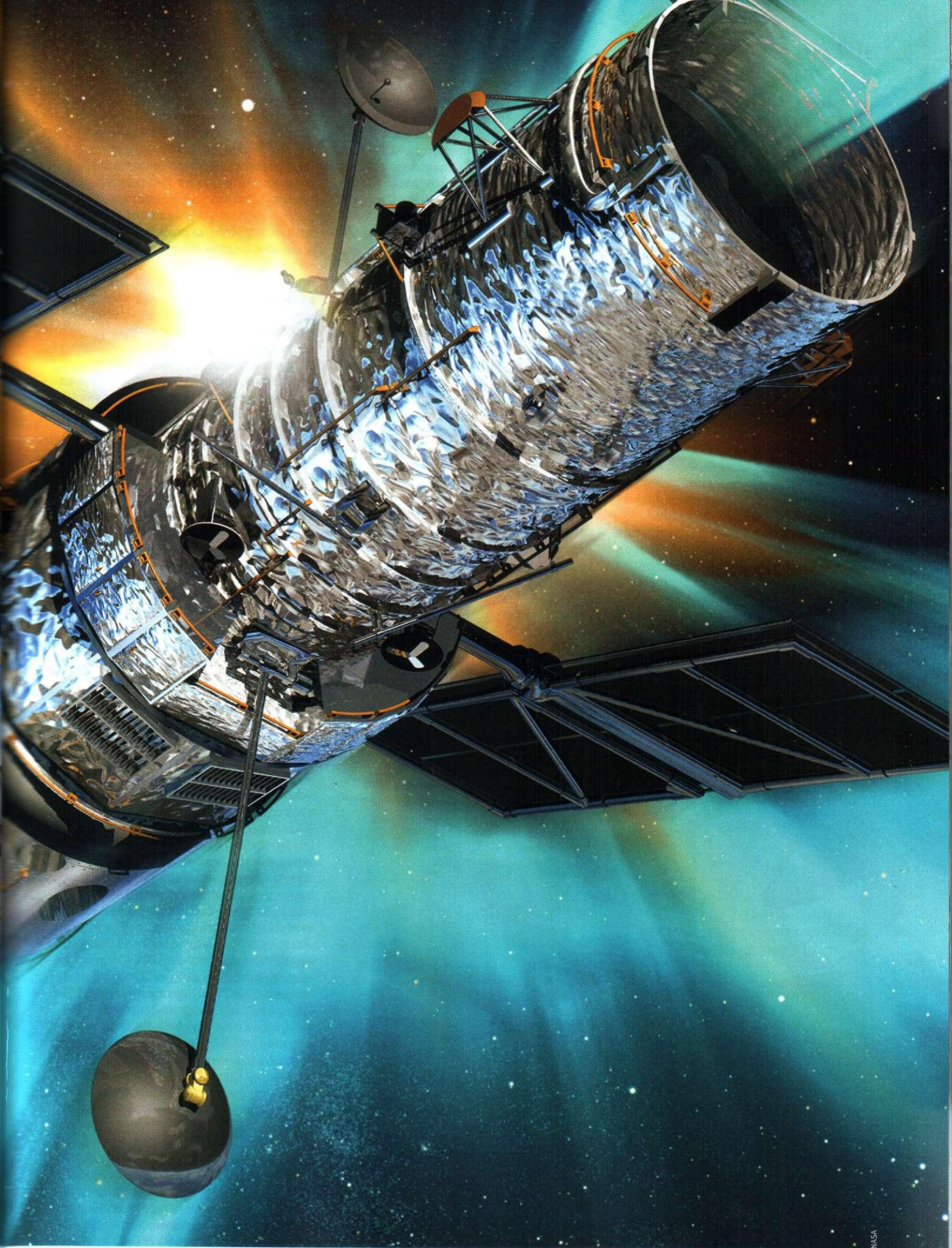


Мы редко задумываемся, как организовано движение в околоземном пространстве. Например, о том, что от Земли до космической станции — рукой подать, меньше чем от Москвы до Питера, а принятый спутниковой тарелкой сигнал проделал больший путь, чем средний автомобиль проходит за пять лет. К тому же каждому запуску предшествует тщательное проектирование орбиты, по которой аппарат будет двигаться в космическом пространстве.

