферы Земли. Ее эллипсоидные поверхности постоянной плотности имеют вариации в зависимости от времени. В качестве такой модели атмосферы (так же, как и у фигуры Земли) каждое государство в своей космической практике использует собственную, уточняя ее также национальными средствами.

Благоприятным обстоятельством для изучения влияния атмосферы на элементы орбиты является то, что ее возмущения носят характер иной, чем гравитационные. Так, плотность атмосферы быстро уменьшается с высотой, и космический аппарат, находящийся на эллиптической орбите, испытывает эффект торможения главным образом в районе перигея. Это приводит к изменению формы орбиты, т. е. орбита, все более приближаясь к круговой, монотонно изменяет эксцентриситет и большую полуось. Если бы атмосфера была стационарной, эти элементы оказались бы единственными, которые изменяются под действием атмосферы. Однако вследствие ее вращения появляются небольшие поперечные силы, создающие малые монотонно растущие возмущения наклонения орбиты и малые периодические возмущения долготы восходящего узла. Наконец, сжатие атмосферы приводит к малым периодическим изменениям Ω .

Мы рассмотрели влияние Земли лишь на близкие околоземные орбиты. Что касается высокоэллиптических, стационарных и межпланетных орбит и траекторий, то для них возмущения, вносимые нашей планетой, будут существенно меньше.

ОРБИТЫ СПУТНИКОВ СВЯЗИ

Выбор формы орбиты, ее наклонения и периода обращения являются первостепенными и, можно сказать,

определяющими факторами при проектировании системы спутниковой связи. Они обуславливают принципы организации и эксплуатации системы, энергетику радиолиний и другие технические решения. Наибольшее развитие получили спутниковые системы связи на низких, высокоэллиптических и геостационарных орбитах.

Первыми нашли применение низкоорбитальные спутники связи. Их достоинством является экономичность вывода на орбиту, более простая бортовая аппаратура. Однако недостатков оказалось больше, чем достоинств: большое количество спутников в системе, необходимость постоянного контроля за их движением, частая коррекция орбиты вследствие ее эволюции в процессе полета. Все это привело ко многим эксплуатационным неудобствам, а в конечном счете к нерентабельности такой системы связи. Низколетящие спутники оказались эффективными лишь в случаях, не требующих двусторонней непрерывно действующей связи (например, у геологов). Переданная информация запоминается на борту спутника, а при его пролете над местом приема по команде или автоматически «сбрасывается» на Землю.

Развитие спутниковых систем связи в Советском Союзе начиналось с освоения высокоэллиптических орбит. Это стало возможным благодаря наличию мощной ракеты-носителя, возможностям космодрома и командно-измерительного комплекса, обеспечивающих вывод и управление полетом спутников типа «Молния» на орбитах с наклоном 65° , периодом обращения 12 ч, высотой около 40 000 км в апогее и около 500 км в перигее (рис. 2). Параметры выбирались из условия обеспечения минимально необходимой длительности связи между двумя крайними пунктами. Так, например, между Москвой и Дальним Востоком одновременная радиовидимость при помощи спутника «Молния» обеспечивается в течение 8—9 ч из 12 ч (одного периода).

Как же этого добиваются?

Прежде всего путем учета законов механики и возмущений. Так, согласно второму закону Кеплера угловая скорость спутника при движении по эллиптической орбите тем меньше, чем дальше он удален от центра Земли. Иными словами, скорость его движения в районе апогея существенно медленнее, чем в перигее, что и позволяет при расположении апогея в Северном полуша-

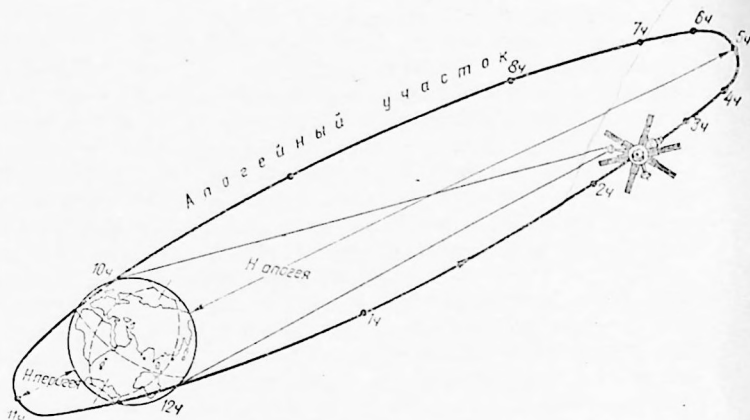


Рис. 2. Высокоэллиптическая орбита спутников связи «Молния»

рин. достичь такой продолжительности связи. Однако это необходимое, но недостаточное условие.

Дело в том, что возмущения, вносимые фигурой Земли, приводят к тому, что линия апсид прецессирует. Анализ математических зависимостей, описывающих движение спутника в реальном поле сил, позволяет среди множества орбит найти ту, у которой эта прецессия равна нулю. Ее наклонение оказывается равным порядку 63° .

Еще более приспособленной для целей связи оказалась геостационарная орбита. Известно, что создать искусственный спутник, который был бы неподвижным в межпланетном пространстве, вообще говоря, нельзя. Но его можно вывести так, чтобы, перемещаясь по отношению к звездам, он оставался неподвижным для наблюдателя на Земле. Такой спутник принято называть стационарным, т. е. неподвижным, хотя более точно было бы назвать его геостационарным — неподвижным относительно какой-либо точки земной поверхности (рис. 3).

Каковы же должны быть параметры орбиты такого спутника?

Принято считать, что Земля совершает один оборот относительно своей оси за 24 ч. Это верно лишь отчасти.

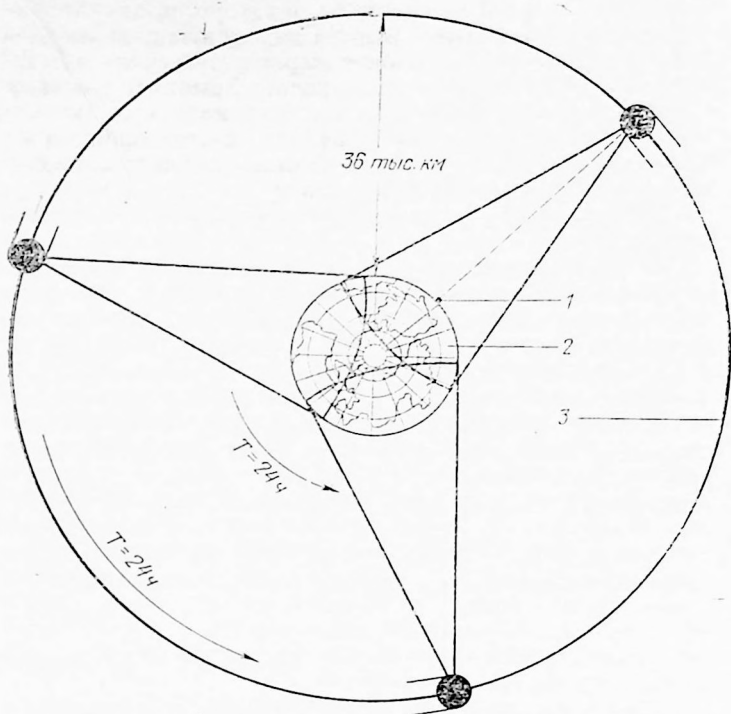


Рис. 3. Схема геостационарной орбиты с глобальным охватом Земли с помощью трех спутников: 1 — подспутниковая точка, 2 — зона радиовидимости спутника, 3 — стационарная орбита

Например, меридиан, на котором расположена Москва, действительно пересекает линию Земля — Солнце через 24 ч, но по отношению к направлению на неподвижную звезду он совершает один оборот лишь за 23 ч 56 мин 04 с. Поэтому спутнику за это время нужно сделать один оборот вокруг оси Земли, чтобы его обращение по орбите было синхронным вращению Земли. Однако не всякий синхронный спутник будет стационарным. Для того чтобы он казался для наблюдателя на Земле неподвижным, плоскость его орбиты должна быть перпендикулярна оси вращения Земли.

В этих условиях единственно возможной остается ор-

бита, след которой проходит по экватору, и, значит, наклонение ее равно нулю. Высота же орбиты должна равняться 35 800 км. Эта орбита хороша тем, что спутник «видит» с нее почти 40% поверхности Земли. Вот почему с каждым годом растет число геостационарных спутников прежде всего для связи. Сейчас на этой орбите уже стало тесно. Мало того, космические аппараты еще и старятся, прекращают свою работу.

Что же делать, ведь на место отработавшего надо ставить новый?

И тут нам снова на помощь приходит Земля. Спутник, прекративший свою работу, почти незаметно начнет двигаться вдоль орбиты. А на ней есть две так называемые «потенциальные ямы», районы, попав куда, он останавливается, точно корабль, бросивший якорь. Только морской корабль может сняться с якоря, а космический из «потенциальной ямы» выбраться уже не может, тут он остается навсегда. Районы, где отсутствует дрейф спутников, совпадают с малой осью экваториального сечения Земли и находятся над Индийским и Тихим океанами. Их называют кладбищем стационарных спутников. Отработавший космический аппарат, подобно престарелому слону, гонимому инстинктом на кладбище своих предков, начнет дрейфовать на кладбище спутников — в ближайшую «потенциальную яму». А освободившееся место займет новый спутник, чтобы продолжить службу своего предшественника.

Геостационарные спутники проще всего выводить на орбиту со стартовых площадок, расположенных на экваторе. И вот почему. Изменение наклонения после выведения космического аппарата на орбиту — самая дорогостоящая операция. Например, для полета на Луну с территории СССР требуется меньше топлива, чем для выведения спутника на стационарную орбиту, хотя последняя более чем в 10 раз ближе к нашей планете. Из всей энергии, затрачиваемой в этом случае на выведение, примерно половина уходит на поворот плоскости орбиты. Однако существует схема, которая позволяет экономить топливо и в общем случае.

Если спросить любого человека, целесообразно ли лететь на самолете из Москвы в Киев через Владивосток, то он, несомненно, подумает, что с ним шутят. Ясно, что такой обходной маневр связан с огромной и ненужной затратой топлива. Иначе обстоит дело в космосе, в част-

ности при выведении спутника на стационарную орбиту. Для стартовой площадки, расположенной, например, выше 49° по широте, с орбиты ожидания спутник переводится на переходную орбиту с высотой апогея, намного превышающей высоту стационарной орбиты.

В апогее осуществляется второе включение двигателя для перехода на вторую переходную орбиту, которая находится уже в плоскости экватора и перигеем касается стационарной. Третий раз двигательная установка включается в перигее второй переходной орбиты, т. е. на высоте стационарной орбиты, для того чтобы снизить скорость спутника и предотвратить его уход вверх. Как ни парадоксально на первый взгляд, но именно использование переходной орбиты с апогеем, намного превышающим высоту стационарной орбиты, дает энергетический выигрыш. Оказывается, что с увеличением высоты энергозатраты на изменение наклона орбиты, которые являются определяющими в общей доле затрат, уменьшаются. В итоге схема становится более экономичной.

Естественно, приведенная схема не единственная. В зависимости от обстановки, конкретных условий возможны и другие.

КОСМИЧЕСКИЕ АНТЕННЫ

Многие космические объекты, порой даже не видимые в самые сильные оптические телескопы, удается регистрировать по испускаемому ими радионизлучению. А ведь радиофон несет в миллионы раз меньшую энергию, чем световой поток. Оказывается, такой разительный контраст между видимым светом и радионизлучением обусловлен особенностями поглощения и рассеяния электромагнитных волн на пути от источника к приемнику.

Космические радиотехнические средства используются почти исключительно в УКВ-диапазоне. Дело тут вот в чем. Прилегающий к поверхности нашей планеты газовый слой (тропосфера) содержит повышенную концентрацию водяных паров и кислорода, которые поглощают волны миллиметрового и оптического диапазона. А в ионосфере (50—280 км) находится несколько слоев с повышенной концентрацией свободных электронов, которые не пропускают длинные радиоволны. Отразившись, как от зеркала, они возвращаются на Землю.

Это свойство, необходимое и достаточное для земной радиосвязи, становится основной помехой для космической. Волны УКВ-диапазона (сантиметровые, дециметровые и метровые) проходят сквозь эти преграды. Поэтому они используются для связи со спутниками. Что же касается возможности приема, то она прежде всего связана с площадью антенны.

Диаметр зеркала самого крупного в мире оптического телескопа равен 6 м, а поворотного радиотелескопа — 100 м. Такое увеличение площади антенны позволило значительно раздвинуть рамки наблюдения Вселенной до расстояния 10 млрд. св. лет от Земли. Осваивать такие дальности связи в космонавтике пока нет необходимости. Однако этот пример наглядно иллюстрирует не только возможности радионструментов, но и направление развития космических радиосистем.

Обеспечить большую мощность излучения со спутника трудно. Ведь возможности ракет-носителей ограничены. А это, в свою очередь, вызывает ограничение массы и габаритов устанавливаемой на спутниках аппаратуры, потребляемой электроэнергии. Компенсировать эти ограничения, видимо, можно лишь за счет установки мощных радиосредств на Земле. Их-то и используют для управления движением космических аппаратов, контроля траектории их полета, приема и передачи телеметрической и научной (прикладной) информации, связи с космонавтами.

Если к этому добавить различия в дальности и скорости полета спутников, способах их ориентации и стабилизации, то становится ясным, насколько разнообразны должны быть космические радиолинии. И наиболее заметно это сказывается на антеннах. Сейчас их насчитывается несколько десятков, отличающихся друг от друга размерами, формой и другими параметрами. Наиболее распространена параболическая антенна, используемая в дециметровом и сантиметровом диапазонах волн. Она состоит из металлического зеркала в виде параболоида вращения и облучателя, помещенного в фокусе.

