



АНАТОЛИЙ КОПИК

# Космические радиолинии

Космические линии связи пока целиком полагаются на радиоволны, но уже скоро лазеры откроют новую эпоху межпланетных коммуникаций

Электромагнитные волны, с помощью которых радиосигнал передается в космическом пространстве, движутся с гигантской скоростью — скоростью света. На Земле задержки в передаче почти не ощущаются, а вот с космонавтами на орбите приходится говорить уже с задержкой. Ответ с Луны будет идти полторы секунды, с Марса — уже минут шесть. Кроме того, по мере удаления передатчика сигнал стремительно затухает. Как же быть? Проблема тяжелая, но решаемая.



Сегодня самый удаленный космический объект, с которым поддерживается радиокontakt, — это американская автоматическая межпланетная станция «Вояджер-1», запущенная 5 сентября 1977 года. В августе прошлого года она преодолела рубеж 100 астрономических единиц (15 миллиардов километров) и вплотную подошла к границе Солнечной системы. Радиосигнал с такого расстояния идет около 14 часов.

Информация с «Вояджера» на Землю передается жестко скрепленная с корпусом параболическая антенна диаметром 3,65 метра, которая должна быть сориентирована точно на родную планету. Через нее на частотах 2295 МГц и 8418 МГц шлют сигналы два радиопередатчика мощностью по 23 ватта. Для надежности каждый из них дублирован. Большая часть данных транслируется на Землю со скоростью 160 бит/с — это всего раза в тричетыре быстрее, чем скорость набора текста профессиональной машинисткой и в 300 раз медленнее телефонного модема. Для приема сигнала на Земле используется 34-метровые антенны сети дальней космической связи NASA, но в некоторых случаях задействуются самые большие 70-метровые антенны, и тогда скорость удается поднять до 600 и даже 1400 бит/с. По мере удаления станции ее сигнал слабеет, но еще важнее то, что постепенно снижается мощность радиоизотопных генераторов, которые питают передатчики. Ожидается, что станция сможет передавать научные данные еще по крайней мере 10 лет, после чего связь с ней прекратится.

Уже из этого описания видно, что космическая радиосвязь зависит от множества различных факторов: дальности, мощности передатчика, размеров бортовой и наземной антенн, длины волны, качества приемопередающей электроники, помех, шумов, поглощения сигнала в окружающей среде и даже от скорости движения космического аппарата.

### ТОННА – КИЛОВАТТ – КУБОМЕТР

Принцип действия радиосвязи состоит в том, что колебания тока в антенне передатчика создают в окружающем пространстве электромагнитные волны, которые, двигаясь со скоростью света, достигают антенны приемника и возбуждают в ней переменный электрический ток. Этот наведенный ток очень слаб, но если настроить приемник точно в резонанс с частотой радиоволны, то даже слабое ее воздействие может раскачать в антенне вполне заметные колебания. Затем их усиливают, анализируют и извлекают переданную информацию.

Радиоволны различных диапазонов по-разному проходят через земную атмосферу. Для космической связи оптимален диапазон от 1,5 до 30 сантиметров. За пределами этого окна радиосигнал заметно ослабляется в атмосфере или даже может от нее отразиться. На более коротких волнах потери энергии растут за счет поглощения молекулами воды и кислоро-►

да в тропосфере, а на более длинных волнах прохождению сигнала все сильнее мешает ионосфера, которая для волн длиннее 10—30 метров становится непреодолимой преградой. Поглощение радиоволн также вызывается дождем и туманом, но, конечно, не в такой мере, как в оптическом диапазоне.

Приемник не улавливает радиоволны, если они слабее его порога чувствительности. Между тем энергия электромагнитных волн падает как квадрат пройденного ими расстояния. Это значит, что сигнал с Марса будет в сотни тысяч раз слабее, чем такой же сигнал, переданный с Луны, а с Плутона — еще в тысячу раз слабее. У инженеров есть несколько способов удержать радиосигнал выше порога чувствительности приемника. Самый очевидный — увеличить мощность передатчика. На Земле это легко сделать — антенны системы дальней космической связи NASA излучают в космос до полумегаватта энергии. А вот на космическом аппарате бюджет энергии жестко ограничен. Ее вырабатывают либо солнечные батареи, либо радиоизотопные генераторы. И для получения большей мощности надо увеличивать их массу. При этом растут также площадь и масса радиаторов, отводящих избыток вырабатываемого тепла.