ИГОРЬ АФАНАСЬЕВ, ДМИТРИЙ ВОРОНЦОВ

Орбиты, которые мы выбираем



NASA

Когда в 1961 году специалисты королевского ОКБ-1 приступили к созданию первого советского спутника связи «Молния-1» для телевизионной системы «Орбита», перед ними встала проблема выбора целевой орбиты для своего детища. Самой эффективной, на первый взгляд, казалась геостационарная орбита высотой 36 тысяч километров. Находящийся на ней спутник круглосуточно пребывает в прямой видимости примерно для 1/3 поверхности Земли. Однако с такой орбиты невозможно обеспечить связь в высоких широтах и телевидение в районах Крайнего Севера. Кроме того, Советский Союз не располагал тогда носителями для вывода тяжелых спутников на геостационарную орбиту.

Выход нашли баллистики, придумавшие орбиту, на которую спутник связи можно было выводить ракетой, уже находившейся в разработке. Это была сильно вытянутая орбита с минимальной высотой (перигеем) 500 километров, а максимальной (апогеем) — 40 000 километров. Период обращения составлял 12 часов, причем в соответствии с законами небесной механики большую часть времени спутник

проводил в районе апогея. Наклонение орбиты ($63,4^\circ$) было выбрано так, чтобы в этот период спутник был виден с большей части территории СССР. Благоприятные условия для связи длились восемь часов, после чего спутник уходил на другую сторону Земли, а на следующем витке проходил апогей над Северной Америкой. Вновь он становился доступен для ретрансляции телевидения только через 16 часов.

Успешно вывести на эту орбиту спутник связи «Молния-1» удалось с третьей попытки 23 апреля 1965 года, и уже на следующий день состоялся первый в Советском Союзе сеанс космической связи между Москвой и Владивостоком. Для круглосуточного телевидения приходилось держать в космосе одновременно три спутника «Молния», а на Земле строить сложные антенны. Большие параболические «зеркала» отслеживали замысловатую траекторию спутника в небе: он быстро восходил на западе, поднимался в зенит, переваливал через него, потом начинал двигаться в обратную сторону, снова разворачивался и, ускоряясь, спускался к восточному горизонту. Еще одним осложняющим фактором были значительные изменения скорости при

движении по вытянутой орбите, в результате чего из-за эффекта Доплера постоянно менялась частота принимаемого на Земле сигнала.

Траектория, выбранная для первого советского спутника связи, позднее получила название орбита «Молния». Ее развитием с появлением более мощных ракет стала высокоэллиптическая орбита «Тундра» с перигеем 500 километров, апогеем 71 000 и периодом обращения 24 часа. Орбиты с таким периодом называют геосинхронными, поскольку, двигаясь по ним, космический аппарат всегда проходит апогей над одним и тем же районом Земли. Эффективность использования спутников на орбите «Тундра» значительно повышается, так как они могут обслуживать выбранную территорию более 12 часов на каждом витке, а для организации круглосуточной связи достаточно двух аппаратов. Однако наземное оборудование по-прежнему остается сложным, ведь геосинхронные спутники постоянно меняют свое положение на небе, и за ними приходится следить.

ЗАВИСШИЕ В НЕБЕ

Приемное оборудование радикально упрощается, если спутник остается неподвижным относительно Земли. Из всего множества геосинхронных орбит это достигается только на одной круговой, расположенной строго над экватором (наклонение 0°). Эта орбита называется геостационарной, поскольку на ней спутник словно бы зависает над выбранной точкой экватора на высоте 35 786 километров.

Американцы первыми запустили геостационарный спутник, но удалось им это не сразу. Первые две попытки в 1963 году окончились неудачей, и только 10 сентября 1964 года на ГСО вышел спутник «Синком-3». Интересно, что в космос он стартовал еще 19 августа, и почти месяц с помощью собственного двигателя подкрадывался к выбранной для него точке стояния. Первый отечественный геостационарный спутник «Радуга-1» был запущен лишь 22 декабря 1975 года. С тех пор ГСО постоянно пополняется, и сегодня на ней расположено более 400 спутников и еще 600 аппаратов движутся вблизи нее.