Принцип ее действия основан на явлениях, общих для радиотехники и оптики. Так, световые лучи, исходящие от источника, находящегося в фокусе такого зеркала, после отражения от него становятся параллельными. Каждый элемент поверхности параболоида можно

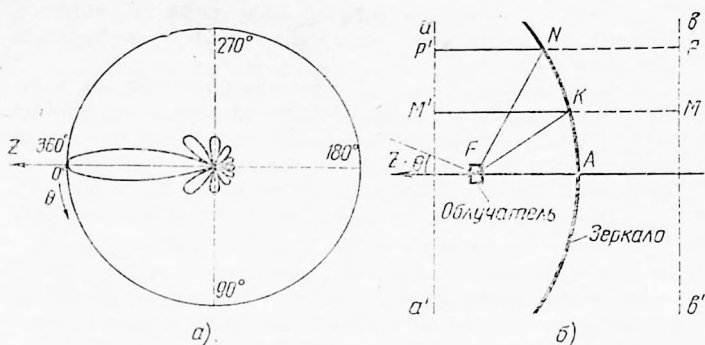


Рис. 4. Параболическая антенна наземного КИП.
 а — сечение диаграммы направленности; б — геометрия прохождения радиоволн

рассматривать как источник переизлучения электромагнитной энергии. А из определения параболы как геометрического места точек, равно удаленных от фокуса F и директрисы bb' (рис. 4), получаем, что расстояния $FK = KM$ и $FN = NP$ равны. Отсюда следует важный вывод: электромагнитное поле в плоскости aa' , удаленной на любое расстояние от ее директрисы, будет синфазно. Это значит, что фаза электромагнитного поля в любой точке этой плоскости в один и тот же момент времени имеет одинаковое значение. Кстати, заметим, синфазность электромагнитного поля предопределяет и узконаправленное излучение энергии в направлении оси антенны.

Как изменяется интенсивность излучения за пределами раскрыва параболоидной чаши антенны?

Характеризуется она диаграммой направленности антенны. Чем больше диаметр поверхности параболоида по отношению к длине волны, тем уже становится диаграмма направленности, тем на большее расстояние излучается электромагнитная энергия в космос. Одна из характеристик антенны — ширина диаграммы направленности. Определяется она пространственным углом, в пределах которого мощность излучения составляет не менее половины своего максимального значения. Ближайшее значение этого угла, на границе которого плот-

ность энергии электромагнитного излучения становится равной нулю, определяет главный лепесток диаграммы направленности.

Реальная параболическая антенна излучает энергию во всех направлениях, а вследствие конечных размеров зеркала — даже назад. Однако максимум ее приходится в направлении оси. Изменение плотности электромагнитной энергии вне главного лепестка характеризуют так называемые боковые лепестки диаграммы направленности.

При малой длине волны (единицы и десятки сантиметров) любое отклонение формы зеркала от заданной приводит к расширению главного лепестка и увеличению боковых. Поэтому зеркало параболической антенны диаметром в несколько метров изготавливают с точностью до нескольких миллиметров. Кроме того, конструкция его должна быть достаточно жесткой, исключающей деформацию под воздействием ветра, собственной тяжести и динамических нагрузок. Снег, дождь, обледенение зеркала тоже влияют на диаграмму направленности. Чтобы уменьшить их воздействие, а также защитить антенны от ветра, их иногда полностью покрывают колпаками из особого радиопрозрачного материала.

Из принципа взаимности следует, что диаграммы направленности любой антенны при приеме и передаче совпадают. Поэтому в том и другом случае может использоваться одна и та же антенна. При импульсном излучении вследствие разнесения по времени передаваемого и принимаемого сигналов она поочередно подключается к передатчику или приемнику. Чтобы использовать одну и ту же антенну при непрерывном излучении, передаваемый и принимаемый сигналы разносят по частоте. Электромагнитная энергия от передатчика к облучателю и от облучателя к приемнику передается с помощью волноводно-фидерного тракта.

Обеспечивает требуемую направленность параболической антенны при слежении за спутником оператор. С помощью электромеханических устройств он перемещает антенну раздельно в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При программном управлении антенна сопрягается с вычислительной машиной. ЭВМ рассчитывает изменение углов в зависимости от времени и управляет антенной, а при автоматическом сопровождении

она принимает сигнал и направляет его в замкнутую систему автоматического регулирования.

В космических радиолниях метрового и нижней части дециметрового диапазонов волн используется спиральная антенна. Она представляет собой проволочную спираль, прикрепленную к металлическому диску и питаемому через коаксиальный кабель. Его внутренний провод подсоединяется к спирали, а наружная оболочка — к диску, расположенному перпендикулярно оси спирали. При этом на одном диске может быть несколько конических или цилиндрических спиралей.

Направленные свойства спиральной антенны существенно зависят от соотношения диаметра спирали и длины волны. Это отношение обычно равно 0,25—0,45. Максимальное излучение такой антенны направлено вдоль ее оси. Ширина диаграммы направленности составляет несколько десятков градусов. Перемещается антенна оператором или автоматически. Диск спиральной антенны предназначен для ослабления излучения в задней полусфере. У конических спиральных антенн диапазон рабочих частот более широкий, чем у цилиндрических. Спиральные антенны просты в эксплуатации, производство их дешево.

Излучение и прием электромагнитных колебаний на борту спутника осуществляются с помощью простых, надежных слабонаправленных антенн рассмотренных выше типов. Применяются также несимметричный штыревой вибратор, рупорные, щелевые, турникетные и ленточные антенны.

В последние годы все больший интерес проявляется к антеннам нового типа, так называемым фазированным антенным решеткам (ФАР). Они представляют собой множество (сотни, тысячи и даже десятки тысяч) элементарных излучателей. Запитывают их последовательно или параллельно через специальные элементы: разветвители, усилители, фазовращатели и коммутаторы. На каждом элементарном излучателе получают требуемую величину и фазу электромагнитного поля. Управляет всеми элементами ЭВМ. Меняя величину и фазу электромагнитного поля на каждом облучателе по заданному закону, можно изменять форму диаграммы направленности ФАР, число и взаимное расположение главных лепестков излучения, перемещать их любым образом в пространстве.

Возможность формирования требуемого распределения электромагнитного поля электрическим способом позволяет делать ФАР практически любой формы, наиболее согласующейся с конструкцией того объекта, на котором предусматривается их установка. Фазированным антенным решеткам принадлежит будущее.

Таким образом, зная, как проходит трасса, расположение зон радиовидимости и наземных средств обеспечения космического полета, можно определить продолжительность связи космического аппарата с каждым КИП. Эти сведения позволяют планировать работу не только КИК, но и бортовой аппаратуры. Так, для дистанционного фотографирования Земли определяются условия и время съемки. Все эти задачи решают ЭВМ, размещенные в ЦУП и на КИП.

СПУТНИК, ГДЕ ТЫ?

Этот вопрос после вывода на орбиту первого искусственного спутника Земли (ПС-1) был, пожалуй, основным для специалистов. В 1957 г. баллистики смогли дать прогноз его местоположения на первом витке с точностью лишь до четверти периода обращения, т. е. порядка 20 мин. А сегодня временная привязка к орбите навигационного спутника с ошибкой 1 с уже никого не устраивает. Сближение и стыковка космического корабля и станции, полеты к планетам Солнечной системы, посадка спускаемого аппарата в заданный район — все это требует точного прогноза параметров орбиты. Он необходим для расчета трасс полета, планирования работы пунктов КИК, т. е. для управления спутниками.

Так, трассы будущего полета позволяют выбрать время и место решения научных и прикладных задач. Возьмите, к примеру, эксперимент «Курск-85». Он проводился с целью изучения сельскохозяйственных культур и разработки методов прогнозирования их урожайности с помощью аэрокосмических средств с тем, чтобы в перспективе сельскохозяйственные сводки получать прямо с орбиты, минуя наземные наблюдения. А пока на тестовых участках Курской области использовался принцип многоэтажности наблюдений. На первом «этаже» размещались приборы, установленные непосредственно на земле. Выше летали самолеты-лаборатории Ан-30 и Ту-134. А на орбитах наблюдения вели спутники типа

«Метеор», «Космос» и экипаж станции «Салют-7» — В. А. Джанибеков и В. А. Савиных. Эксперимент, естественно, требовал временной и географической привязок всех средств, другими словами, в основном расчета трасс полета космических аппаратов. То же самое можно сказать об эффективности работы метеорологических и связных спутников, которая в значительной мере зависит от правильного управления.

В общем случае прогноз орбиты обеспечивает составление временных программ работы бортовой аппаратуры. Более того, если известны трассы всех спутников, находящихся в космосе, он позволяет распределить сеансы связи между пунктами КИК так, чтобы не только обеспечить программу полета, но и рационально использовать радиотехнические средства.

Однако прежде чем заняться расчетом прогноза движения спутника, баллистики находят орбиту его полета. Для однозначного определения эллипса в пространстве требуется знать шесть начальных условий движения спутника в одной из точек его траектории. Баллистики в своих расчетах чаще других выбирают координаты и составляющие скорости в момент его отделения от ракеты-носителя в абсолютной геоцентрической системе координат. Иначе обстоит дело у радистов.

Радиотехнические станции траекторного контроля в процессе движения спутника измеряют радиальную дальность и скорость ее изменения, азимут и угол места, скорость изменения углов. Заметим, что возможности существующих станций неодинаковы. Одни измеряют только один параметр, другие — два и т. д. На практике элементы орбиты можно рассчитать по одному-двум параметрам, определенным радиотехническими станциями. Однако для этого необходимы измерения не в одной, а в нескольких точках, полученные не на одном, а на нескольких пунктах КИК.

Как же получают эти данные?

На первый взгляд кажется достаточным послать в сторону спутника радиосигнал и через некоторое время зафиксировать его. Тогда измеренная разность фаз двух колебаний — переданного и принятого — может служить мерой дальности. Но реализовать эту идею не удастся. Дело в том, что для однозначного измерения дальности r необходимо, чтобы частота излучения не превышала определенного значения $c/2r$. Что это значит?

Если допустить, к примеру, что дальность полета спутника 300 км, то частота излучения должна быть не более 500 Гц. Эта величина слишком далека от радиодиапазона, и, следовательно, измерять дальность таким методом практически невозможно.

Однако если промодулировать несущую частоту в УКВ-диапазоне все с той же частотой 500 Гц, то можно говорить уже о возможности измерения дальности. При этом обеспечивается и однозначность измерения. А требуемая точность достигается за счет использования нескольких модулирующих частот. Сначала измеряют дальность весьма приближенно, но однозначно. Затем ее уточняют на все более и более высоких модулирующих частотах. Системы, в которых реализован этот способ, называют многоскальными. Радиосигнал в них может модулироваться всеми частотами одновременно или по очереди.

В станциях траекторных измерений часто используют и радиолокационный метод излучения энергии с активной ретрансляцией. Аппаратура спутника, приняв сигнал наземной станции, усиливает его и посылает обратно. Это позволяет увеличить мощность радиосигналов, а следовательно, и дальность действия системы траекторных измерений в целом. Энергия этих станций излучается в очень короткие интервалы времени. А это как раз необходимо для более точного измерения дальности.

Однако чем короче радиоимпульс, тем шире требуется полоса приемника для правильного его воспроизведения. Это ведет к увеличению помех, которые искажают форму, фронт полезного сигнала, т. е. приводят к ошибкам измерения. Чтобы сохранить определенное соотношение сигнала к шуму, надо увеличить мощность излучения. Однако нельзя беспредельно увеличивать питающее напряжение, ведь нужно считаться с опасностью электрического пробоя. В этом смысле более просты и надежны станции с непрерывным излучением сигнала. В них нужное нам отношение сигнал — шум реализуется не за счет повышения напряжения, а за счет использования излучения на длительном интервале.

В дальнейшем были объединены достоинства импульсного (большая эффективная полоса) и непрерывного (простота реализации отношения сигнал — шум) излучений. Так были созданы радиосистемы псевдослучайного

излучения. В них наряду с информацией о полосе частот, занимаемой сигналом, приемник получает сведения о форме модулирующей функции. Схема поиска условий синхронизации сравнивает их со своим аналогом, вырабатываемым генератором, и выявляет полезную информацию. Благодаря своим достоинствам этот метод находит все более широкое применение. Так, можем назвать, к примеру, многофункциональную космическую радиотехническую систему, которая наряду с траекторными измерениями осуществляет телеметрический контроль и управление движением спутников.

В основу измерения радиальной скорости положен эффект Доплера: частота колебания или длина волны регистрируемых приемником сигналов зависит от скорости движения их источника. Данные о частоте накапливаются в течение некоторого времени в счетчике-измерителе. Затем вычисляется среднее значение, привязанное к текущему времени на мерном интервале. Построенные по этому принципу системы радиоконтроля орбиты получили широкое распространение, особенно в первое время.

А каковы ошибки их измерений?

Во-первых, ионосфера и тропосфера играют здесь главную роль. Так, максимальная ошибка, связанная с тропосферой, равна 0,1—0,2 м/с. Ошибка, вызываемая ионосферой, зависит от частоты, и на сантиметровых волнах она не превышает нескольких сантиметров в секунду, а на метровых — уже нескольких метров в секунду. Ее величина обратно пропорциональна квадрату частоты.

Во-вторых, ошибки возникают от нестабильности бортовой и наземной опорных частот. Так, измерение радиальной скорости с точностью 0,1 м/с обеспечивается при использовании кварцевого генератора. Возможен и другой путь — использовать запросный метод, когда опорный сигнал посылается с Земли. Нестабильность частоты в этом случае будет незначительной. Однако при этом теряется автономность измерений.

И в-третьих, ошибка связана с выделением сигнала, измерением частоты Доплера и привязкой его ко времени. Измеритель частоты определяет лишь среднее значение, полагая, что она изменяется по линейному закону. Вот тут-то и вкрадывается ошибка, ведь к конкрет-

ному времени привязать это среднее значение не представляется возможным.