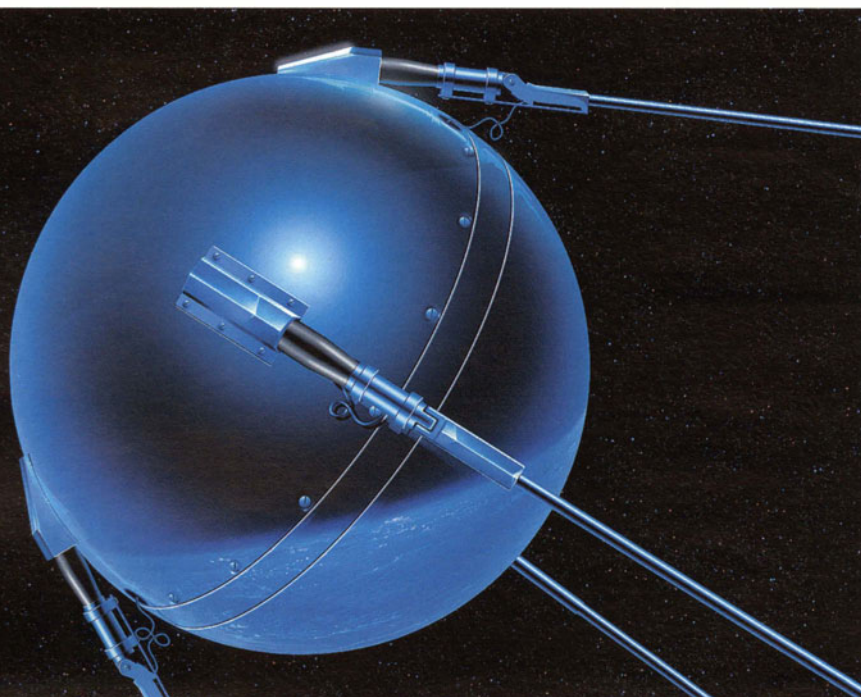
Общая масса аппарата ограничена возможностями ракеты-носителя, а увеличить же массу отдельной системы за счет других чаще всего невозможно. Космические аппараты — это очень гармоничные технические комплексы, где все параметры жестко завязаны друг на друга: нельзя серьезно изменить одну систему, не повлияв на параметры других. Сегодня для спутников существует эмпирическая формула: «1 кг, 1 Вт, 1 литр», которая означает, что объем спутника массой в 1 тонну составит около 1 кубометра, а его система энергоснабжения способна достичь мощности 1 киловатт. К примеру, мощность передатчиков радиоловительских спутников составляет всего несколько ватт, а современные телекоммуникационные аппараты на геостационарной орбите могут иметь передатчики мощностью несколько киловатт, что позволяет принимать их сигнал небольшими «тарелками» спутникового телевидения.

Если увеличить размер приемной антенны, то можно собрать больше энергии электромагнитной волны и поймать сигнал более слабого передатчика. В космосе размеры антенн обычно не превышают габаритов обтекателя ракеты-носителя, то есть нескольких метров. Хотя в последнее время инженеры научились обходить это ограничение — антенны все чаще делают разворачиваемыми. Например, аппараты «Турая» (Thuraya), поддерживающие мобильную спутниковую связь, оснащены 12-метровой антенной, которая разворачивается как зонтик из первоначальной компактной укладки. На Земле для дальней космической связи используются параболические антенны диаметром до 70 метров. Это уже близко к пределу — современные конструкционные материалы не позволяют создавать на поверхности Земли намного более крупные подвижные антенны, поскольку они деформируются под собственной тяжестью. В будущем их местом станет околоземная орбита. В невесомости гигантская космическая антенна может быть постепенно собрана из очень легких ажурных элементов.

## КРИТИЧЕСКОЕ ЗВЕНО

Размер антенны важен и еще по одной причине: чем он больше, тем меньше расходится в пространстве пучок радиоволн. Обычная дипольная антенна, как у походной радиостанции, излучает почти одинаково во все стороны, и большая часть энергии теряется зря. Трехметровая параболическая антенна позволяет зажать пучок радиоволн сантиметрового диапазона в пределах угла порядка одного градуса, что дает выигрыш в мощности в десятки тысяч раз. Но при этом возникает необходимость точно нацеливать антенну на Землю. Если откажет система ориентации, связь с аппаратом прервется. Именно так погибла советская межпланетная станция «Фобос-1». В 1989 году на подлете к Марсу она получила неверную команду с Земли, в результате чего произошел сбой в работе бортового компьютера, аппарат потерял ориентацию, солнечные батареи отвернулись от Солнца, а параболическая антенна — от Земли. Операторы безуспешно пытались наладить контакт со станцией.

Таким образом, связь — это критическое звено во всех межпланетных миссиях. Отказ других систем часто удается обойти, пусть ино-



## ПРОСТЕЙШИЕ СИГНАЛЫ «ПРОСТЕЙШЕГО СПУТНИКА»

Ровно 50 лет назад, 4 октября 1957 года, из космоса впервые был принят радиосигнал искусственного происхождения. Радиомаяк первого спутника транслировал с орбиты в эфир простые короткие сигналы «бип-бип». Передача шла на двух частотах — 20 и 40 МГц (длина волны — 15 и 7,5 метра), доступных для приема радиоловильщиками на Земле. Для них это был знак выдающегося события — выхода человечества в космос. Специалисты же вдобавок получали важную телеметрическую информацию — периодичность сигналов сообщала о температуре в приборном отсеке, а по прохождению радиоволн через ионосферу определялись физические условия в околоземном пространстве.

Первый искусственный спутник поднялся над Землей менее чем на тысячу километров, а химической батареи, питавшей его передатчик, хватило на 22 дня. Спустя полвека, космические аппараты работают в сотни раз дольше и улетают в миллионы раз дальше, чем «простейший спутник» ПС-1. Но даже самые совершенные из них никогда уже не будут первыми.