Строго говоря, из-за различных возмущений и погрешностей выведения геостационарный спутник не «висит» совсем неподвижно над экватором, а совершает колебательное движение относительно своей точки стояния. В проекции на земную поверхность его траектория напоминает небольшую восьмерку. Вдобавок из-за гравитационных возмущений аппарат может «дрейфовать» вдоль орбиты. Чтобы удержаться в выбранной точке стояния и не выйти из створа наземных антенн, аппарат должен регулярно корректировать

Спутники «Молния» на высокоэллиптических орбитах доставляли телевизионный сигнал в самые отдаленные районы СССР, однако для использования этого сигнала требовались капитальные приемные сооружения системы «Орбита»



свою орбиту. Для этого на борту имеется запас топлива. Именно от него порой зависит срок службы геостационарного спутника.

Несложные геометрические построения показывают, что на широтах выше 81° геостационарные спутники находятся под горизонтом, а значит, связь с их помощью в полярных районах невозможна. На практике мобильная связь через геостационарный спутник ограничивается широтой $65\text{--}70^\circ$, а фиксированная — $70\text{--}75^\circ$. Связь через ГСО имеет и еще один серьезный недостаток. По пути к спутнику и обратно радиосигнал преодолевает более 70 тысяч километров, затрачивая на это четверть секунды. С учетом времени на обработку сигнала и его передачу по наземным линиям связи задержка может заметно превышать полсекунды. В результате интернет-сервисы через спутник откликаются медленно, а телефонное общение становится некомфортным, поскольку даже современные средства «эхоподавления» не всегда справляются с большими задержками. Чтобы избавиться от этих недостатков, приходится уменьшать высоту спутников.

СОЗВЕЗДИЕ IRIDIUM

На сравнительно невысоких орбитах формируются коммерческие и правительственные системы спутников связи. Технически эти траектории нельзя назвать удобными для связи, поскольку спутники на них большую часть времени видны низко над горизонтом, что негативно сказывается на качестве приема, а при гористом рельефе может сделать его невозможным. Поэтому чем ниже орбита, тем больше спутников должно быть в системе. Если для глобальной системы связи на ГСО достаточно трех спутников, то на орбитах средней высоты (5000—15 000 километров) требуется уже от 8 до 12 космических аппаратов. А для высот 500—2000 километров нужно более полусотни спутников.

И все же к концу 1980-х годов сложились предпосылки для реализации низкоорбитальных систем связи. Во-первых, на ГСО спутникам становилось все теснее. «Парковочные места» на этой орбите подлежат международной регистрации, причем расположенные по соседству спутники не должны работать на одних и тех же радиочастотах, чтобы не создавать друг другу помех. Во-вторых, прогресс в области радиоэлектроники позволил создавать недорогие (а главное — легкие) спутники с достаточно широкими возможностями. Ракета, способная вывести на ГСО всего один большой спутник связи, могла забросить на низкую орбиту целую «пачку» таких аппаратов. В-третьих, завершение «холодной войны» и процесс разоружения высвобождали сотни межконтинентальных

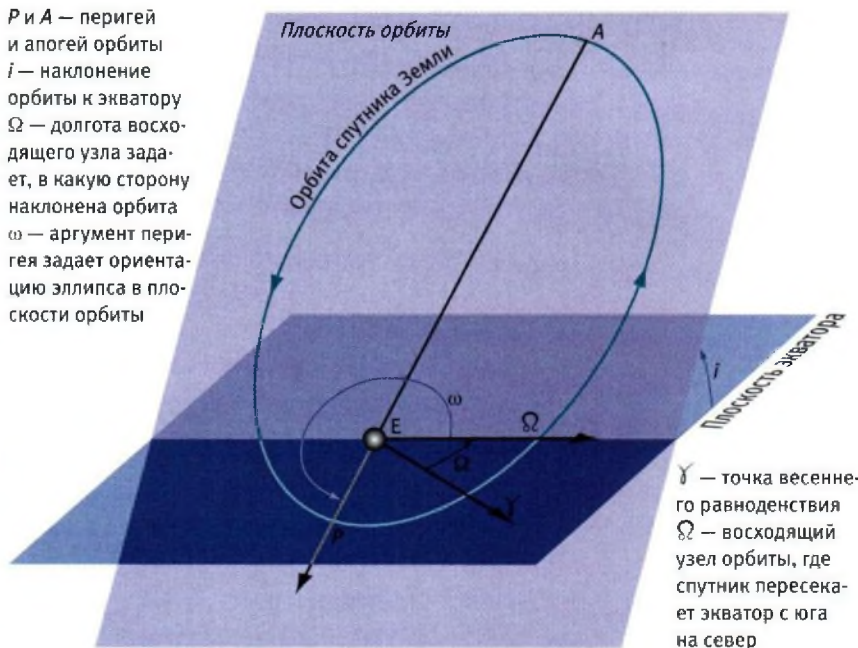
баллистических ракет, которые могли по «бросовым ценам» использоваться для запуска небольших спутников. И наконец, именно в эти годы стал быстро расти спрос на мобильную связь, для которой характерно использование маломощных ненаправленных антенн, «не добивающих» до ГСО. Все эти факторы делали запуск даже очень большого числа недорогих низкоорбитальных спутников выгоднее создания группировки из нескольких тяжелых геостационарных аппаратов.