Усреднение в счетчике частоты Доплера — не единственный источник динамических ошибок. К примеру, следящий фильтр да и сам измеритель не избавлены от инструментальных ошибок. Однако их величины намного меньше рассмотренных. Существующие станции радиоуправления орбиты измеряют радиальную скорость с точностью до 0,1 м/с.

Что же касается определения направления на спутник, то для этого кажется достаточным навести орбитально-направленную антенну в сторону спутника, найти максимум сигнала и по показаниям датчиков на осях опорно-поворотного устройства снять значение азимута и угла места. На практике наибольшую известность получили два направления, которые в основе своей используют один и тот же принцип — поиск равносигнальной зоны.

Суть его в следующем. Если создать две диаграммы направленности, смещенные симметрично относительно оси антенны, и добиться в них получения равного ответного сигнала, то это будет означать, что спутник находится на линии геометрической оси антенны или в равносигнальной зоне. Любое отклонение от нее непременно вызовет возрастание одного и убывание другого сигнала. По этому признаку легко определить и изменение направления движения спутника.

Можно было бы использовать вынесенный из фокуса зеркала и вращающийся вокруг оси облучатель. Приемное устройство будет простым, но тут есть одно «но». Ошибки измерения углов вследствие непостоянной интенсивности излучения за период обращения облучателя будут значительными. Чтобы уменьшить их, используют четыре неподвижных облучателя, которые симметрично размещены вблизи фокуса зеркала и конструктивно объединены и образуют симметрично расположенные диаграммы направленности.

Попарно сравнивая две группы сигналов, четырехканальный приемник управляет антенной, причем раздельно для каналов по азимуту и углу места. Предельная точность измерения углов обуславливается главным образом механическими характеристиками антенн и опорно-поворотных устройств. Она колеблется от нескольких десятков угловых секунд до нескольких угловых минут.

Более точным по сравнению с амплитудным является фазовый, или интерферометрический, метод. Он применяется, когда необходимо поддерживать связь с космическими аппаратами, значительно удаленными от Земли (например, при определении положения автоматической межпланетной станции).

Сущность метода заключается в следующем. Пусть в точках *A* и *B* находятся антенны станций угломерных измерений. Если считать лучи радиоволн параллельными, то по разности фаз радиосигналов, принятых каждой антенной, можно вычислить угол, под которым они пришли по отношению к базовой прямой *AB*. Измерения с помощью одной базы дают информацию о возможном положении спутника на некоторой поверхности вращения: конусе, а в общем случае — на гиперboloиде. Используя вторую базу, например, перпендикулярную первой, можно уточнить это положение. В фазовых системах ошибка измерения углов может быть доведена до нескольких угловых секунд.

Что касается скорости изменения углов, то их изменение основано на явлении, аналогичном эффекту Доплера, — определении разности частот сигналов, поступающих от двух антенн. Однако их наземное оборудование достаточно сложно. Оно включает удаленные друг от друга на многие километры радиотехническую аппаратуру, средства связи, устройства контроля размеров базы и состояния атмосферы. Эти уникальные системы используются при радиоконтроле орбиты крайне редко. Они в основном предназначены для обеспечения испытательных запусков и располагаются, как правило, поблизости от старта.

УПРАВЛЕНИЕ СПУТНИКАМИ

Когда речь заходит об управлении космическими аппаратами, обычно прежде всего говорят о динамических операциях — выводе орбитальных станций на монтажную орбиту, сближении и стыковке, спуске транспортных кораблей. Но есть и другая не менее важная сторона — управление работой бортовыми системами: включение и выключение аппаратуры, поддержание требуемых режимов работы приборов, агрегатов. Именно это и является определяющим для спутников связи, навигации, изучения окружающей среды и природных ресурсов Земли.

Для управления космическими аппаратами разработа-

тываются команды двух типов. Одни управляют движением спутника, другие — работой его аппаратуры. По своей форме и принципам передачи они идентичны, различаются лишь методами расчета.

Итак, команда из ЦУП поступает по линии связи на КИП, с которого и идет непосредственное управление спутником. Каждая командная радиотехническая станция имеет пульт выдачи команд, программно-временное устройство, аппаратуру кодирования информации, радиопередатчик и антенну.

Вспомните принципы космической радиосвязи. Устойчивой она бывает лишь в пределах прямой радиовидимости. Это означает, что управлять спутниками, находящимися на низких орбитах, где радиовидимость ограничена несколькими минутами, с помощью команд довольно сложно, а иногда и невозможно. Как, например, управлять работой аппаратуры метеоспутника с помощью команд в акватории Мирового океана? А ведь именно там это крайне необходимо. Вот почему наряду с командами используют и программное управление.

Программу можно представить как совокупность слов, каждое из которых состоит из команд и времени, определяющего момент их исполнения. Различают жесткую и гибкую программы. Первая обычно закладывается в бортовое программно-временное устройство при подготовке спутника к запуску. По радиолинии передается лишь одна команда, по которой и начинается исполнение программы. Такой метод управления наиболее простой и надежный. Однако жесткая программа не может отслеживать изменение обстановки и не поддается коррекции после выведения спутника. Жесткий программник, как его обычно называют, можно сравнить с проигрывателем, в котором без смены пластинки мелодии не изменить. «Сменить мелодию» на борту спутника с жестким программным управлением еще сложнее, ведь на Землю его для этого не вернешь.

Более совершенен метод управления по гибкой программе, которую можно полностью или частично изменить во время сеанса радиосвязи. Здесь тоже есть аналогия, подобная той, что приведена выше. Гибкая программа сравнима с записью на магнитной ленте, которую при желании можно полностью или частично заменить, не вынимая из магнитофона. В гибкой программе команды и времена их исполнения могут рассчитывать-

ся в ходе полета спутника и закладываться в бортовое программно-временное устройство, используя космические радиоволны. Естественно, в этом случае возрастает сложность программно-временного устройства, снижается надежность, но зато реализуются широкие возможности для управления бортовыми системами и, следовательно, повышается эффективность использования космических средств.

Не исключаются и промежуточные варианты, когда возможна в некоторых пределах коррекция выдачи команд либо изменение значений самих команд.

Программно-временные устройства, используемые в космической технике, довольно разнообразны. Они могут быть механическими, электрическими, электронными. Первые два используются для реализации жесткой программы, а последнее, более точное и компактное, — для гибкой. Принцип работы простейшего программно-временного устройства таков. Генератор частоты постоянно вырабатывает импульсы, однако попасть в счетчик они могут лишь с поступлением на борт радиокоманды «Пуск программы». С этого момента замыкается электрическая цепь, связывающая часы с распределителем команд. Далее в зависимости от заложенной программы распределитель в требуемые моменты времени выдает командные сигналы в бортовые системы спутника.

Как известно, в процессе полета спутника возможны его отклонения от расчетного движения. В связи с этим в распределителе команд предусмотрено изменение (правда, в небольших пределах) коэффициента деления счетчика импульсов. Его значение задается радиокомандой «Коррекция программы». В зависимости от необходимости изменения времени начала работы той или иной бортовой системы таких команд может быть несколько.

Для реализации гибкой программы требуется более сложное программно-временное устройство. Но прежде чем рассмотреть его работу, остановимся на основных принципах передачи и приема информации. Команды, поступившие из ЦУП на КИП, передаются на спутник по радиолинии с помощью кода — совокупности возможных радиосигналов, или, как их часто называют, кодовых комбинаций. Элементы, образующие алфавит кода, могут различаться по частоте, фазе и амплитуде. В

этом смысле «радиоалфавит» располагает несколькими большими возможностями по сравнению с общепринятым. В реальных космических радиолиниях наиболее широкое распространение получили двоичные коды.

Это объясняется прежде всего тем, что управление полетом спутниками немыслимо без использования вычислительной техники. А она, как известно, использует двоичные коды. Поэтому при радиоуправлении в системе «ЭВМ — источник команды и линия ее передачи», очевидно, наиболее удобно принять единый код. Кроме того, при передаче команд обычно используются различные счетчики, делители частоты, запоминающие устройства, наиболее простая реализация которых также возможна при двоичном коде.

Что касается аппаратуры, участвующей в радиоуправлении, то ее принято подразделять на передающую и приемную. Первая включает в себя кодирующее и передающее устройства, а вторая — приемное и декодирующее.

Рассмотрим упрощенную схему работы космической радиолинии. На вход кодирующего устройства поступают команды от источника командной информации (ЭВМ, командного пульта оператора или автоматического программно-временного устройства), в которой заранее записаны все команды на сеанс связи и время их передачи по радиолинии. Здесь они однозначно переводятся в кодовые комбинации. Далее следует передатчик, где осуществляется их модуляция сигналами несущей частоты, антенна и передающая среда. На приемной стороне радиолинии эти операции повторяются в обратном порядке.

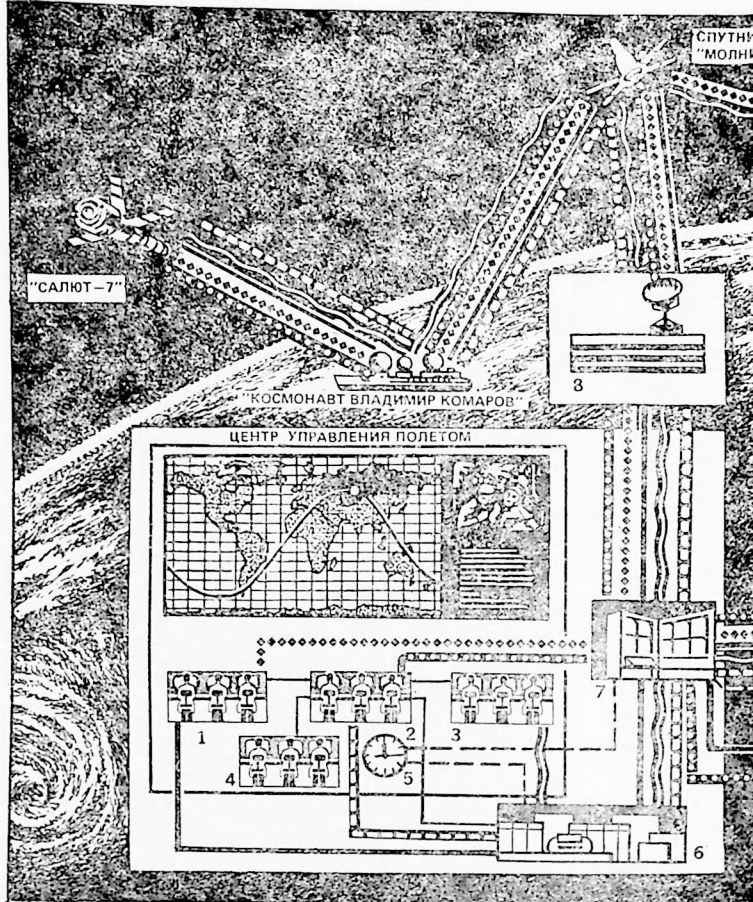
Надо заметить, что реальная аппаратура разрабатывается с учетом особенностей космической связи: большие расстояния передачи радиосигналов, значительная скорость перемещения спутников в пространстве, высокая точность привязки команд к единому времени и наличие большого количества радиопомех. Отсюда становится ясным, почему основная масса радиотехнических станций имеет остронаправленные антенны, концентрирующие энергию в узком луче, и передатчики большой мощности, а спутники — высокочувствительные приемники. Причем для каждой антенны предварительно рассчитываются целеуказания и сопровождение сигнала по

направлению, а в узкополосных системах — и по частоте Доплера.

Не обходится и без радиопомех. Это могут быть атмосферные и электрические шумы, паразитные излучения источников электромагнитных колебаний, помехи от соседних по частоте и местоположению радиопередатчиков. Каждая из них может привести к нарушению управления. Теоретически возможны три случая искажения команд. Во-первых, когда декодирующее устройство вообще не регистрирует кодовую комбинацию. На ее месте в приемном устройстве появится пропуск. В этом случае говорят, что кодовая комбинация подавлена. Во-вторых, возможна трансформация команды, и в приемном устройстве появится ложная команда. В-третьих, ложная команда может быть сформирована за счет только одних помех.

Вероятность исполнения команд зависит от продолжительности включения приемника и выбранного кода. В реальных условиях приемник включают незадолго до начала сеанса и выключают сразу по его окончании. Поэтому при случайных помехах имитация команд практически исключена. А вот трансформация кодовых комбинаций возникает довольно часто, и с ней приходится бороться. Здесь прежде всего помогает увеличение мощности передатчика, что позволяет уверенно отличить элементарный сигнал от помехи.