гда и ценой потери части научных данных. Но если рвется связь с Землей, то даже исправный в остальных отношениях аппарат фактически перестает для нас существовать. Поэтому коммуникационная система должна быть исключительно надежна и на всех современных космических аппаратах она как минимум продублирована. При сбоях, которые в большинстве случаев приводят к потере ориентации аппарата или его переводу в режим закрутки, низкоскоростная система связи через всенаправленную антенну передаст на Землю параметры состояния бортовых систем и обеспечит прием команд управления. Когда работоспособность аппарата будет восстановлена, связь пойдет через быстрый канал передачи информации.

Впрочем, ненаправленная антенна используется не только при нештатных ситуациях. Во время длительных межпланетных перелетов, когда станция пребывает в «спящем» режиме, поддерживать связь по высокоскоростному каналу невыгодно — информации мало, а сохранение точной ориентации требует пусть и небольшого, но постоянного расхода топлива. С другой стороны, в сложных межпланетных миссиях к ориентации аппарата могут предъявляться многочисленные противоречивые требования: повернуть солнечные батареи к свету, двигатель — соответственно производимому маневру, научную аппаратуру — на изучаемый объект. А если надо еще, например, правильно сориентировать отделяющийся спускаемый аппарат или защитный экран, предохраняющий от воздействия космической пыли, то связь по узконаправленному каналу в какие-то моменты приходится разрывать. В это время научные данные записываются в память бортового компьютера, а по медленному резервному каналу связи передается только жизненно важная телеметрическая информация. Если в нужный момент аппарат не сможет сам восстановить быстрый канал связи, ему помогут с Земли, отправив нужные команды, используя низкоскоростной канал.

Хорошим примером может служить японский исследовательский зонд «Хаябуса» (Hayabusa), взявший в ноябре 2005 года пробы грунта с астероида Итокава. Из-за ошибок в навигации он совершил незапланированную посадку на поверхность астероида. После взлета вышла из строя система ориентации и существовала реальная опасность потерять аппарат. Однако многократно резервированная и гибкая система связи, имеющая несколько типов антенн и передатчиков, позволила восстановить связь с межпланетной станцией. Вместо отказавшей системы ориентации (из нее испарилось топливо) инженеры решили использовать для поворотов зонда ксенон (рабочее тело маршевого ионного двигателя), понемногу стравливая его через клапаны, — выполнение задания продолжилось.

Другой пример — европейский зонд «Гюйгенс», который в январе 2005 года совершил посадку на поверхность спутника Сатурна — Титана. У аппарата имелось два независимых канала связи для параллельной передачи на разных частотах уникальных снимков и другой информации, получаемой в ходе спуска в атмосфере Титана. Первоначально планировалось, ▶