Среди первых низкоорбитальных систем связи были Orbcomm (США) и «Гонец» (Россия). Они не обеспечивали передачу голоса, а предназначались для отправки текстовых сообщений и сбора информации с различных датчиков, например метеорологических. На сегодня Orbcomm включает 29 спутников массой 42 килограмма на орбитах высотой 775 километров. Система «Гонец» первоначально содержала всего 6 спутников, из-за чего время доставки сообщений могло затягиваться на несколько часов. Сейчас в ней сменяется уже третье поколение спутников, число работающих аппаратов достигло

девяти, но в перспективе должно быть доведено до 45 — по девять штук на пяти почти полярных орбитах (наклонение $82,5^\circ$) высотой 1500 километров.

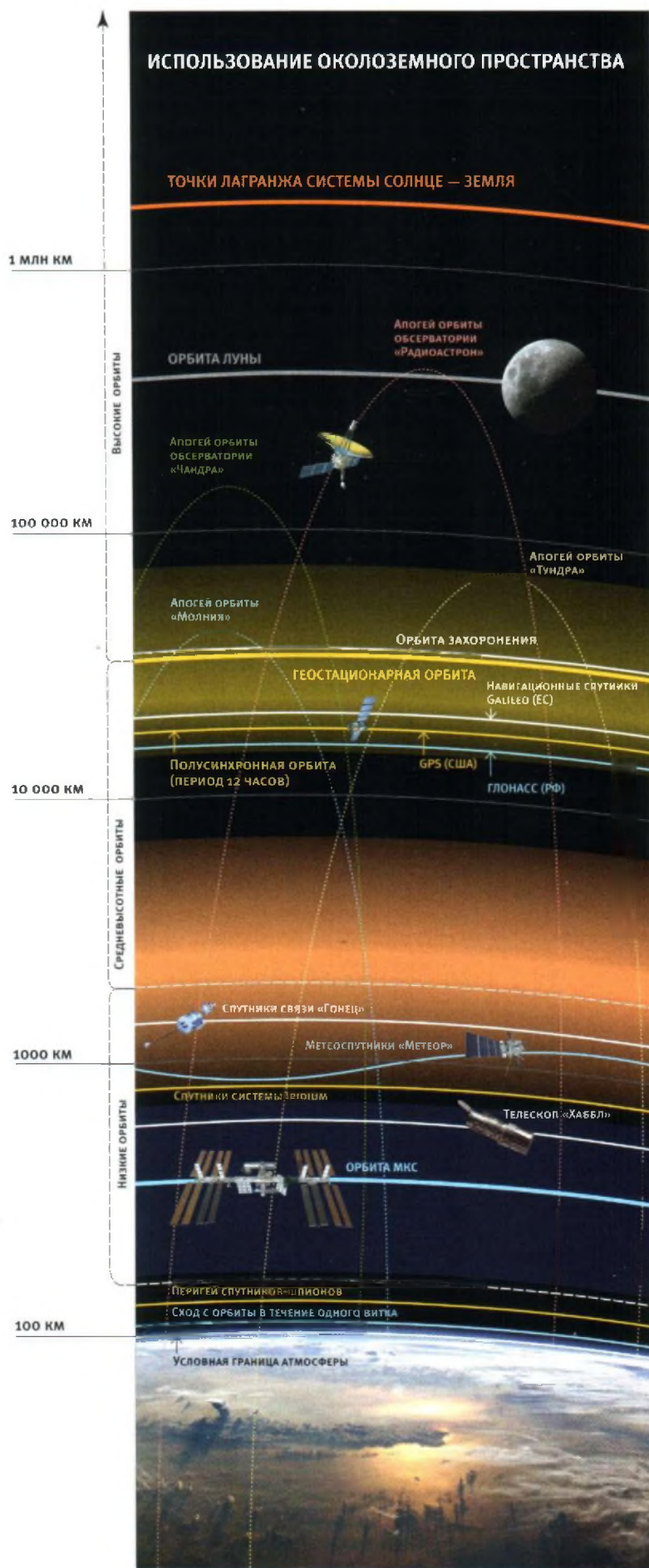
Полярными называют орбиты, которые проходят над Северным и Южным полюсами Земли, то есть располагаются перпендикулярно экватору. В поле зрения спутника на полярной орбите периодически попадает любой участок земной поверхности. Если использовать несколько таких орбит, повернутых под углом друг к другу, и по каждой с равными интервалами запустить несколько спутников, можно непрерывно обозревать всю поверхность Земли. Именно так работает сеть спутниковой телефонии Iridium. В ней используются полярные орбиты с наклоном $86,4^\circ$ и высотой 780 километров. Первоначально на них размещалось 77 спутников, откуда и возникло название системы: иридий — 77-й элемент Периодической системы Менделеева. Однако через девять месяцев после запуска, в ноябре 1998 года, компания Iridium обанкротилась. Цена разговора, доходившая до семи долларов в минуту, оказалась слишком высокой для потребителей.▶