Второй путь — повышение помехоустойчивости элементарного сигнала. Сейчас разработаны многочисленные способы построения и приема помехоустойчивых сигналов. Но основным все-таки следует назвать применение избыточного кода. Число передаваемых команд реально берут заведомо меньше возможного, и такой код называют избыточным. Принцип борьбы с помехами заключается в том, что для кодирования команд отводится ровно вдвое меньше разрядов, чем предусмотрено кодом. Это позволяет записать их дважды, а на приемной стороне радиолинии разряды основной и избыточной (повторной) части кодовой комбинации попарно сравниваются. Если они совпали, считается, что искажений нет и команда исполняется. В противном случае она подавляется и ее передают повторно. Двукратное повторение команд ведет к еще большему снижению вероятности их трансформации. На этом же принципе сравнения существует и еще целый ряд схем защиты от ис-



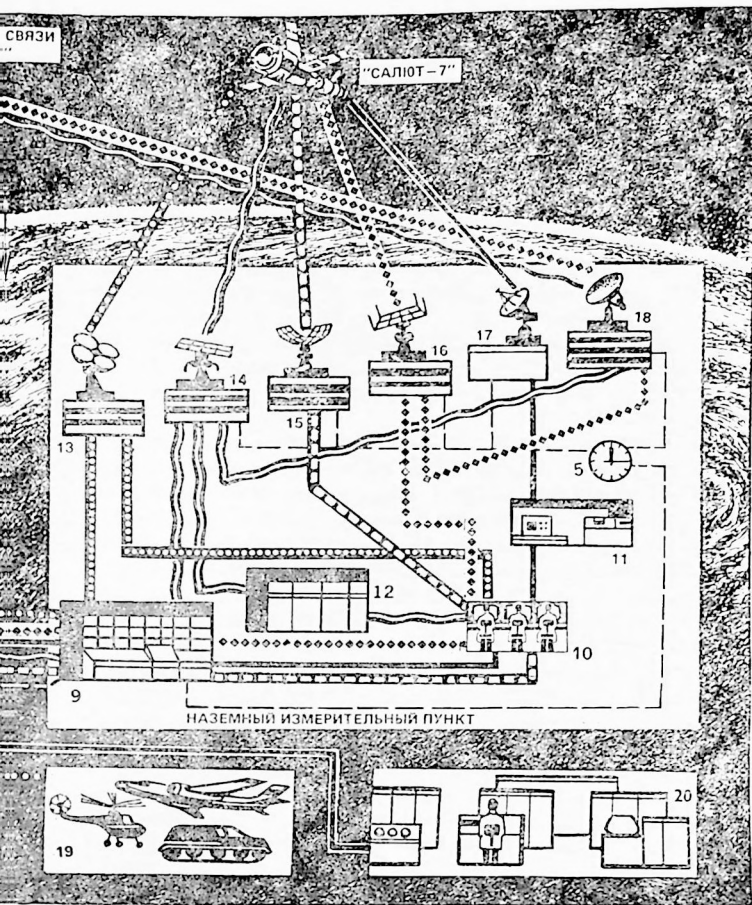
..... ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КАНАЛ

~~~~~ КАНАЛ ТЕЛЕМЕТРИИ

—+—+— КОМАНДНАЯ РАДИОЛИНИЯ

Рис. 1. Схема командно-измерительного комплекса при управлении пилотируемым орбитальным комплексом:

1 — баллистическая группа; 2 — группа управления; 3 — группы анализа и диагностики состояния систем космических аппаратов; 4 — медицинская группа; 5 — служба единого времени; 6 — информационно-вычислительный комплекс; 7 — узел связи; 8 — станция спутниковой связи; 9 — узел связи; 10 — группа управления; 11 — баллистическая группа с ЭВМ; 12 — группа оперативной



СВЯЗЬ С КОСМОНАВТАМИ

РАДИОЛИНИЯ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

обработки телеметрической информации; 13 — станция радиопереговоров с космонавтами; 14 — станция приема телеметрической информации с космических аппаратов; 15 — станция передачи команд на борт космических аппаратов; 16 — станция приема телевизионной информации; 17 — станция траекторных измерений; 18 — станция спутниковой связи; 19 — поисково-эвакуационный комплекс; 20 — центры обработки и потребители научной информации

кажений. Однако более надежной и получившей широкое применение считается космическая радиолиния с обратным каналом, по которой на передающую сторону поступают сведения о принятой на спутнике информации. В этом случае записанная в регистре кодовая комбинация ретранслируется на Землю. Здесь она поразрядно сравнивается с исходной, и при полном совпадении на спутник дается сигнал, разрешающий ее исполнение. При обнаружении ошибки запись в регистре стирается и вся операция повторяется сначала. Естественно, это не единственный способ защиты командной радиолинии, но ограниченность объема брошюры не позволяет останавливаться на этом вопросе более подробно.

Как же работает бортовое программно-временное устройство?

Все начинается с поступления команды «Запись программы». Прием, запись и хранение информации сопровождаются рассмотренными мерами по сохранению достоверности принимаемой программы. Завершается запись разовой командой «Пуск программы», которая тут же переводит запоминающее устройство в режим исполнения программы: кодовая комбинация, содержащая первую по времени исполнения команду и код ее времени, переводится в регистр. Здесь сравниваются текущее время и временная часть хранящегося в ней слова. В момент их совпадения командная часть слова посылается в распорядитель команд, а в регистр из запоминающего устройства поступает очередное слово, и процесс повторяется. Из распорядителя сигналы поступают на бортовые системы.

Использование принципов программного управления, как и программно-временных устройств, не является привилегией космической техники. Они нашли широкое применение в народном хозяйстве. Космонавтика вобрала и будет вбирать в себя технический опыт смежных областей техники. В свою очередь, многие решения, впервые апробированные в космической технике, стали достоянием других отраслей народного хозяйства.

## УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ

Первые попытки производить измерения и управлять работой машин на расстоянии относятся к концу XIX в. По предложению французского ученого Э. Бранли по-



вому направлению было дано название «телемеханика». А в начале века наряду с Францией проблемой дистанционного управления движущимися объектами стали заниматься ученые Испании, Италии, Германии. В нашей стране первые работы в этой области появились в 20-х годах. Дальность действия советских телемеханических систем в 1925 г. не превышала 25 км, но уже через два года она возросла в 7 раз. В 30-х годах дистанционное управление стало применяться в народном хозяйстве, в частности на железнодорожном транспорте и в энергосистемах.

В послевоенные годы в развитии телемеханических систем был сделан качественный скачок. На смену релейно-контактным элементам пришли полупроводниковые и магнитные, а затем и электронные устройства. Изменилось и их название. Теперь эти системы стали называть телеметрическими. Возросла и область их применения. Сегодня трудно назвать какую-либо отрасль народного хозяйства, где бы они не использовались. Дистанционное управление космическими аппаратами впервые применили в мае 1958 г., когда на орбиту был выведен третий советский спутник.

Датчики, устанавливаемые на борту спутника и ракеты-носителя, измеряют и контролируют температурные режимы наиболее ответственных узлов, давление, вибрации, перегрузки и многие другие параметры. Они обеспечивают контроль за работой систем управления, автоматики, пневмогидросистем, отдельных блоков и приборов. По измеряемым параметрам, или, как говорят специалисты, по телеметрии, судят о годности бортовой аппаратуры, принимают решение о переходе при необходимости на резервный комплект. Сегодня она стала основным видом контроля за работой космической техники.

Сбор информации со спутника, передачу ее на Землю, доставку в ЦУП и представление специалистам для изучения и анализа осуществляет телеметрический комплекс. В него входят бортовая телеметрическая аппаратура, наземные приеморегистрирующие станции, аппаратура обработки информации, различные виды каналов связи.

Телеметрический комплекс должен обеспечивать полноту, высокое качество и оперативность доставки информации. Первое требование приводит к тому, что ко-



личество телеметрических датчиков оказывается достаточно большим. Так, на спутниках типа «Молния» число контролируемых параметров составляет около 500, а на пилотируемых кораблях «Союз» и станции «Салют» — 2000—3000, а иногда и больше.

Что же касается принимаемой информации, то цифры здесь поистине астрономические. Например, с орбитального комплекса «Салют-7» — «Союз» ежесекундно принималось и обрабатывалось около 800 тыс. единиц информации, что по объему равносильно тексту трех таких брошюр, как «Космонавтика, астрономия». Этот поток, если не принять меры к тому, чтобы направить его в регулируемое русло, может забить буквально все каналы связи. Ведь пропускная способность каждого из них ограничена.

Каким же образом совмещают полноту, оперативность и качество получаемой информации?

Прежде всего путем уплотнения каналов. Известны два таких способа — частотный и временной. Первый основан на разнесении частот сигналов от различных датчиков, что значительно повышает производительность одного канала. На Земле, используя частотный фильтр, сигналы восстанавливают. При временном уплотнении вводится система бортовой коммутации, с помощью которой осуществляется поочередный опрос датчиков. При этом фиксируется только мгновенное показание датчика, после чего опрашивается следующий. Таким образом, телеметрические данные, передаваемые через радиоканал, представляют собой цепочку зашифрованных сигналов с определенной последовательностью опроса.

В соответствии с этими способами уплотнения разрабатывается и телеметрический комплекс. Частотный реализуется в аналоговых системах, где сигналы сохраняют свою форму, а временной — в цифровых, в которых они квантуются по времени и амплитуде (рис. 5). Каждая из этих систем, естественно, имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому их применение определяется прежде всего качеством получаемой информации.

Так, для регистрации быстротекущих процессов, таких, как вибрации в элементах конструкции, аналоговые системы предпочтительнее, поскольку дают более полную картину для анализа и выводов о работе приборов, агрегатов, конструкции. Однако объем переда-

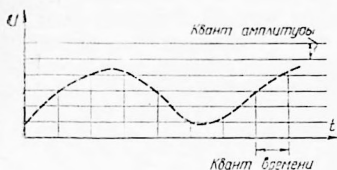


Рис. 5. Схема преобразования телеметрического сигнала

Они имеют такие практически реализуемые параметры: количество каналов — 2000—3000, частоту опроса каналов — 0,01—100 Гц, погрешность передачи информации — до 1%, суммарную скорость передачи — до  $10^6$  двоичных единиц в секунду, вероятность появления ошибки при максимальной загрузке — один двоичный разряд в секунду.

Принципы построения этих систем показаны на рис. 6 и 7.

Режим работы бортовых телеметрических систем существенно зависит от продолжительности связи с Землей. Как правило, эта связь ограничена, поскольку спутники находятся в зонах радиовидимости наземных пунктов относительно короткое время. Телеметрический же контроль должен вестись в процессе всего полета. Найдено компромиссное решение: непрерывная запись измеряемой информации на бортовые магнитофоны с последующим сбросом ее на измерительный пункт во время сеанса связи.

Мы уже говорили о трудностях, связанных с передачей большого потока измерений. В телеметрических системах наряду с уплотнением каналов применяется и бортовая обработка информации, чаще всего с целью изъятия избыточных сведений. Дело в том, что многие параметры изменяются довольно редко. Поэтому передавать их каждый раз не требуется. Используется и смысловая обработка, когда сброс данных производится только в случае аномального поведения контролируемых параметров. Таким путем удастся разгрузить космическую радиолинию и наземный комплекс обработки ин-

ваемой информации у них ограничен. Из-за помех, возникающих в результате наложения спектров отдельных каналов, обслуживаться может не более 30—50 датчиков.

Цифровые телеметрические системы свободны от этого недостатка и служат для передачи большого объема инфор-

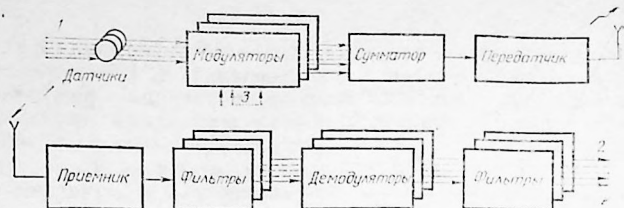


Рис. 6. Схема аналоговой телеметрической системы с частотным уплотнением каналов:  
1 — измеряемые величины; 2 — результаты измерений; 3 — поднесущие колебания

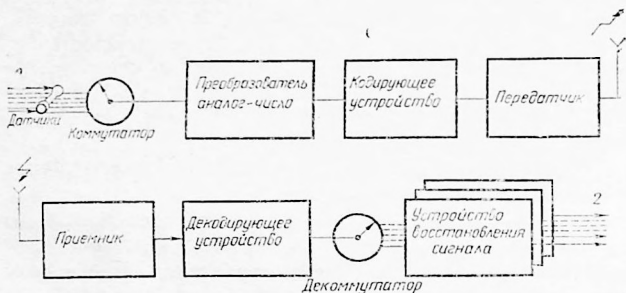


Рис. 7. Схема цифровой телеметрической системы с временным уплотнением каналов:  
1 — измеряемые величины; 2 — результаты измерений

формации, а также повысить автономность работы телеметрических систем.

Обработка информации в телеметрических системах в основном автоматизирована. Она осуществляется с помощью универсальных и специальных электронных вычислительных машин. Возможны два варианта использования аппаратуры автоматической обработки информации. В первом, так называемом экспресс-режиме, программа обработки закладывается в аппаратуру измерительного пункта из ЦУП перед сеансом связи. Информация со спутника поступает в информационно-вычислительный комплекс ЦУП, и результаты обработки передаются на средства отображения.

Специалисты оперативно и в наглядной, легко воспринимаемой форме получают представление о работе подведомственных систем. Полученные данные здесь же документируются. Эта обработка приемлема только для тех параметров, по отклонению которых от нормы могут быть выданы управляющие команды. Здесь же обрабатываются данные о состоянии космонавтов. Во втором режиме телеметрическую информацию, прежде чем отправить в ЦУП, обрабатывает вычислительный центр КИП. Сомнительные и явно выпадающие из нормы данные отбрасываются; образно говоря, информация очищается и сжимается.

Окончательная ее обработка производится в последующий период. Эта информация позволяет судить как о работе отдельных систем, так и космического аппарата в целом. По результатам принимаются решения на дальнейшее совершенствование или доработку бортовых систем. Современные телеметрические станции обладают универсальностью, что позволяет им работать с космическими аппаратами всех типов, которые должны обслуживать наземные средства обеспечения полета.

### КРЫМСКИЙ РАДИОТЕЛЕСКОП

В ноябре 1981 г. в южных районах нашей страны разыгралась стихия: ураганный ветер, трехдневный снегопад и снова ветер. Его напора не выдерживали крыши многих домов, валялись деревья, телеграфные столбы. Черное море разбушевалось так, что поселок Прибрежный возле Евпатории оказался затопленным и несколько дней напоминал Венецию. Недалеко от причала на мель выбросило сухогруз...

Следы стихии я видел по дороге в Центр дальней космической связи, где в те дни планировалась работа с автоматическими межпланетными станциями «Венера-13» и «Венера-14», которые должны были передать панораму поверхности таинственной планеты. «Как-то там справились со стихией?» — с беспокойством думал я. Одна только антенна радиотелескопа РТ-70 чего стоит! По площади она превышает футбольное поле. Поднятая же на высоту, эта махина создает парусность, намного большую, чем та, что была у сухогруза, лежавшего у берега. Какой же прочностью должна обладать эта антенна?