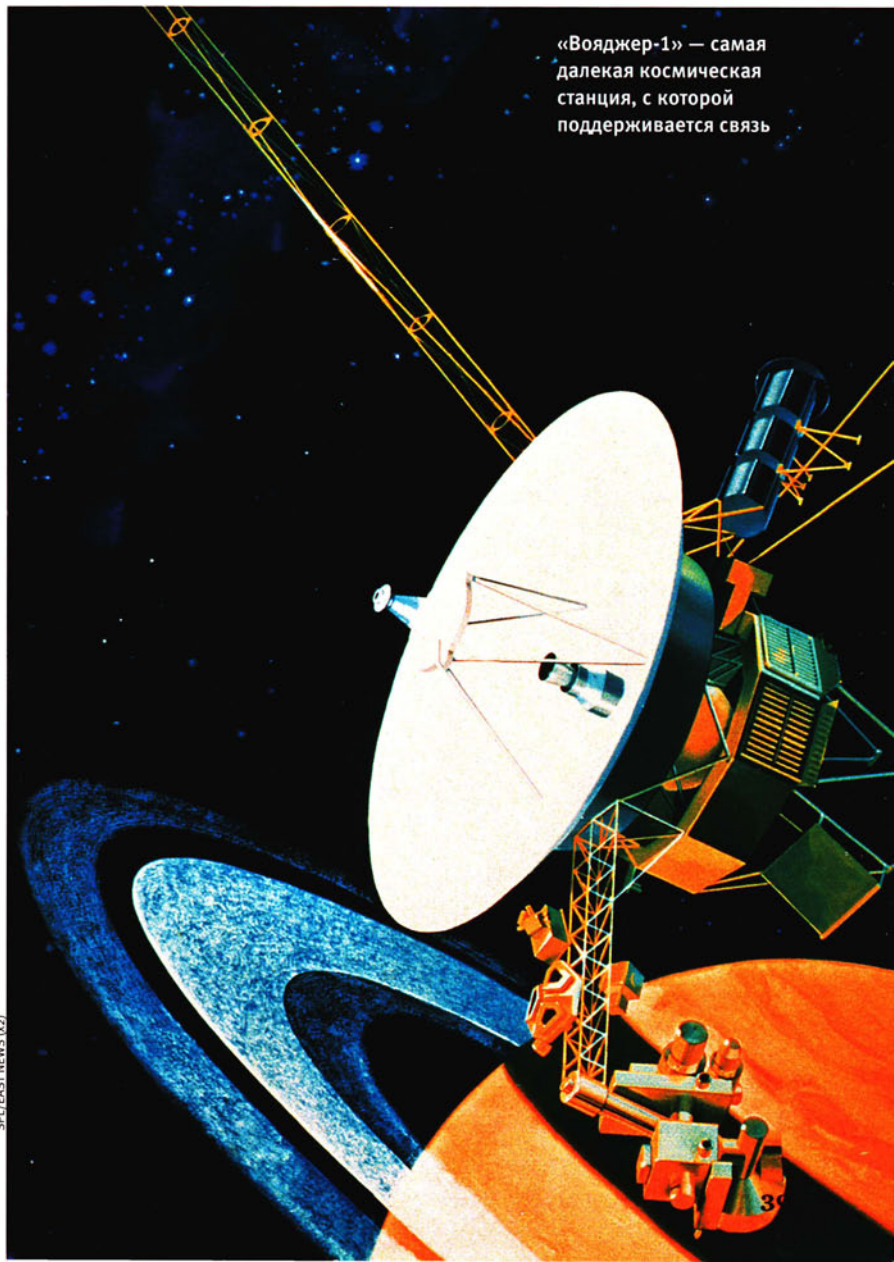
## РАДИОМАЛЫШИ

Связь с космическими аппаратами поддерживают не только профессионалы, но и любители. Первый американский радиолюбительский спутник OSCAR-1 был запущен уже в 1961 году, а в 1969-м в США появилась и общественная спутниковая радиолюбительская организация AMSAT (Amateur SATellite). В СССР первые радиолюбительские аппараты «Радио-1» и «Радио-2» были запущены 26 октября 1977 года.

Заядлыми радиолюбителями являются многие космонавты и астронавты. Космонавт Муса Манаров, например, первым вышел на связь в любительском диапазоне с борта орбитальной станции «Мир». На Международной космической станции тоже есть коротковолновая радиостанция, и в часы отдыха экипаж иногда выходит на связь с радиолюбителями разных стран.

А около 10 лет назад из спутникового радиолюбительства возникло новое бурно развивающееся направление — «студенческие» спутники. Как оказалось, участие студенческих групп в создании космических аппаратов — очень эффективный способ подготовки квалифицированных кадров для космической и других высокотехнологичных отраслей промышленности.

## Радиосигнал с Марса будет в сотни тысяч раз слабее, чем сигнал такой же мощности, отправленный с Луны



«Вояджер-1» — самая далекая космическая станция, с которой поддерживается связь

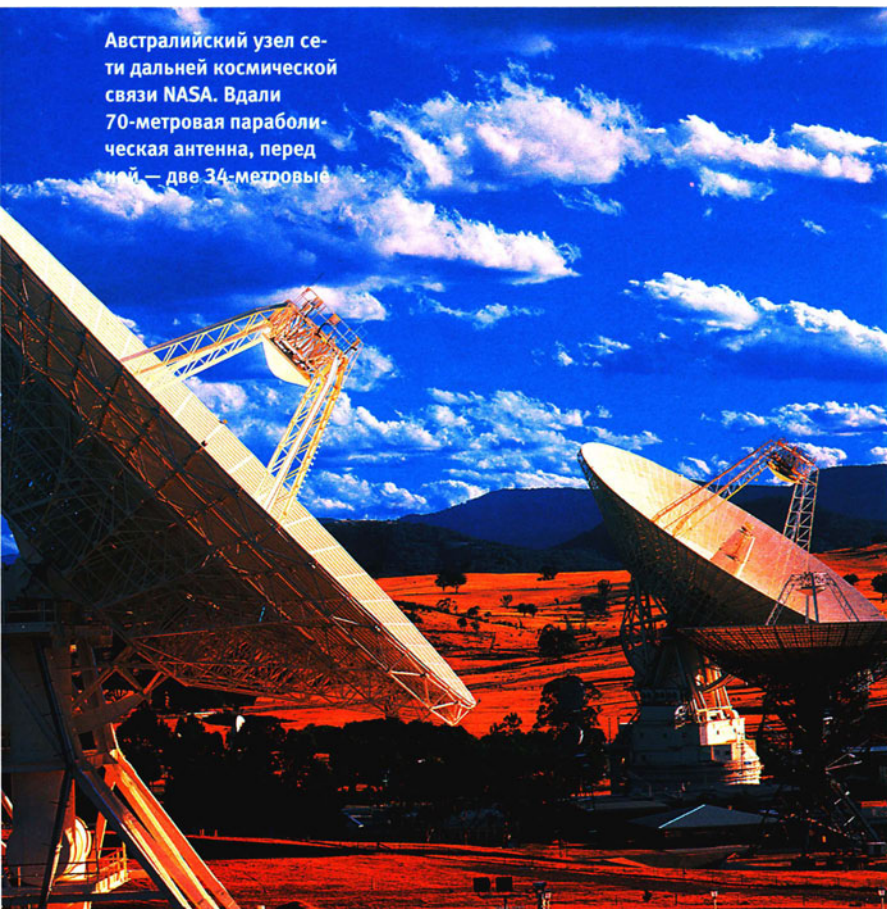
## ЗВОНОК С КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Вращающиеся на низкой околоземной орбите (до 1000 километров) аппараты попадают в поле зрения одной станции управления только несколько раз в сутки (обычно 4—6) и всего на несколько минут, поэтому им программа работы задается сразу на несколько часов или дней вперед. Чтобы увеличить количество сеансов связи, на Земле ставят больше станций, располагая их на существенном удалении друг от друга. В советское время существовал даже специальный космический флот, суда которого работали в разных частях света, обеспечивая связь со спутниками, пилотируемыми космическими кораблями.