P и A — перигей и апогей орбиты
 i — наклонение орбиты к экватору
 Ω — долгота восходящего узла задает, в какую сторону наклонена орбита
 ω — аргумент перигея задает ориентацию эллипса в плоскости орбиты



ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТЫ

Слово «орбита» по-латыни означает «колея» или «путь». Околосреднюю орбиту характеризует ряд параметров: наименьшая и наибольшая высота (перигей и апогей, которые также определяют период обращения), наклонение (угол между плоскостью орбиты и плоскостью земного экватора), долгота восходящего узла, задающая, «в какую сторону» (вокруг какой линии в плоскости экватора) наклонена орбита, и аргумент перигея, указывающий, как повернута эллиптическая орбита в своей собственной плоскости. Гравитационные возмущения со стороны других планет, давление солнечного излучения, несферическая форма Земли, ее магнитное поле и атмосфера приводят к тому, что орбиты спутников могут заметно меняться во времени. Поэтому в ходе эксплуатации спутника регулярно проводятся траекторные измерения, и при необходимости его орбита корректируется.



В первом приближении орбиты спутников делятся на низкие (до 2000 километров от Земли), средние (ниже геостационарной орбиты) и высокие. Пилотируемые полеты совершаются не выше 600 километров, поскольку космические корабли не должны входить в окружающие нашу планету радиационные пояса. Энергичные протоны внутреннего радиационного пояса создают опасность для жизни космонавтов. Максимальная интенсивность облучения достигается на высоте около 3000 километров, которой избегают все космические аппараты. Внешний электронный пояс не так опасен. Его максимум лежит где-то между зонами навигационных и геостационарных спутников. Еще выше обычно поднимаются спутники, работающие на сильно вытянутых эллиптических орбитах. Таковы, например, рентгеновская обсерватория «Чандра» (США), которая во избежание помех наблюдает вдали от радиационных поясов, и будущая российская обсерватория «Радиоастрон», данные которой тем точнее, чем больше расстояние от работающих с ней в паре земных радиотелескопов. Самые высокие околоземные орбиты, которые в равной мере можно считать околосолнечными, лежат на высоте 1,5 миллиона километров вблизи так называемых точек Лагранжа.

отчасти из-за того, что система Iridium обеспечила по-настоящему глобальную связь — от полюса до полюса. Стартовавшая чуть позже система GlobalStar ради экономии использует вместо полярных орбиты с наклоном 52°, что ограничивает связь 70-й параллелью (примерно на широте Ямала). Зато для работы хватает 48 спутников (плюс четыре запасных), а стоимость связи в том же 1999 году составляла не более двух долларов в минуту.