Издалеко заметил выделяющуюся огромными размерами ослепительно белую чашу, возвышавшуюся над степью. И чем ближе подъезжал к ней, тем больше убеждался в целостности ее изящной конструкции. Неожиданно над степью разнесся тревожный вой сирены. Это поступило предупреждение: всем быть внимательными, сейчас этот гигант весом 4000 т оживет! Кого-то сигнал мог действительно насторожить, а мне он доставил радость: цела антенна! Разум конструкторов, точность инженерных расчетов, добросовестный труд рабочих и мужество обслуживающих ее людей победили стихию.

И точно. Несколько минут спустя антенна, повиная заданной оператором программе, плавно и непринужденно пришла в движение. Через некоторое время она как будто вновь замерла. Стереотипное понятие о том, что антенна, поймав сигнал, нацеливается в заданную точку небосвода, в данном случае будет ошибочным. На самом деле она двигалась за источником информации, но движение это зарегистрировать может лишь ЭВМ.

Крымский радиотелескоп (см. последнюю стр. обложки) создавали многие коллективы под общим руководством М. С. Рязанского. По разнообразию режимов работы, остроте «зрения», количеству диапазонов волн и способности практически мгновенно переходить от одного к другому, а также по стабильности основных характеристик РТ-70 является одним из лучших в мире. Его разработчики решили широкий комплекс радиотехнических, конструктивных, инженерно-технических и строительно-монтажных задач.

В то же время специалисты позаботились об универсальности антенны, которая может использоваться для связи с автоматическими межпланетными станциями, быть основным элементом радиотелескопа, позволяющего исследовать самые далекие объекты Вселенной, или радиолокатором при зондировании планет.

Антенна состоит как бы из трех основных частей: железобетонной башни-фундамента высотой 16 м, поворотной платформы и зеркальной системы. Башня-фундамент воспринимает нагрузку через шарикоподшипник, который уникален по своим размерам: между двумя обоймами диаметром 22 м катаются 300 пудовых «шариков». Нижняя обойма крепится к фундаменту, отливливированному с точностью  $\pm 0,1$  мм, а верхняя — к по-

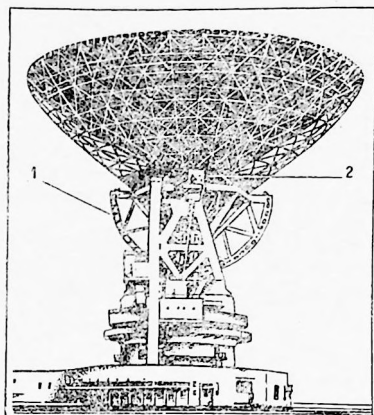


Рис. 8. Поворотная платформа радиотелескопа РТ-70:  
1 — зубчатый сектор; 2 — цапфа

воротной платформе. Этот шарикоподшипник вместе с шестеренчатой системой поворота обеспечивает вращение антенны в горизонтальной плоскости.

Поворотная платформа имеет сложную конструкцию, основу которой составляет зубчатый сектор, вращающийся на цапфах в двух подшипниках горизонтальной оси (рис. 8), и противовесы главного зеркала. В движение ее приводят электросиловые приводы, которые отслеживают цифровой код управления, задаваемый ЭВМ. Мощность системы привода обеспечивает нормальную работу антенны при скорости ветра 18—20 м/с.

Третья часть антенны — зеркальная система — крепится к поворотной платформе. Ажурный каркас главного зеркала собран из множества стальных труб, а 1188 алюминиевых щитов, составляющих рефлектор, насаживаются на регулируемые шпильки, закрепленные на каркасе. Это позволило провести монтаж зеркала, выполненного в виде 14 концентрических кругов, с требуемой точностью. Контррефлектор диаметром 7 м и приводы его перемещения (для компенсации каркаса антенны) крепятся на четырехстержневой опоре.

В центре рефлектора расположена большая кабина, где находятся контейнеры со сменной приемопередаю-

шей аппаратурой. Над этой конструкцией крепится поворотная зеркальная система. Она-то и обеспечивает быструю смену диапазонов приема и передачи.

Устойчивость космической связи достигается в том случае, когда размеры главного зеркала антенны в сотни и даже тысячи раз превышают длину радиоволны. Если учесть, что ее диапазон лежит в пределах от 3 до 40 см, то становится ясным, насколько громоздким оно должно быть. А это и приводит к возникновению ряда трудностей.

Качество любой антенны оценивается коэффициентом ее использования, который зависит от формы главного зеркала и дефектов его изготовления, совершенства облучателя, степени затенения зеркала элементами крепления контррефлектора. Еще совсем недавно этот коэффициент составлял 0,5—0,6, а это означает, что в лучшем случае 40—50% площади зеркала практически пропадало. Вот и получается, что, строя антенну диаметром 60 м, реально получали около 45 м. Не правда ли, обидно впустую тратить металл, энергию? Кроме того, с ростом диаметра зеркала увеличиваются сроки строительства, возрастает его стоимость.

Существенный вклад в решение этой проблемы внес член-корреспондент АН СССР Л. Д. Бахрах. Он предложил заменить традиционную параболическую форму главного зеркала квазипараболической. Такая форма рефлектора помогает добиться более равномерной освещенности его поверхности. Тогда и энергия облучателя используется почти полностью. Если бы не затенение от опор контррефлектора и дефекты изготовления зеркала, коэффициент использования поверхности квазипараболической антенны был бы близок к единице. Новый профиль зеркала нашел первое воплощение в антеннах спутниковой связи, в частности на станциях сети «Орбита» и «Москва».

С увеличением диаметра зеркала неизбежно встает еще одна проблема: борьба с деформациями. Их размеры растут пропорционально квадрату диаметра зеркала. Так, у 70-метровой антенны деформация в 8 раз больше, чем у 20-метровой, и достигает 3—4 см. Вот тут-то и начинаются трудности, ведь неровности формы не должны превышать десятой доли длины волны.

И из этого, казалось бы, безвыходного положения выход был найден. Советский конструктор радиотеле-

скопов П. А. Калачев и немецкий конструктор С. фон Хорнер независимо друг от друга предложили идею, которая сводилась к следующему. Поскольку от деформации избавиться нельзя, то не попытаться ли рационально использовать новую форму зеркала, запланировав ее изменение в процессе проектирования?

Комбинируя смещение контррефлектора и облучателя в зависимости от деформации, можно добиться требуемого хода лучей. Позже, при разработке антенны РТ-70, был найден закон распределения деформации по поверхности произвольной формы для двухзеркальной системы, т. е. найдено решение в общем виде. В результате коэффициент использования антенны был поднят до 0,8.

Радиотелескоп был опробован в декабре 1978 г. во время работы с автоматическими межпланетными станциями «Венера-11» и «Венера-12». Тогда благодаря его чувствительности ученые смогли определить параметры движения спускаемых аппаратов в атмосфере планеты. С тех пор проведено немало космических, радиоастрономических и радиолокационных исследований, в которых с помощью РТ-70 получены качественно новые результаты.

По сравнению с другими отечественными центрами дальней космической связи крымский радиотелескоп в различных диапазонах волн в 10—35 раз более чувствителен к сигналам, приходящим от автоматических межпланетных станций. Во столько же раз выше скорость приема научной информации, передаваемой с борта этих станций. Это особенно важно для исследования Венеры, поскольку время спуска аппаратов на ее поверхность занимает несколько часов. Именно возможности крымского радиотелескопа обеспечивали прием цветной фотопанорамы поверхности Венеры в 1981 г. и информации о локации поверхности планеты аппаратурой станций «Венера-15» и «Венера-16» с 1983 г., и в экспериментах с аэростатными зондами «Вега-1» и «Вега-2» в 1985 г.

Интересные результаты получили советские ученые при радиолокации планет. Измерения межпланетных расстояний, выполненные с помощью крымского и других радиотелескопов, легли в основу уточненной теории движения планет земного типа (Меркурия, Венеры, Земли и Марса). Она дает поразительные результаты: в



50—100 раз точнее классической позволяет прогнозировать движение этих планет. Это очень важное достижение. Баллистики получили весьма тонкий инструмент для расчета межпланетных траекторий космических аппаратов.

Антенна РТ-70 дала возможность увидеть рельеф ближайших к нам планет с разрешением по дальности до 1,2 км. В частности, на Марсе определен профиль горы Олимп, максимальная высота которой 17,5 км.

Этот телескоп позволил радиоастрономам регистрировать слабые источники космического излучения, исследовать их спектр в недоступном ранее диапазоне волн (например, на длинах волн 1,35 и 0,8 см). А именно они несут важную информацию о структуре и движении объектов Вселенной.

Радиоастрономы, опираясь на опыт предшественников, в целях достижения лучшего разрешения стали «объединять» радиотелескопы в радиointерферометры с базой чуть ли не в диаметр Земли. Такой антенный дуэт позволяет достичь разрешения в 0,001", что в 20 раз лучше, чем у самого крупного оптического телескопа. В частности, совсем недавно крымский радиотелескоп РТ-70 был участником такого дуэта в исследованиях кометы Галлея. А в 1979 г. советские ученые создали первый в мире космический радиointерферометр, в который вошли РТ-70 и установленный на орбитальной станции «Салют-6» радиотелескоп КРТ-10.

Таковы первые, в ряде случаев рекордные, достижения советских ученых при работе с РТ-70. Как всякий новый и совершенный инструмент, он не раскрыл пока полностью своих возможностей, и мы, несомненно, еще станем свидетелями новых космических свершений с использованием крымского радиотелескопа.

## **КОРАБЕЛЬНЫЕ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ**

Могут спросить: а зачем нужны корабли слежения за космосом? Разве недостаточно наземных станций?

Вот что говорил шеф советского «космического» флота Иван Дмитриевич Папанин, известный полярник, дважды Герой Советского Союза, доктор географических наук, возглавлявший Отдел морских экспедиционных работ АН СССР: «Достаточно бегло взглянуть на гло-

бус: он большей частью голубой. Под водой скрыты чуть ли не три четверти земной поверхности. Иначе говоря, радиогоризонт наземных станций ограничен. И, естественно, они рано или поздно теряют космический объект из виду, перестают его слышать, не могут управлять им. А если необходимо связаться с космонавтами, откорректировать траекторию ИСЗ или межпланетной станции, как раз в тот момент, когда объект наблюдения вне поля зрения наземных станций? Выход единственный — развернуть сеть передвижных станций слежения в морях и океанах.

Таких кораблей раньше не строили. Задача, стоявшая перед учеными, радиотехниками, корабелями, создавшими первенец «космического флота», была исключительно сложна. Корабль должен был быть достаточно просторным, чтобы на палубах его разместились гигантские антенны, а в каютах и в трюме — сотни исследователей, тысячи приборов, целый научный институт. Он должен был быстро и четко находить заданную точку океана — для работы в космосе нужно точно знать свои координаты — и, наконец, в любую бурю палуба его должна быть такой же неподвижной и устойчивой, как скала, — любая, даже самая малейшая качка пагубно сказалась бы на работе антенн и других приборов.

А в общем, он должен сочетать в себе свойства быстрого и надежного корабля с точностью движения ракеты и исследовательские возможности института.

Основное отличие корабельных командно-измерительных пунктов от наземных, пожалуй, заключается в том, что их положения нет на географических картах и место работы каждого из них может меняться даже от одного сеанса связи к другому. Расположение судов в акватории Мирового океана преследует цель исключить так называемые глухие витки космических аппаратов. Например, при пилотируемых околоземных полетах из 16 суточных витков 5—6 находятся вне радиовидимости с территории Советского Союза, т. е. перерыв в связи может достигать 9 ч.

Расчеты показывают, что уже два корабельных командно-измерительных пункта, находящихся в определенных точках Атлантического океана, могут исключить глухие витки и обеспечить практически непрерывность контроля за космическим полетом. Это наглядный пример того, что для непрерывной радиосвязи с косми-

ческими аппаратами требуется равномерное распределение пунктов КИК по всей планете. Именно это и послужило причиной создания «космического» флота. А история его такова.

В 1959 г. намечался запуск первой автоматической межпланетной станции. По баллистическим расчетам для контроля за ее полетом на начальном участке требовалось разместить КИП в районе Гвинейского залива в Атлантическом океане. Вот тогда и было проведено исследование с участием моряков, баллистиков, радиотехников и представителей других специальностей с целью найти выход из создавшегося положения.

Надо сказать, что при этом решался не только вопрос, связанный с полетом первой автоматической межпланетной станции. Необходимо было в принципе определить будущую техническую политику обеспечения космических полетов. После рассмотрения многих проектов специалисты пришли к выводу о необходимости создания плавучих командно-измерительных пунктов на океанских судах. Их потенциальные возможности виделись в способности каждого из них менять место своей работы от одного сеанса связи к другому и тем самым ликвидировать тот пробел, о котором шла речь.

Любое начинание, естественно, требует времени. А его-то как раз для проектирования и строительства специальных судов не было. Поэтому под первые корабельные измерительные пункты были переоборудованы сухогрузные суда торгового флота — теплоходы «Краснодар», «Ильичевск» и «Долинск» Черноморского и Балтийского пароходств. В августе 1960 г. они вышли в первый рейс на тренировку, а в феврале 1961 г. начали принимать информацию с автоматической межпланетной станции, запущенной в сторону Венеры. Затем последовала работа с кораблями-спутниками, запуск которых предшествовал первому полету человека в космос.