Если с низколетящим аппаратом требуется непрерывная связь, сигнал передается на него через спутники-ретрансляторы на геостационарной орбите. Трех таких аппаратов, неподвижно висящих над экватором на высоте 36 тысяч километров, достаточно, чтобы охватить практически всю территорию Земли за исключением полярных районов. Например, связь с Международной космической станцией и американскими космическими челноками «Спейс Шаттл» происходит через американские спутники-ретрансляторы TDRS (хотя связь через наземные станции тоже используется). Благодаря этому экипаж может связаться с ЦУПом в подмосковном городе Королеве и в американском Хьюстоне, а также звонить домой и пользоваться электронной почтой. Подобная система существовала и в нашей стране. Контакт со станцией «Мир» на так называемых «глухих витках» поддерживался через геостационарный космический аппарат «Луч». Сейчас ведутся работы над системой «Луч» нового поколения.

## Постоянную связь с низкоорбитальными аппаратами обеспечивают «высокие» спутники-ретрансляторы

Австралийский узел сети дальней космической связи NASA. Вдали 70-метровая параболическая антенна, перед ней — две 34-метровые



что эти каналы будут для надежности полностью дублировать друг друга, но потом их решили использовать независимо, чтобы увеличить объем получаемой информации. Однако жадность до добра не доводит — из-за ошибки в программе управления один из каналов просто не включился. В результате пропала половина из 700 сделанных снимков, а также данные о скорости ветра в атмосфере спутника. Конечно, и полученных снимков хватило, чтобы сделать множество открытий, а данные о ветре удалось восстановить с помощью земных радиоастрономических сетей благодаря уникальной наблюдательной кооперации. Но только подумайте, что бы случилось, будь отказавший канал связи единственным!

### ШУМ И СКОРОСТЬ

Главный параметр любой системы связи — скорость передачи информации. Она определяется не столько мощностью сигнала, сколько соотношением его амплитуды с шумами, которые мешают приему. Шум возникает в аппаратуре приемника и передатчика из-за теплового движения атомов. А в космическом радиоэфире «шумит» реликтовое микроволновое излучение, оставшееся от Большого взрыва. Собственно, его и открыли в 1964 году случайно, в попытках избавиться от непонятного шума в новой антенне, на которой изучались возможности космической связи.

Шум отфильтровывается статистически за счет его случайного характера. Он равновероятно вызывает в антенне движение тока то в одну, то в другую сторону. В среднем за длительное время его вклад будет нулевым. Но чем слабее сигнал по отношению к шуму, тем дольше нужно вести прием и осреднение, чтобы отфильтровать шум. Сегодня космическая информация передается в цифровом виде, то есть последовательностями нулей и единиц — битов. Чем хуже отношение сигнал/шум, тем больше времени уходит на передачу каждого бита. Если попытаться форсировать передачу, сообщения станут приниматься с ошибками. Поэтому, чем дальше от нас находится аппарат, чем слабее его сигнал, тем медленнее идет с ним обмен информацией.

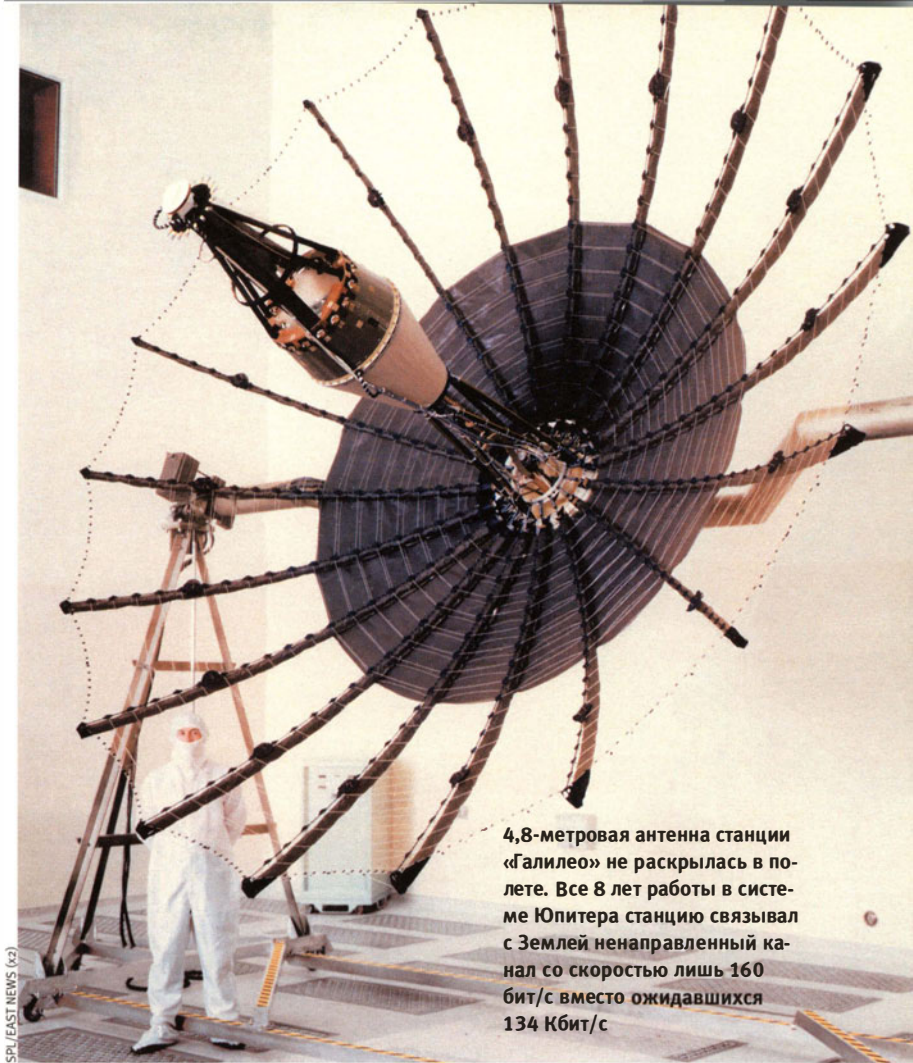
Впрочем, ошибки с некоторой вероятностью возникают при любой скорости передачи. Причиной могут быть редкие сильные флуктуации шума, сбои аппаратуры, но чаще всего — помехи от посторонних источников, например, от статических микрозарядов в аппаратуре, радиоизлучения молний, земных радиопередатчиков. Сломанная микроволновая печь в окрестностях приемной антенны сойдет в радиоэфире за сигнал внеземной цивилизации. Чтобы избавиться от длительных помех, передачу информации дублируют на разных частотах. А от коротких импульсных помех, которые искажают несколько битов в передаче, спасают особые методы кодирования, позволяющие выявлять и даже автоматически исправлять ошибки.