Спутники Iridium уже готовились свести с орбиты и сжечь в плотных слоях атмосферы, когда всю систему выкупило американское министерство обороны. По сей день Iridium остается единственной спутниковой системой связи, которая непрерывно обеспечивает телефонную связь по всему земному шару. Например, через нее с 2006 года обеспечивается постоянное подключение к Интернету полярной станции Амундсен-Скотт на Южном полюсе. Скорость соединения составляет 28,8 килобит в секунду, как на старом телефонном модеме.

ВМЕСТЕ С СОЛНЦЕМ

К полярным близок еще один важный класс орбит, называемых солнечно-синхронными (ССО), которые всегда имеют постоянную ориентацию

относительно Солнца. На первый взгляд кажется, что это противоречит законам небесной механики, согласно которым плоскость орбиты остается постоянной, а значит, в ходе движения Земли вокруг Солнца она должна поворачиваться к нему то одной, то другой стороной. Но если учесть, что Земля имеет приплюснутую форму, то оказывается, что плоскость орбиты испытывает прецессию, то есть немного поворачивается от витка к витку. Правильно подобрав высоту и наклонение, можно добиться того, чтобы поворот плоскости орбиты как раз соответствовал дуге, пройденной Землей вокруг Солнца. Например, для высоты орбиты 200 километров наклонение должно составлять чуть больше 96° градусов, а для 1000 километров — уже более 99° (цифры более 90° соответствуют движению по орбите против суточного вращения Земли).

Ценность ССО состоит в том, что, двигаясь по ней, спутник пролетает над земными объектами всегда в одно и то же время суток, что важно для проведения космической съемки. Кроме того, благодаря близости ССО к полярным орбитам с них можно следить за всей земной поверхностью, что важно для метеорологических, картографических и разведывательных спутников, которые собирательно называются спутниками дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Определенный выбор параметров ССО позволяет спутнику никогда не уходить в тень Земли, всегда оставаясь на солнце вблизи границы дня и ночи. Спутник при этом не испытывает перепадов температуры, а солнечные батареи непрерывно обеспечивают его энергией. Такие орбиты удобны для радарного картирования земной поверхности.

Гражданские спутники ДЗЗ, от которых требуется различать предметы размером порядка метра, обычно работают на высотах 500—600 километров. Для военных спутников-разведчиков с разрешением съемки в 10—30 сантиметров такие высоты слишком велики. Поэтому их орбиты часто выбирают так, чтобы перигей лежал над точкой съемки. Если «объект внимания» не один, разведчику приходится менять форму орбиты с помощью двигателя, иногда совершая «нырки» к верхним слоям атмосферы, снижаясь до высот около 150 километров. Необходимость «подбираться» как можно ближе к Земле имеет существенный недостаток — сопротивление атмосферы резко сокращает срок пребывания спутника в космосе. Чуть зазеваешься — и атмосфера утащит спутник в свою пучину, где он неизбежно сгорит. Из-за этого на борту низкоорбитальных «шпионов» приходится держать большие запасы топлива для коррекции орбиты и периодического подъема высоты. Например, из 18 тонн стартовой массы американского



В прямой видимости из любой точки Земли всегда находится хоть один спутник низкоорбитальной системы связи Iridium. Но в помещения их сигналы почти не проникают. Так что дозвониться до обладателя спутниковой трубки можно не всегда

фоторазведчика КН-11 на топливо приходится примерно 40%. Таким образом, выбранная орбита может непосредственно влиять на конструкцию, а иногда и на внешний вид аппарата.

Особенно ярко эта зависимость проявилась в конструкции европейского научного аппарата GOCE, запущенного недавно с российского космодрома Плесецк. Он имеет необычную стреловидную форму, непохожую на угловатые контуры большинства современных спутников, и даже вызывает ассоциации со скоростным самолетом. Дело в том, что для спутника, изучающего гравитационное поле Земли, выбрана низкая ССО высотой 240—250 километров. Она оптимальна с точки зрения точности измерений, но чтобы противостоять тормозящему действию атмосферы, спутнику придали форму с минимальным поперечным сечением. Кроме того,

в кормовой части аппарата установлены ионные электроракетные двигатели для коррекции траектории.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ВЗГЛЯД