12 апреля 1961 г. корабельные измерительные пункты, расположенные в Атлантическом океане и по трассе полета космического корабля «Восток», приняли телеметрическую и научную информацию о полете Ю. А. Гагарина. А на очереди уже стояло обеспечение программы полета космического корабля «Восток-2» с космонавтом Г. С. Титовым. В дальнейшем ни один запуск межпланетных станций и пилотируемых космических кораб-

лей не проводился без участия плавучих командно-измерительных пунктов.

В тот трудный для рождавшегося «космического» флота период судам не хватало даже времени для захода в порт, чтобы пополнить запасы. В их распоряжение даже выделили специальный танкер «Аксай». В его обязанности входило снабжение корабельных измерительных пунктов топливом и пресной водой. Одновременно велось проектирование и строительство специальных судов, способных не только принимать информацию, но и управлять работой космических аппаратов, — корабельных командно-измерительных пунктов (ККИП).

### ОСОБЕННОСТИ КОРАБЕЛЬНЫХ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

На любом корабельном командно-измерительном пункте работают специалисты многих профилей. Условно их делят на два коллектива — экипаж и экспедиция. В задачу первого входит судовождение, техническое обслуживание обеспечивающих систем судна, питание, медицинское и бытовое обслуживание персонала. В ведении экспедиции находятся работы с космическими аппаратами и радиотехническим оборудованием судна.

Основным, главным требованием к разработчикам этого нового вида судов было обеспечение технической совместимости оборудования и психологической совместимости персонала. Нельзя, например, поставить на судно высокоточные навигационные приборы и не отвечающее таким же требованиям радиотехническое оборудование, и наоборот. Как в том, так и в другом случае качество работы будет соответствовать худшему оборудованию.

Кроме того, к специфическим трудностям — продолжительные рейсы, ограниченность пространства и общения, морская качка — добавляются психологические. Неравноценность оборудования создает эмоциональную неудовлетворенность одного из коллективов, а в условиях скоротечности и насыщенности сеансов связи, высокой требовательности за результаты выполняемых работ отказы оборудования усугубляют это положение. Поэтому совершенствование судов «космического» флота происходило постепенно. Так же совершенствовались и методики работ. Например, первые сеансы связи прохо-

дили на якорной стоянке, потом их научились вести в дрейфе, а сейчас и на ходу.

Опыт работы первых корабельных командно-измерительных пунктов показал необходимость создания судов с высокой автономностью плавания. Это позволяет меньшими силами и средствами решать возложенные на «космический» флот задачи. Как правило, время плавания лимитировали запасы пресной воды. Поэтому современные суда оснащены опреснительными установками. Повышенная автономность плавания, естественно, требует предусмотреть и улучшенные условия жизни персонала.

Следующей важнейшей особенностью корабельного командно-измерительного пункта является остойчивость судна и связанные с ней параметры качки на волнении. Конструкторам судов космического флота приходится решать одновременно две противоречивые задачи. Достигновение наибольших углов обзора требует расположения антенн над палубными надстройками. В то же время оптимальное распределение веса для остойчивости судна получается тогда, когда наиболее тяжелые элементы радиотехнической аппаратуры — антенны с их мощными фундаментами и электрическими приводами — расположены ближе к ватерлинии.

Необходимо учитывать и большую парусность антенн. Так на ККИП «Космонавт Юрий Гагарин» (см. первую стр. обложки) их площадь составляет 1200 м<sup>2</sup>. При этом четыре главные антенны вместе с фундаментом имеют массу около 1000 т и установлены на 15—25 м выше уровня ватерлинии. Будучи поставленными на «ребро», они превращаются в паруса, стремящиеся опрокинуть судно. Поэтому при сильном ветре сеансы связи не проводятся либо проводятся укороченными из положения «по-походному», т. е. направленными в зенит. Именно с такого положения была заложена командно-программная информация на борт корабля «Союз-26» для стыковки с «Салютом-6», когда разыгрался шторм у острова Сейбл, где стоял «Космонавт Юрий Гагарин».

Качка судна на волнении создает определенные трудности для сеансов связи с космосом. Углы, на которые палуба судна отклоняется от горизонтального положения, могут в десятки раз превышать предельные значения точности наведения антенн во время сеансов связи. Кроме того, снижается и работоспособность персо-

нала экспедиции. Поэтому на судах «космического» флота наряду со стабилизацией антенн обычно пользуются и различными успокоителями качки. Но качка не только ухудшает прием и передачу электромагнитных колебаний, она создает и дополнительные нагрузки на систему стабилизации антенн и корпуса судна в целом. Таким образом, радиотехнические системы, размещенные на корабельном командно-измерительном пункте, предъявляют повышенные требования к прочности и жесткости корпуса судна.

Есть еще одна особенность, характерная для корабельных командно-измерительных пунктов. Ограниченность палубного пространства создает сложную и трудноразрешимую проблему электромагнитной совместимости радиотехнических средств. Дело в том, что на палубе судна сосредоточено большое число мощных передатчиков и высокочувствительных приемников, которые во многих случаях должны работать одновременно. В этих условиях передатчики, работающие на близких к радиоприему частотах, создают наиболее сильные помехи. Кроме того, мешают также их неосновные излучения. В создание помех существенный вклад вносят и переизлучения от мачт, рубки, соседних антенн и других сооружений. Электромагнитная обстановка осложняется еще и тем, что антенны, сопровождая спутник, вращаются.

Каковы же пути борьбы с радиопомехами?

Наиболее простой, напрашивающийся сам собой, так называемый способ пространственного разнесения сигналов. Он предусматривает возможно большее удаление друг от друга передающих и приемных антенн. Его легко реализовать в наземных условиях. Но как это сделать в океане?

На судах приходится рассредоточивать антенны по палубам и мачтам. Приемные антенны стараются разместить, как правило, на носу, а передающие — на корме. Однако основными для корабельных командно-измерительных пунктов следует считать частотный и временной способы разнесения электромагнитных колебаний. Сущность первого заключается в выборе различных частот для приемных и передающих радиосредств, а второго — в регламентации порядка и времени их включения.

При проектировании корабельных радиотехнических

средств, имеющих мощные передатчики, одновременно с электромагнитной совместимостью была проведена экранировка помещений, введена предупреждающая сигнализация.

## В ОКЕАНЕ КАК НА СУШЕ

Возможности корабельного пункта определяются прежде всего его оснащением. На судах водоизмещением от 17,5 до 45 тыс. т, таких, как «Космонавт Юрий Гагарин», «Космонавт Владимир Комаров», «Академик Сергей Королев», может быть размещен практически весь арсенал радиотехнических средств, характерных для стационарного командно-измерительного пункта. С их помощью можно передавать команды и программы для управления полетом, измерять параметры движения космического аппарата, принимать телеметрическую и научную информацию, вести радиотелефонные и радиотелеграфные переговоры с космонавтами, иначе говоря, полностью заменить наземный командно-измерительный пункт. Суда водоизмещением до 9 тыс. т даже при использовании усовершенствованных радиотехнических систем, более экономичных по габаритам и весу, пока не могут выполнить все функции стационарного командно-измерительного пункта. Поэтому они располагают меньшим составом оборудования и решают более узкий круг задач — прием из космоса телеметрической и научной информации, радиопереговоры с экипажами космических кораблей и орбитальных станций. К этой группе относятся малые научно-исследовательские суда АН СССР — «Космонавт Владислав Волков», «Космонавт Павел Беляев», «Космонавт Георгий Добровольский», «Космонавт Виктор Пацаев», «Кеостров» и др.

Схема оборудования универсального корабельного командно-измерительного пункта представлена на рис. 9.

Принцип работы при управлении полетом, траекторном и телеметрическом контроле, связи с космонавтами тот же, что и на стационарных измерительных пунктах. Поэтому здесь мы рассмотрим лишь вопросы, специальные для судов «космического» флота.

Наиболее сложный и интересный из них — определение местоположения судна. Казалось бы, штурманская служба морских судов существует давно и особых проблем возникать здесь не должно. Однако задача ме-

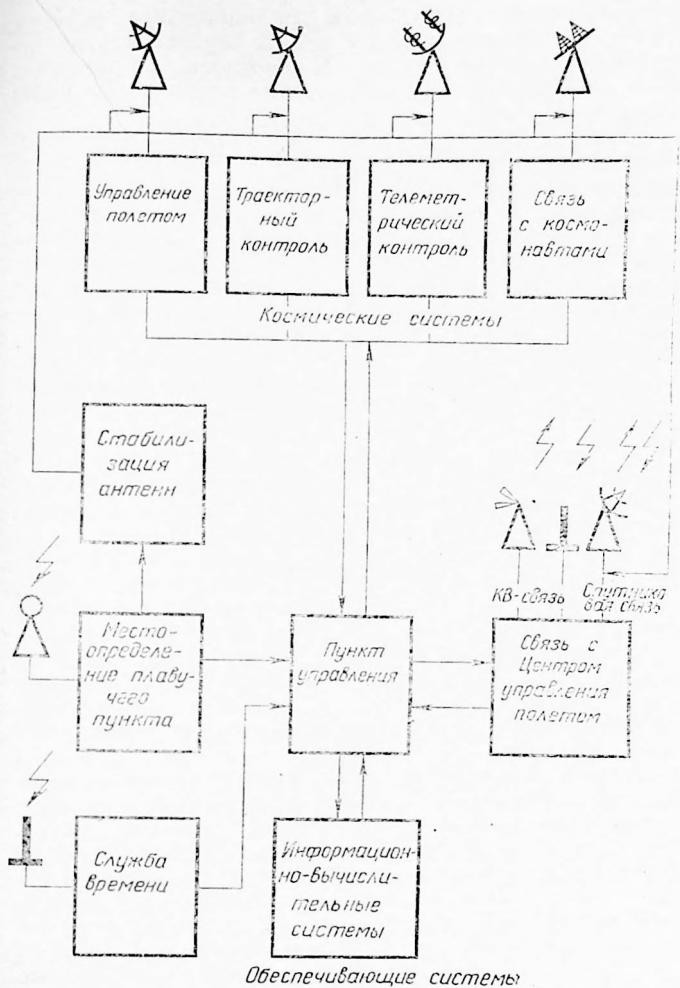


Рис. 9. Схема оборудования КЦИП



«стоопределения корабельного командно-измерительного пункта значительно сложнее задачи определения местоположения морского судна. И сложность ее заключается прежде всего в разном подходе к точности определения координат.

Если штурманов морских судов интересует положение судна относительно окружающих наземных и морских ориентиров — портов, островов, проливов, отмелей, рифов и других местных ориентиров, то штурман корабельного командно-измерительного пункта должен вывести его в точку, координаты которой задаются в геоцентрической системе координат. А положение наземных ориентиров в геоцентрической системе координат не всегда известно достаточно точно, и может случиться так, что ошибки в их привязке измеряются сотнями метров.

Вот и получается, что в обычном навигационном смысле судно привязано абсолютно точно, а в геоцентрической системе координат, используемой в теории полета космических аппаратов, — недопустимо грубо. Зачем же тогда пользоваться этой системой координат и почему предъявляется повышенная точность к местоопределению судов «космического» флота?

Дело в том, что все наземные службы, обслуживающие космический полет, должны понимать друг друга «с полуслова». Поэтому при наличии множества «собственных» самых различных систем координат все они имеют и общую по содержанию и названию — геоцентрическую экваториальную вращающуюся. Ее начало совпадает с центром Земли, одна из осей — с осью вращения нашей планеты, а две другие лежат в плоскости земного экватора.

Высокая точность привязки корабельных командно-измерительных пунктов требуется потому, что ошибки определения местоположения судна влияют на точность баллистических расчетов и прежде всего на прогноз движения космических аппаратов, т. е. на качество работы, для которой они призваны. Конечно, достигнуть в океане той же точности привязки, что и на суше, — задача пока недостижимая. И все-таки она должна быть во много раз точнее, чем это позволяют традиционные навигационные методы судовождения.

При телеметрических измерениях и передаче команд требуется меньшая точность привязки, чем при траекторных измерениях. Однако и здесь ошибки местоопре-

деления ведут к неточности расчета целеуказаний и программ управления корабельными остроуправленными антеннами и как следствие этого к неполноценным сеансам связи.

К традиционным методам определения местоположения относят такие, в которых используются компас, пеленгатор, дальномер. Точность привязки судна к географическим координатам по астрономическим наблюдениям в открытом океане при благоприятных условиях составляет 1—2 морские мили. Использование пеленгаторов и радиотехнических ориентиров повышает точность определения места судна и не зависит от погоды и времени суток. И тем не менее эти методы в основном используются для предварительной подготовки района работы. Как показала практика, она имеет большое значение. Ведь местные ориентиры, в том числе и подводные: отмели, впадины и др., могут быть точно привязаны заблаговременно.

Более совершенной считается инерциальная измерительная система. Ее основой является гиросtabilизированная платформа с укрепленными на ней акселерометрами. Платформу помещают в карданный подвес, который обеспечивает свободу поворота относительно трех осей и тем самым ее независимость от положения судна. Гироскопы служат построителями фиксированной в инерциальном пространстве системы координат. Сигналы, снимаемые с них, подаются на исполнительные двигатели, которые удерживают платформу в начальном положении.

Акселерометры служат для измерения ускорения. Основной элемент этого прибора — чувствительная масса, которая без трения может скользить вдоль оси чувствительности. Любое ее смещение от нейтрального положения говорит об изменении ускорения. Электрический сигнал, пропорциональный смещению чувствительной массы, подается на интегратор, который определяет скорость и путь.

Точность инерциальной системы зависит прежде всего от ошибок гироскопов и акселерометров. Избежать этих ошибок, даже если положить, что отсутствует дрейф гироскопов, очень сложно. Дело в том, что при движении судна вдоль поверхности Земли платформа с акселерометрами должна отслеживать горизонтальность своего положения. Принцип же действия гироско-

пов построен на сохранении постоянной их ориентации в инерциальном пространстве. Чтобы добиться компромисса, платформу приходится принудительно разворачивать, что создает условия для появления ошибок.