При проектировании системы космической связи также необходимо принимать во внимание скорость движения аппарата. От нее зависит доплеровский сдвиг частоты радиосигнала. Вариации скорости относительно Земли в некоторых случаях, например при полете к быстро

движущемуся по своей орбите Меркурию, могут достигать 100 км/с — это три сотых процента скорости света. На столько же смещаются и частоты сигналов. Если этот эффект не учесть, приемный контур может не попасть в резонанс с несущей частотой передатчика, и его чувствительность резко упадет. Вместе с тем по доплеровскому сдвигу частоты сигнала можно с высокой точностью определить скорость движения космического аппарата вдоль луча зрения. Поэтому системы связи широко используются для контроля точности выполняемых в космосе маневров. И, кстати, скорости дующих на спутнике Сатурна ветров удалось определить именно по изменению частоты ультрастабильного передатчика зонда «Гюйгенс» во время его парашютного снижения в атмосфере Титана.

### ИНТЕЛЛЕКТ ПРОТИВ РАССТОЯНИЙ

Специфическая проблема в управлении космическими аппаратами связана с задержкой распространения радиоволн на огромных межпланетных расстояниях. Обмен сигналами с Луной занимает больше 2 секунд. Сможете ли вы проехать даже по хорошо знакомой местности, если дорогу будете видеть с задержкой на секунду, а на повороты руля машина станет реагировать еще через секунду? Между тем именно в таких условиях шло управление с Земли советскими «Луноходами». До Марса радиосигнал идет от 3 до 22 минут в зависимости от положения планеты на орбите. При такой задержке ►



4,8-метровая антенна станции «Галилео» не раскрылась в полете. Все 8 лет работы в системе Юпитера станцию связывал с Землей ненаправленный канал со скоростью лишь 160 бит/с вместо ожидавшихся 134 Кбит/с



SPL/LEAST NEWS

## В космическом радиоэфире «шумит» реликтовое микроволновое излучение, оставшееся от Большого взрыва

В мае 1996 года с борта шаттла «Индевор» был запущен спутник «Спартан-207», который раскрыв надувную параболическую антенну диаметром 14,6 м, удерживаемую на трех надувных растяжках, каждая длиной 28 м. Это наиболее крупная летавшая в космосе антенна. По окончании эксперимента она была отброшена, а спутник возвращен на борт шаттла

невозможно оперативно вмешаться с Земли в такие ответственные этапы миссии, как коррекция траектории полета, выход аппарата на орбиту вокруг планеты, его вхождение в атмосферу, да и движением по поверхности управлять непросто. Поэтому межпланетные аппараты становятся все более интеллектуальными и независимыми от контроля с Земли. Например, одной из основных задач зонда «Хаябуса» была отработка методов автономной навигации с использованием ионных двигателей.

Очень «умными» являются работающие на Марсе американские планетоходы Opportunity и Spirit. В отличие от советских «Луноходов», управление которыми осуществлялось оператором с Земли практически в режиме реального времени, на борт марсоходов обычно отправляют только координаты цели, куда они должны добраться. Бортовой компьютер, обработав стереоскопические снимки местности, самостоятельно оценивает размер валунов, расстояние между ними, наклон поверхности и по этим данным прокладывает путь. Прошлым летом специалисты NASA обновили программное

обеспечение марсоходов — залили новую прошивку, говорят компьютерщики. Это повысило их автономность. Кроме того, чтобы не перегружать канал связи, марсоходы теперь сами оценивают, насколько интересны сделанные снимки, и определяют какие из них и в какой очередности передавать на Землю.