Но не всем спутникам ДЗЗ требуется высокое разрешение. Что проку от возможности обнаружить объект размером 30 сантиметров, если задача аппарата — отслеживать региональные или глобальные перемещения воздушных масс и тепловые режимы крупных регионов. Для ее осуществления гораздо важнее широта охвата. При глобальном метеорологическом мониторинге спутники обычно размещают на ГСО или высокой ССО, а при региональном — на орбите сравнительно небольшой высоты (500—1000 километров) с наклонением, позволяющим регулярно проводить съемку выбранного района. К примеру, перспективный российский спутник ►

«ОРБИТА КЛАРКА»

Вероятно, первыми о возможности геостационарных спутников заговорили Константин Эдуардович Циолковский и Герман Поточник, теоретик космонавтики из Словении, более известный как Герман Ноордунг. Однако широкое распространение идея их использования для связи получила с подачи известного британского ученого и писателя-фантаста Артура Кларка. В 1945 году он опубликовал в журнале *Wireless World* научно-популярную статью с описанием спутников связи на геостационарной орбите (ГСО), которую теперь нередко называют «Орбитой Кларка».

В околоземном пространстве движется около 10 тысяч спутников и не меньшее число их фрагментов. В основном они сконцентрированы на малых высотах и вблизи геостационарной орбиты, «парковочные места» на которой уже приходится тщательно распределять



«Метеор-М» должен проводить мониторинг гидрометеорологической ситуации в глобальном масштабе с ССО высотой 830 километров. А для аппарата «Электро-Л» была выбрана ГСО, поскольку его основным назначением будет съемка всего диска Земли в видимом и инфракрасном диапазонах. Кроме того, ГСО в данном случае оптимальна для получения информации о глобальных атмосферных процессах, протекающих в приэкваториальной зоне.

Именно потому, что с ГСО можно обозревать значительную часть земной поверхности, ее «заселяют» не только аппараты связи и метеоспутники, но и системы предупреждения о ракетном нападении. Их основная задача — обнаруживать пуски баллистических ракет, для чего в состав аппаратуры включается инфракрасный телескоп, способный засечь факел работающего двигателя. Недостатки ГСО в данном случае роли не играют — ведь спутнику не надо

передавать информацию на Северный или Южный полюс, зато треть земной поверхности как на ладони.

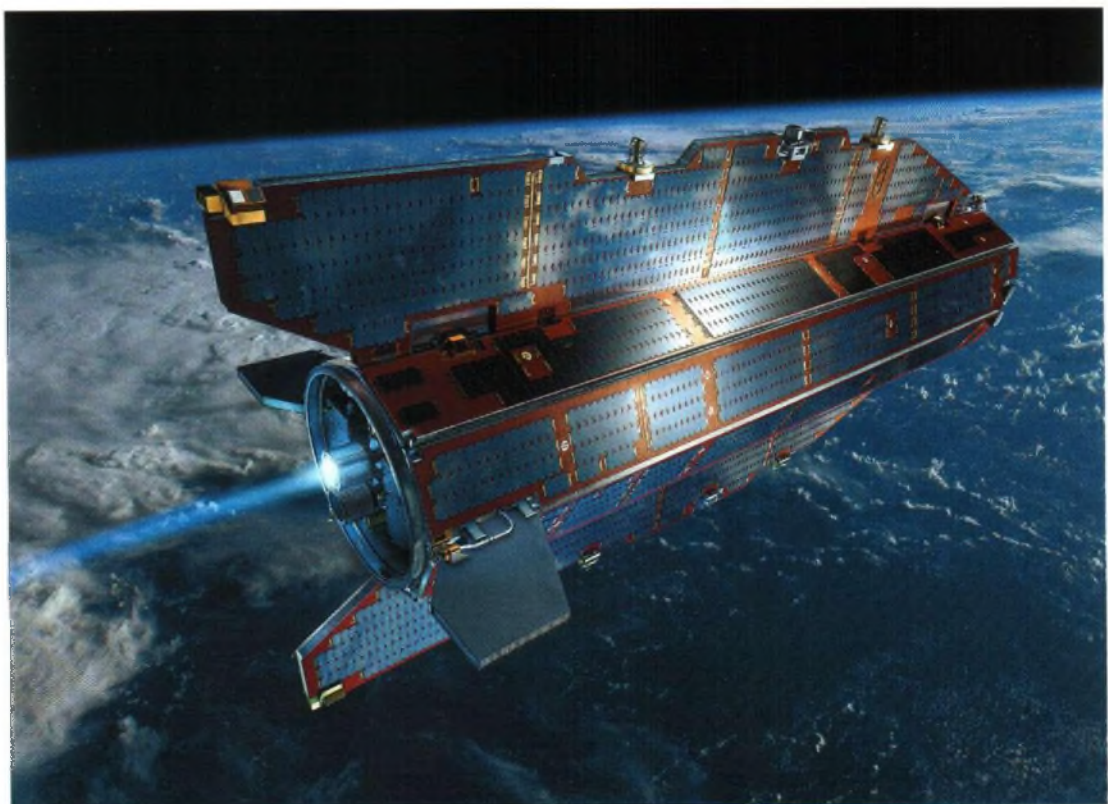
Весьма непросто оказался выбор параметров орбиты для спутников глобальных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Хотя сама идея (по задержке сигнала измерять расстояние до спутников с хорошо известными координатами) была очевидна, ее реализация затянулась на десятилетия. В СССР исследования в этом направлении начались еще в 1958 году. Через пять лет стартовала работа над первой спутниковой навигационной системой «Цикада», которую сдали в эксплуатацию только через 16 лет. Четыре ее навигационных спутника работали на низких круговых орбитах высотой 1000 километров с наклоном 83°. Площадки их орбит были равномерно распределены вдоль экватора. Примерно раз в полтора-два часа потребитель мог войти в радиокontakt с одним из