Даже на якорной стоянке необходимо проводить эту операцию, чтобы учесть эффект вращения Земли и вносимую им погрешность в ориентацию платформы. То же самое можно сказать об акселерометрах. Любой наклон оси чувствительности вызывает появление ложного сигнала, который после интегрирования ведет к ошибке определения координат и скорости. Поддержания точности инерциальных измерительных приборов добиваются путем их периодической сверки по другим приборам, например радиоастрономическим.

В последние годы все более широкое применение находят космические навигационные системы. Возможность применения космических аппаратов для целей навигации стала понятна еще в 1957 г. при слежении за первыми спутниками. Специалисты, анализируя принятые сигналы, отметили, что из данных о доплеровском сдвиге частот можно извлечь достаточно полные сведения о параметрах орбиты спутника. Дальнейшие исследования показали, что все необходимые вычисления могут быть проведены по результатам слежения за космическим аппаратом во время его пролета над наблюдателем.

Одновременно было установлено, что возможно решение и обратной задачи: на основе точных сведений о параметрах орбиты определить координаты местоположения станции слежения. Эти результаты послужили причиной сначала исследований и экспериментов, а затем создания спутниковых навигационных систем.

Концепция навигационной системы предполагает использование простого метода измерения расстояния между двумя точками на основе точных сведений о скорости и времени распространения радиосигналов. В такой системе предусматриваются жесткая синхронизация по времени излучения сигналов с борта спутника и точное измерение времени прохождения этими сигналами расстояния до приемной аппаратуры пользователя, содержащей синхронизируемые генераторы частоты. Умножая измеренное значение времени распространения на коэффициент, учитывающий скорость распростране-

ния сигналов, можно получить значение расстояния между спутником и его пользователем.

Сейчас любая из навигационных систем включает несколько космических аппаратов, ряд наземных пунктов КИК и потребителей информации. Допустим, что в спутниковую навигационную систему входит 6 космических аппаратов на орбитах высотой 1000 км. Для каждого из них КИК рассчитывает прогноз движения и закладывает в память бортовой аппаратуры сведения о местоположении космического аппарата, или, как их называют специалисты, эфемериды, привязанные к меткам сигналов точного времени.

Высота орбиты навигационных спутников выбирается из компромиссных условий, удовлетворяющих точности определения местоположения, оперативности получения информации и масштабы обслуживания. Так, чем выше спутник, тем больше число пользователей может быть обслужено, да и погрешности в определении орбиты, вносимые Землей и ее атмосферой, уменьшаются.

Однако увеличение высоты требует большего количества спутников для сохранения оперативности. Ведь на меньших высотах угловая скорость спутника больше, и измерения могут быть проведены последовательно по одному витку во время пролета спутника над наблюдателем. С увеличением высоты измерения приходится проводить по нескольким спутникам одновременно. Что лучше?

Это зависит от целей навигации. Например, для морских судов точность определения местоположения вполне обеспечивается 1000-километровой высотой орбиты спутника, для навигации самолетов требуется более высокая орбита. Кажется, все учитывается при проектировании и управлении космической навигационной системы. И тем не менее уточнение параметров орбиты навигационного спутника КИК производит в среднем через каждые 12 ч, а для отечественной системы «Цикада» — через 24 ч.

Почему же так часто?

Погрешность определения времени распространения сигнала, равная 1 нс, соответствует ошибке 30 см. А как показала практика, высокочастотные генераторы с кварцевой стабилизацией не обладают достаточно долговременной стабильностью. Для навигационных систем требуются прецизионные часы с применением атомного ста-

дарта. Так, цезиевый атомно-лучевой стандарт обеспечивает требуемую точность навигационных измерений в течение нескольких суток, а стандарт частоты на водородном лазере — в течение нескольких недель.

Необходимы и фундаментальные исследования с целью повышения точности знаний геофизических констант.

Но вернемся к вопросу об определении местоположения корабельного командно-измерительного пункта. Итак, параметры орбиты заложены на борт навигационного спутника, и он с постоянной периодичностью передает их в эфир в виде радиосигналов вместе с сигналами точного времени на частотах метрового и дециметрового диапазонов. Положение корабельного командно-измерительного пункта можно определить, измеряя дальности до спутника и углы, характеризующие направление линии визирования. Однако наибольшее распространение пока получил способ, основанный на измерении радиальной скорости спутника относительно судна в нескольких точках.

Для этого на корабельном командно-измерительном пункте, помимо радиоприемной аппаратуры, имеется специализированная вычислительная машина для расчета координат судна. Время определения координат не превышает 3 мин, а погрешность определения места — 80—100 м. Кроме того, измеряя доплеровское смещение спутниковых сигналов, корабельный командно-измерительный пункт может определить скорость своего движения.

Дальнейшее повышение точности достигается установкой прецизионных часов. Измеряя дальность до спутников, ККИП определяет свое местоположение в точке пересечения трех сфер, центром каждой из которых является космический аппарат. Но можно пойти и по другому пути. Например, принимать сигналы не от одного, а от нескольких спутников одновременно. На таком принципе построена американская навигационная система «Навстар», обеспечивающая одновременное нахождение в зоне видимости пользователя не менее шести космических аппаратов.

Сама природа обусловила еще одну особенность корабельных командно-измерительных пунктов. Волнение океана не оставляет без внимания и судно. Под его воздействием оно совершает колебания вокруг всех трех

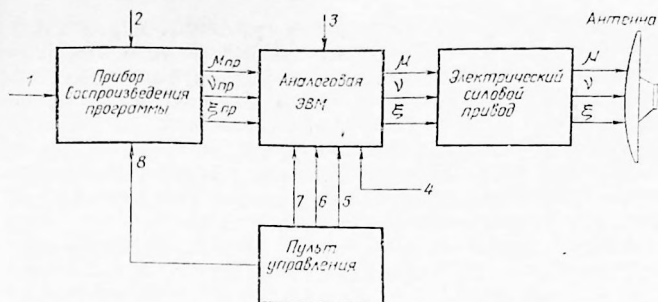


Рис. 10. Схема управления антенной:

1 — перфолента; 2 — сигналы единого времени; 3 — поправки на бортовую и килевую качку, углы рыскания и курса; 4 — сигналы автоматической коррекции и автоматического сопровождения; 5 — сигнал ручной коррекции, 6 — сигналы поиска; 7 — переключение режимов; 8 — пуск программы

осей. Да и сам корпус не обладает абсолютной упругостью. Этих факторов на стационарных измерительных пунктах нет. Поэтому задача стабилизации и управления антеннами на судах несравнимо более сложная, чем в наземных условиях. Кроме того, необходимо учитывать и возможное изменение курса.

Существуют два известных способа стабилизации антенн современных корабельных измерительных пунктов. Естественно, каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны. Если в одном случае процесс стабилизации включается в контур управления антенной, то в другом эти процессы независимы.

Сущность первого способа заключается в том, что влияние волнения океана на антенну устраняется за счет конструкции с тремя осями вращения, которая учитывает углы качки, рыскания и курса судна (рис. 10). В регистре прибора воспроизведения программы управления, как в цифровой машине, хранится информация для расчета данных. При совпадении кодов меток времени, хранящихся в регистре, с метками системы единого времени прибор приступает к расчету данного участка программы, а в регистр поступает следующий.

Так шаг за шагом обрабатывается расчетная программа. Программные углы поступают в аналоговую вычислительную машину. Сюда же приходят поправки на

бортовую и килевую качку судна, рыскание и реальный курс из системы местоопределения. Кроме того, в машину вводятся сигналы поиска и коррекции, расширяющие возможные углы обзора антенны. Электрический силовой привод преобразует электрические сигналы ЭВМ в механическое воздействие на зеркало антенны.

Пуск программы осуществляется с пульта дистанционного управления автоматически либо оператором по сигналам системы единого времени.

Второй способ заключается в разделении процесса стабилизации и управления антенной. Антенна размещается на платформе, положение которой стабилизируется, а непосредственно управление производится аналогично тому, как было описано выше.

Еще одна функция аппаратуры управления корабельными антеннами связана с учетом поправок на деформацию корпуса судна. Во время сильной качки антенны наклоняются друг к другу и оси опорно-поворотных устройств, установленные перпендикулярно к палубе, перестают быть параллельными. Измерение деформации корпуса производят с помощью луча, который пропускается по световому каналу под палубой. Если волнения нет, то луч попадает точно в центр мишени, состоящей из светочувствительных элементов.

При изгибе корпуса луч смещается, и электрический сигнал, пропорциональный величине деформации, поступает в вычислительную машину, где учитывается при расчете программных углов управления антенной. Надо заметить, что эти измерения проводятся лишь для антенн с остронаправленными диаграммами. В остальных случаях учет деформации корпуса корабельного командно-измерительного пункта не обязателен.

Суда «космического» флота, рожденные с запуском автоматической первой межпланетной станции, обладая высокой автономностью, надежно и продолжительно работают в различных точках Мирового океана, выполняя возложенную на них миссию — расширить возможности наземного командно-измерительного комплекса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели организационную структуру и функционирование отдельных систем КИК. Естественно, возникает вопрос: каким он будет в перспективе?

4 октября 1987 г. практическая космонавтика будет отмечать свое 30-летие. С этой датой связывают свою деятельность те, кто создает радиотехнические средства, и те, кто эксплуатирует их в интересах космонавтики. Шаг за шагом в течение этого времени росли и совершенствовались структура, радиотехническая и вычислительная техника командно-измерительного комплекса. В 80-х годах наземные и подвижные его пункты стали взаимодействовать с космическими — спутниками-ретрансляторами. У нас — это «Луч», а у США — ТДРС. Они позволяют перекрыть теневые зоны радиовидимости, которые остаются у наземных радиосредств.

К своему 30-летию КИК приходит как сложившаяся, отвечающая современным требованиям государственная система, и каких-либо коренных преобразований в ее деятельности в ближайшее время не предвидится. Однако это не означает, что изменений в его составе не будет. По мере совершенствования космических аппаратов претерпевают изменения оборудование и аппаратура КИК, ибо это два звена единой большой системы.

За последние годы число активно существующих космических аппаратов возросло в 6 раз. Казалось бы, во столько же раз должны были возрасти и сеансы связи. Однако этого не произошло. Они увеличились лишь в 2 раза. Почему?

Объем передаваемой информации проходит через «фильтр» уже на борту. Многие параметры диагностики систем и оборудования космического аппарата остаются стабильными (состояние конструкции, температура воздуха, влажность и др.), а на их анализ приходится тратить время и средства. Выход из такого положения находят в автоматизации контроля на борту и на Земле с помощью ЭВМ. Такой «фильтр» целесообразен и в ряде случаев при приеме траекторной и прикладной информации. В процессе обработки и углубленного анализа результатов измерений выдаются рекомендации, которые используются для доработки и усовершенствования космической техники.

Совершенно очевидно, что поступающая информация должна быть привязана с высокой точностью ко времени. Поэтому идет постоянное совершенствование «космических» часов. Немалые резервы таят в себе и работы по уточнению геофизических констант, повышению



чувствительности, быстродействию и точности отдельных приборов и оборудования.

И в заключение несколько слов о средствах связи. В их состав входят спутники-ретрансляторы, приемопередающие пункты спутниковой связи, радио- и кабельные автоматизированные каналы. Как и радиотехнические средства, они постоянно совершенствуются. Так, в марте 1979 г. появился новый вид связи — космовидение. Впервые в мировой практике была установлена двусторонняя телевизионная связь с бортом орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз-32». Телеприемник на борту станции доставил грузовой корабль «Прогресс-5».

Таким образом, КИК, как и любая большая система, по мере совершенствования космической техники непрерывно развивается. Он становится надежнее, информативнее, экономичнее.

---

## НОВОСТИ КОСМОНАВТИКИ

### КОСМИЧЕСКАЯ ОДИССЕЯ «МАЯКОВ»

Космические будни «Маяков» на борту станции «Мир» не отличались разнообразием научных экспериментов: Леонид Кизим и Владимир Соловьев фотографировали земную поверхность, проводили визуальные наблюдения, ухаживали за растениями. А все остальное (вернее, основное) время занимала работа с техникой: «Маяки» тщательно проверяли и отлаживали каждую систему станции, устанавливали по местам привезенное грузовиком «Прогресс-25» оборудование, дозаправляли топливом баки объединенной двигательной установки «Мир». Большую помощь «Маякам» в их жизни и работе оказывал установленный на станции «Мир» электронный вычислительный комплекс, объединяющий 7 ЭВМ. В машинной памяти хранится вся программа полета, а если в программе нужно внести изменения, специалисты ЦУП общаются с бортовой ЭВМ напрямую. Автоматика сама, без участия экипажа, может контролировать состояние систем станции и по запросам ЦУП передавать эту информацию на Землю, может управлять работой двигателей. Она напоминает экипажу распорядок дня, предупреждает о начале сеансов связи.