### МЕЖПЛАНЕТНЫЙ ИНТЕРНЕТ

Небольшие планетоходы и спускаемые аппараты неудобно, а иногда и невозможно оснащать полноценной системой дальней космической связи. На них просто негде поместить направленную антенну, да и удерживать направление на Землю при спуске в атмосфере или езде по незнакомой поверхности почти невозможно. В таких случаях сигналы передаются ненаправленной антенной и ретранслируются на Землю находящимся поблизости более мощным аппаратом. По такой схеме работали, например, советские станции «Венера». Европейский зонд «Гюйгенс» ретранслировал сигнал через американскую станцию «Кассини», которая доставила его к Титану. Работа с марсоходами Opportunity и Spirit на 85% осуществляется через орбитальный аппарат «Марс Одиссей» (остальное — напрямую через медленную ненаправленную антенну). Все это напоминает организацию беспроводных систем связи на Земле: сотовый телефон или ноутбук с поддержкой Wi-Fi связывается с базовой станцией, а уже оттуда становится доступна вся инфраструктура связи.

Последние несколько лет специалисты NASA работают над внедрением в космических проектах единого протокола передачи данных, который позволит разнотипным аппаратам свободно обмениваться между собой информацией. Унификация должна значительно повысить надежность связи при активном освоении Луны и Марса. Например, при сбое на одном орбитальном ретрансляторе находящийся на поверхности аппарат сможет оперативно подключиться к другому. Да и просто наличие на орбите нескольких коммуникационных аппаратов позволит непрерывно поддерживать быструю связь с Землей, тогда как сейчас она ограничена лишь теми периодами, когда спутник-ретранслятор виден над горизонтом.

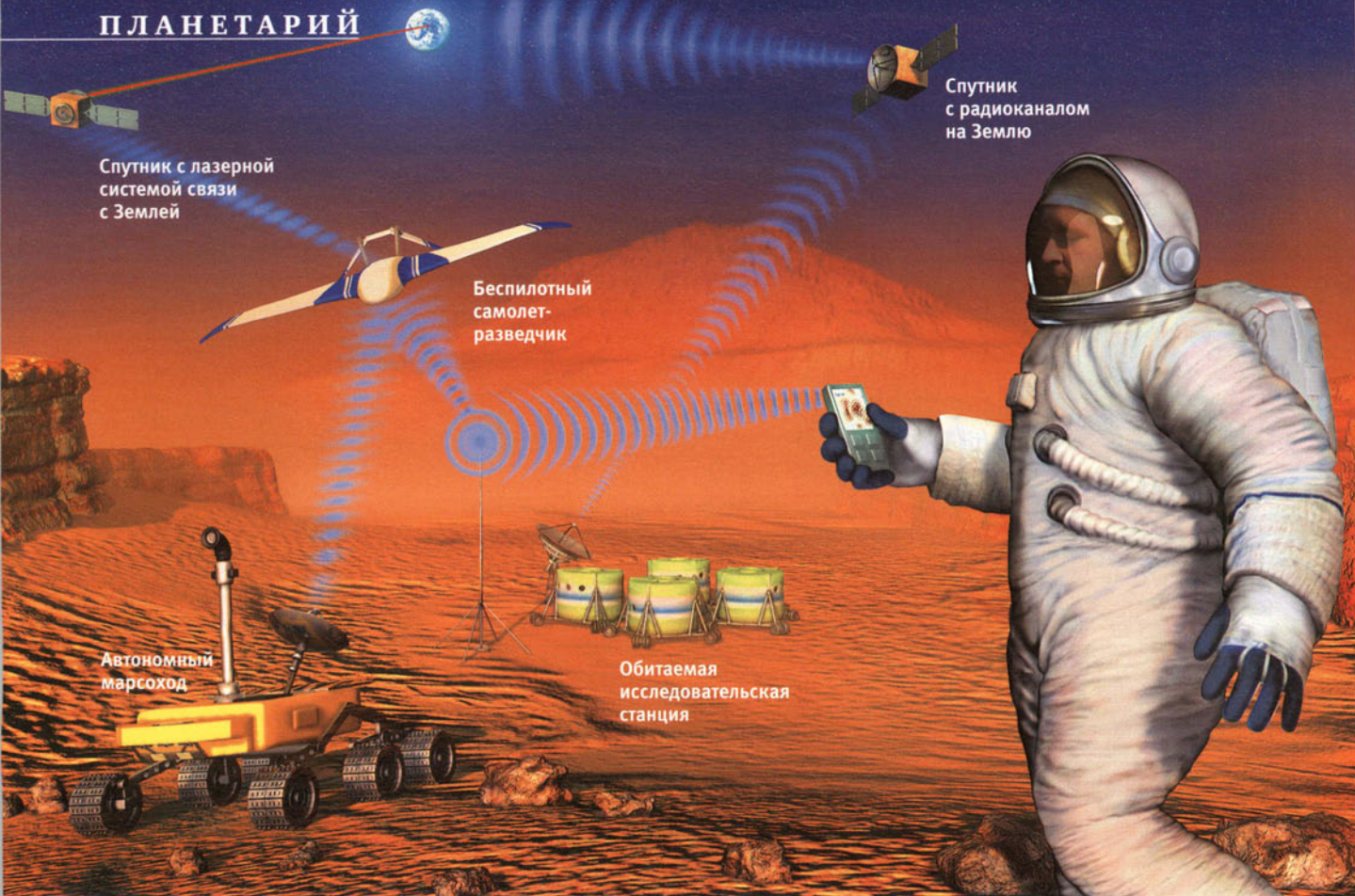
Многие специалисты склоняются к тому, чтобы новым универсальным форматом или его прототипом стал отлично зарекомендо-