По насыщенности электроникой станция «Мир» стала намного сложнее своих предшественниц. В результате обмен информацией между ЦУП и орбитальной станцией стал более интенсивным. Уже при работе «Маяков» на борт передается гораздо больше команд, чем это было, например, во время работы экипажей на борту «Салют-7», а когда «Мир» обрстет модулями, их количество еще более увеличится. Решить проблему передачи такой лавины инфор-

мации можно двумя путями: уплотнить передаваемую информацию или увеличить длительность сеансов связи. Первая возможность уже используется — на наземных станциях КИК применяется система сжатия информации, которая позволяет за единицу времени передавать большой объем данных. Раздвинуть временные рамки сеансов связи позволяет использование спутника-ретранслятора. Уже один такой спутник, выведенный на геостационарную орбиту, увеличивает длительность сеанса связи до 40 мин, а три геостационарных спутника обеспечивают связь со станцией практически в любое время.

29 марта был проведен пробный сеанс связи через спутник-ретранслятор «Луч», который под названием «Космос-1700» был запущен 25 октября 1985 г. и находится теперь на геостационарной орбите в точке «стояния»  $95^\circ$  в. д. Впервые же систему связи через спутник «Луч» опробовали еще на Земле до запуска станции «Мир»; тогда ее выкатили из монтажно-испытательного корпуса и провели сеанс. Хотя идея использования геостационарного спутника-ретранслятора выглядит просто, но для ее воплощения потребовалось не только создать специализированный спутник и новую радиотехническую систему связи, что само представляет собой достаточно сложную задачу. Надо было еще вписать эту систему в «электромагнитный портрет» станции, т. е. обеспечить ее совместимость с другими системами, чтобы они не мешали работе друг друга. А остронаправленную антенну, которая по командам бортовой ЭВМ отслеживает направление на спутник-ретранслятор, установили на корме станции на конце более чем 3-метровой штанги.

7 апреля с использованием спутника-ретранслятора «Луч» состоялась пресс-конференция экипажа «Мир» для советских и иностранных журналистов, в которой участвовали более 450 корреспондентов различных агентств, газет, журналов, телевидения и радио. Часть журналистов приехала в ЦУП, другие разместились в Пресс-центре МНД СССР, куда также был выведен канал телевизионной связи «Космос — Земля». «Маяки» дали обстоятельные ответы на все вопросы, а в заключение провели телевизионную экскурсию по станции «Мир», показали центральный пост управления орбитальным комплексом, столовую, спортзал, каюты.

20 апреля в 22 ч 24 мин 8 с\* «Прогресс-25» покинул причал станции «Мир», и в начале следующих суток, ровно в 3 ч, включился его маршевый двигатель, направляя корабль в плотные слои атмосферы. А на космодроме Байконур уже заканчивалась подготовка к полету следующего грузовика — «Прогресс-26», который стартовал с Земли 23 апреля в 22 ч 40 мин 5 с. 27 апреля в 00 ч 26 мин 6 с он пристыковался к станции «Мир». Космонавты всегда с нетерпением ожидают прибытия грузовиков, хотя те привозят им дополнительную работу, новые заботы в их и так хлопотной жизни на орбите. «Прогрессы», которые довелось разгружать «Маякам», привозили оборудование не только для «Мира», но и для его соседки по космосу — станции «Салют-7». Ведь после завершения первого этапа работ на станции «Мир» Леониду Кизиму и Владимиру Соловьеву предстояло совершить перелет на орбитальный комплекс «Салют-7» — «Космос-1686», который, как изве-

\* Здесь и далее в тексте указано московское декретное (зимнее) время, по которому осуществляется управление полетом советских космических аппаратов.

стно, пришлось преждевременно покинуть предыдущему экипажу. И вот эта пора настала. «Маяки» подготовили «Мир» к полету в автономном режиме, загрузили «Союз Т-15», причем багаж разместили не только в спускаемом аппарате, как было до сих пор, но и в бытовом отсеке корабля. Если раньше при старте с Земли или спуске с орбиты основным требованием к багажу было его ограничение по массе, то сейчас, пожалуй, на передний план выступали габаритные ограничения. 5 мая в 15 ч 12 мин 9 с «Союз Т-15» отстыковался от орбитального комплекса «Мир» — «Прогресс-26» и на следующие сутки в 19 ч 57 мин 52 с коснулся стыковочного узла станции «Салют-7».

Перелет экипажа с одной орбитальной станции на другую в практике мировой космонавтики был совершен впервые, но можно с уверенностью сказать, что в недалеком будущем подобные рейсы станут необходимой рабочей операцией в обслуживании сложных орбитальных комплексов. Ведь совсем не обязательно, чтобы связь между модулями, входящими в состав орбитального комплекса, была жесткой. Это должно определяться назначением конкретного модуля, его специализацией. Например, на качестве новых материалов, получаемых в условиях невесомости, весьма ощутимо сказываются различного рода возмущения: работа двигателей ориентации, перемещения космонавтов и т. д. Очевидно, что для промышленного производства космических материалов на орбите нужны автономные модули, периодически посещаемые экипажем. Жесткая связь между геофизическим и астрофизическим модулями также снижает эффективность использования каждого из них, так как в первом случае требуется постоянная ориентация аппаратуры на Землю, а во втором — на астрономические объекты. «Сердцем» такого сложного комплекса будет своеобразный орбитальный ЦУП — внеземная база со служебными и складскими помещениями со складом запасных частей и парком межорбитальных кораблей для доставки экипажей и грузов к автономным модулям.

О работе «Маяков» в качестве пятой основной экспедиции на борту станции «Салют-7» будет рассказано в ближайшем сборнике «Современные достижения космонавтики». Однако помимо орбитального комплекса «Союз Т-15» — «Салют-7» — «Космос-1686» внимания специалистов ЦУП требовал и орбитальный комплекс «Мир» — «Прогресс-26» тем более что к старту к нему готовился первый корабль новой серии «Союз ТМ». Первый космический рейс корабля новой серии был непродолжительным. «Союз ТМ» стартовал 21 мая в 11 ч 21 мин 51 с, двое суток его «обкатывали» в автономном полете, а 23 мая в 13 ч 11 мин 45 с он состыковался с орбитальным комплексом «Мир» — «Прогресс-26». Корабль «Союз ТМ» предназначен для доставки на орбитальную станцию космонавтов и грузов по первые летные его испытания проводились без экипажа. Телеметрические системы подробно докладывали на Землю о работе бортовых систем о поведении корабля в автономном полете и в составе орбитального комплекса. 29 мая в 12 ч 22 мин 45 с «Союз ТМ» отстыковался от станции «Мир» и на следующие сутки в 8 ч 18 мин 8 с приземлился в казахстанской степи.

Сохранив внешние традиционные «союзовские» обводы конструкторы «Союза ТМ» вложили в эти формы более совершенное содержание главным образом за счет достижений микроэлектроники и вычислительной техники. На корабле «Союз ТМ» установлена

Новая система сближения и стыковки получившая название «Курс». Прежняя система, «Игла», требовала при стыковке постоянной взаимной ориентации корабля и станции, а для «Курса» положение станции в пространстве безразлично, т. е. она может не тратить топлива на свою ориентацию, что особенно важно для массивных несимметричных орбитальных комплексов. Кроме того, система «Курс» по сравнению с системой «Игла» способна работать с более дальнего расстояния от орбитального комплекса. Новая система связи «Союза ТМ» позволяет экипажу во время автономного полета корабля вести переговоры с Землей через станцию «Мир».

За счет резжирования и новых топливных баков повышена надежность работы двигательной установки «Союза ТМ». В его топливных баках вместо эластичных разделителей жидкости и газа используются металлические разделители, которые сохраняют герметичность при более длительных сроках эксплуатации. Парашютная система «Союза ТМ» создана из новых легких и прочных материалов, что позволило снизить ее массу и уменьшить объем, занимаемый парашютными контейнерами. Для кораблей серии «Союз ТМ» разработана новая двигательная установка аварийного спасения, она также легче своей предшественницы. В результате применения элементной базы нового поколения в бортовых системах и использования более легких материалов существенно возросла масса полезного груза, который можно разместить в корабле как при выведении на орбиту, так и при возвращении на Землю. В ходе испытательного полета «Союза ТМ» все его системы сработали безупречно, программа испытаний была выполнена полностью. «Выпускной экзамен» космический новичок выдержал успешно.

После завершения программы работ космонавтов на станции «Салют-7» началась подготовка к их возвращению на станцию «Мир». «Маяки» начали готовить орбитальный комплекс «Салют-7» — «Космос-1686» к полету в автоматическом режиме, а свой корабль — к новому путешествию, причем загрузили они его, так сказать, «под завязку». Использование транспортного корабля в качестве межорбитального паромы позволило им взять с собой не только материалы выполненных исследований и экспериментов, но и часть аппаратуры из арсенала научного оборудования станции «Салют-7», чтобы по возможности использовать его на новой станции. На Земле баллистики подбирали время возвращения на станцию «Мир», чтобы осуществить межорбитальный перелет с минимальными расходами топлива. Станция «Мир» тоже готовилась к возвращению космонавтов. С помощью двигательной установки корабля «Прогресс-26» была проведена коррекция ее орбиты. 22 июня в 21 ч 25 мин 0 с «Прогресс-26» отделился от станции «Мир», выполнив все свои функции: грузовика, танкера и космического буксира. На следующие сутки в 21 ч 41 мин 1 с была включена его двигательная установка, которая перевела корабль на траекторию спуска в плотные слои атмосферы, где он прекратил свое существование.

После отхода грузовика от станции «Мир» освободился ее кормовой причал, где наряду с новой системой «Курс» имелась и старая система «Игла». 25 июня в 17 ч 58 мин 0 с сработали пружинные толкатели, и «Союз Т-15» начал самостоятельный полет от станции «Салют-7» к кормовому причалу станции «Мир». Расстояние между станциями составляло около 3000 км, «Мир» летел впереди и его орбита была немного выше (на 25—30 км). Корабль

«Союз Т-15» оттолкнулся от «Салюта-7» назад и, включив двигатель на торможение, перешел на более низкую орбиту, и за счет более короткого периода обращения вокруг Земли стал догонять станцию «Мир». Два двухимпульсных корректирующих маневра вывели его в зону действия системы «Игла», способной взять на себя управление сближением с расстояния 20 км. 26 июня в 22 ч 46 мин 0 с «Союз Т-15» закончил свой второй межорбитальный перелет, а на следующем витке «Маяки» были уже в рабочем отсеке станции «Мир».

Во время своего второго, по нынешним понятиям непродолжительного (всего 19,5 сут) пребывания на станции «Мир» Леонид Кизим и Владимир Соловьев провели ряд научных экспериментов (о которых будет рассказано в упоминавшемся сборнике «Современные достижения космонавтики»). 16 июля в 12 ч 9 мин 50 с корабль «Союз Т-15» покинул причал станции «Мир» и в 15 ч 34 мин 5 с его спускаемый аппарат коснулся земной поверхности в 55 км северо-восточнее города Аркалыка. Продолжительность полета «Маяков» 125 сут 00 ч 00 мин 56 с не была рекордной, но программа была столь уникальной, что не раз во время их полета приходилось добавлять слово «впервые».

#### Хроника пилотируемых полетов <sup>1</sup>

| №                | Дата    | Космонавты <sup>2</sup>                           | Космический корабль | Продолжительность полета |    |     |
|------------------|---------|---------------------------------------------------|---------------------|--------------------------|----|-----|
|                  |         |                                                   |                     | сут                      | ч  | мин |
| 116 <sup>3</sup> | 13. III | Л. Д. Кизим (3)<br>В. А. Соловьев (2)<br>Все СССР | «Союз Т-15»         | 125                      | 00 | 01  |

<sup>1</sup> ПРОДОЛЖЕНИЕ (см. № 3 за 1986 г.).

<sup>2</sup> Первым указан командир экипажа, в скобках дано число полетов в космос.

<sup>3</sup> Экспедиция на орбитальные станции «Мир» и «Салют-7».

Научно-популярное издание

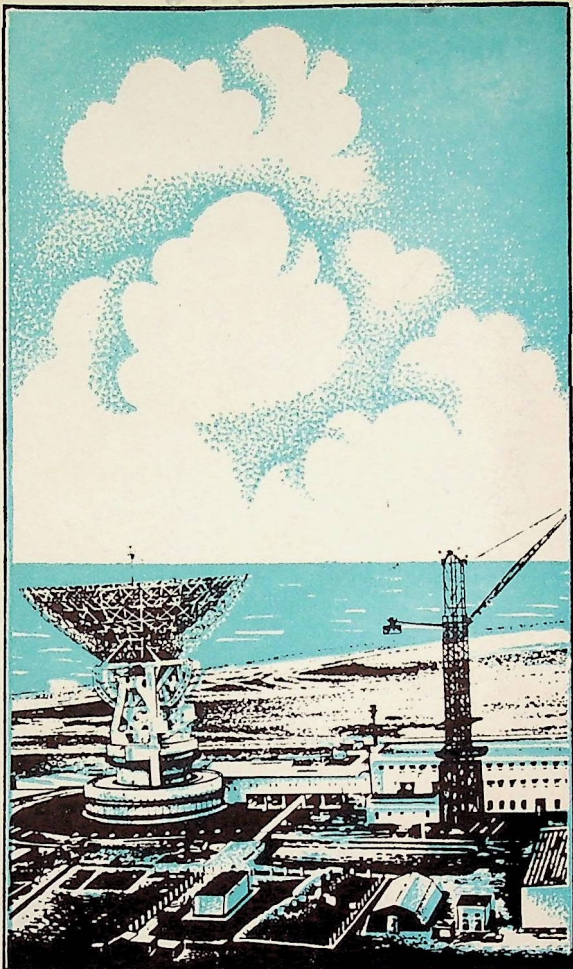
Владислав Леонидович Горьков

КОСМИЧЕСКИЕ РАДИОЛИНИИ

Гл. отраслевой редактор Л. А. Ерлыкин. Редактор Е. Ю. Ермаков. Мл. редактор Е. Е. Куликова. Обложка художника А. А. Астрцова. Худож. редактор Т. С. Егорова. Техн. редактор Н. В. Лбова. Корректор В. В. Каночкина.

ИБ № 8233

Сдано в набор 20.06.86. Подписано к печати 11.08.86. Т 02079. Формат бумаги 64×108<sup>1/2</sup>. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,65. Тираж 30 960 экз. Заказ 1466. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 864209. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,  
АСТРОНОМИЯ**