## ЛАЗЕР СИГНАЛИТ С МАРСА

Самой высокой скоростью межпланетной передачи данных может сегодня похвастаться аппарат Mars Reconnaissance Orbiter, вышедший на орбиту Марса 10 марта 2006 года. Он оснащен 100-ваттным передатчиком с трехметровой параболической антенной и может передавать информацию на скорости до 6 мегабит в секунду. Доставить к Марсу более крупный и мощный передатчик пока затруднительно. Однако есть принципиально иной подход к увеличению скорости передачи данных — использовать вместо радиоволн оптическое излучение. Длина волны лазерного излучения в десятки тысяч раз меньше, чем в радиодиапазоне.

Поэтому расходимость лазерного луча получается значительно меньшей. Это позволит существенно поднять скорость передачи данных при более низком энергопотреблении. Но у лазерной связи есть и недостатки: она нуждается в более точном нацеливании передатчика, и, кроме того, на ее работоспособность существенным образом влияют погодные условия, в первую очередь облака. Поэтому межпланетная лазерная связь будет, скорее всего, поддерживаться с орбитальных аппаратов. Впервые лазерная связь в космосе была осуществлена 21 ноября 2002 года. Европейский спутник дистанционного зондирования Земли SPOT 4,

находящийся на орбите высотой 832 километра, установил контакт с экспериментальным космическим аппаратом Artemis, обращающимся на высоте 31 000 километров и передал снимки земной поверхности. А недавно Лаборатория Линкольна в Массачусетском технологическом институте (MIT) совместно с NASA приступила к разработке лазерной системы дальней космической связи. Первый тестовый коммуникационный лазер планируется отправить к Марсу в 2009 году. Ожидается, что этот 5-ваттный передатчик в период сближения планет обеспечит скорость передачи данных до 30 мегабит в секунду.



ОЛЬГА ОРЕХОВА-СОКОЛОВА

В будущем интернет обеспечит единую инфраструктуру связи для исследований Красной планеты. На поверхности беспроводная сеть позволит координировать работы в окрестностях исследовательских станций, в частности управлять полетом атмосферных аппаратов. Орбитальная группировка будет поддерживать связь с Землей по лазерным и радиоканалам

вавший себя в компьютерных сетях протокол TCP/IP, который лежит в основе Интернета. Так что, возможно, мы в скором времени станем свидетелями распространения Интернета на межпланетные просторы. Впрочем, на первых порах неавторизованные пользователи вряд ли смогут зайти на лунный или марсианский веб-сервер, чтобы скачать там свежие снимки, сделанные планетоходами, или посмотреть на окружающий ландшафт через космическую веб-камеру. Все же пропускная способность межпланетных каналов пока слишком мала для таких развлечений.

Главной проблемой космического интернета остаются задержки с доставкой информационных пакетов. Даже при обычном выходе в Интернет через спутник сигналу надо пройти 72 тысячи километров — до геостационарной орбиты и обратно, что занимает около четверти секунды. Добавьте такую же задержку при ответе, и станет ясно, что по спутниковому интернету вы вряд ли сможете поиграть в динамичные игры-шутеры. Что же касается межпланетных расстояний, то здесь стандартные протоколы Интернета, в том виде, в каком они используются в наземных линиях, вообще не годятся. В них не предусмотрена возможность получасового ожидания ответа сервера. Большинство программ просто диагностирует ошибку тайм-аута — недопустимое время ожидания, говорящее о потере связи. В NASA уже несколько лет трудятся над модернизированными протоколами связи, учитывающими специфику межпланетного интернета. Некоторые из этих протоколов уже работают на борту марсоходов Spirit и Opportunity, другие еще «доводятся» на Земле.

### ЗА ПРЕДЕЛЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Сегодня коммуникационные возможности человечества ограничены Солнечной системой. На межзвездных расстояниях для связи с аппаратом класса «Вояджер» мощность наземного передатчика должна составлять миллиарды киловатт, что сравнимо с общим производством электроэнергии на Земле. Менее прожорливой межзвездную связь могут сделать антенны диаметром несколько километров. Такие масштабные конструкции, скорее всего, будут строиться и размещаться на орбите. Подобные решения кажутся фантастическими, но нереальными их назвать нельзя. Человечество уже учится создавать в космосе сборные крупногабаритные конструкции. Например, размеры строящейся на орбите Международной космической станции приближаются к сотне метров. И все же самой большой проблемой для связи на межзвездных расстояниях будет оставаться время путешествия сигнала. Даже до ближайшей к Солнцу звезды сигнал дойдет только через 4,2 года после отправки, и еще столько же времени придется ждать ответа.

А пока попытки межзвездной связи остаются односторонними, в их числе нельзя не упомянуть эксперимент с почтовой связью. На обоих «Вояджерах» помещены медные позолоченные диски диаметром около 30 сантиметров, на которых записаны звуки и изображения, дающие представление о жизни на Земле. Простые диаграммы на поверхности диска символически показывают происхождение космического аппарата и дают инструкции, как проигрывать диск. Правда, межзвездная почта работает небыстро, доставка посылок в другую планетную систему займет минимум 40 тысяч лет. ●