спутников «Цикада» и после 5—6 минут связи определить свои широту и долготу. Разумеется, военных заказчиков спутниковой навигации такой режим работы не устраивал. Им требовалось в произвольный момент и в любой точке Земли определять три пространственные координаты, вектор скорости и точное время. Для этого необходимо одновременно принимать сигналы не менее четырех спутников. На низких орбитах для этого потребовалось бы разместить сотни космических аппаратов, что было бы не только безумно дорого, но и попросту неосуществимо. Дело в том, что срок эксплуатации советских спутников не превышал одного-двух лет (а чаще — нескольких месяцев), и получалось бы, что вся ракетно-космическая промышленность работала бы исключительно на изготовление и запуск навигационных спутников. Вдобавок низкоорбитальные спутники испытывают значительные возмущения из-за влияния земной атмосферы, что сказывается на точности определяемых по ним координат.

Исследования показали, что необходимые параметры навигационной системы обеспечиваются при размещении спутников на круговых траекториях высотой 19 000—20 000 километров (для ГЛОНАСС выбрана высота 19 100 километров) с наклоном около 64°. Влияние атмосферы здесь уже незначительно, а гравитационные возмущения со стороны Луны и Солнца еще не приводят к быстрым изменениям орбиты. ►

КЛАДБИЩЕ СПУТНИКОВ

В последние 20 лет все больше стран обзаводились собственными телекоммуникационными, метеорологическими и военными спутниками на геостационарной орбите. В результате на ГСО стало тесно. Среднее расстояние между спутниками составляет около 500 километров, а на некоторых ее участках тяжелые аппараты «висят» всего в нескольких десятках километров друг от друга. Это может вызывать помехи при связи и даже приводить к столкновениям. Возвращать спутники с высокой орбиты на Землю слишком дорого. Поэтому для расчистки ГСО было решено, что после завершения активной эксплуатации они должны на остатках топлива переводиться на «орбиту захоронения», расположенную на 200—300 километров выше. Это «кладбище спутников» пока гораздо свободнее рабочей орбиты.



GOCE — редкий случай, когда в конструкции спутника приходится учитывать аэродинамику. Гравиметрические измерения требуют лететь как можно ближе к Земле. Ионный двигатель периодически включается, чтобы компенсировать торможение в атмосфере

Теоретически на такой высоте достаточно 18 спутников в трех орбитальных плоскостях, чтобы из любой точки на Земле было видно не менее четырех аппаратов одновременно. Но на самом деле для повышения точности определения местоположения самих космических аппаратов группировку ГЛОНАСС придется расширить до 24 работающих спутников, а с учетом резерва в системе надо иметь 27—30 спутников.

Примерно на таких же принципах строятся и остальные навигационные системы — GPS (США), Galileo (Европа) и «Бэйдоу» (Китай). Их спутниковые группировки располагаются на круговых орбитах высотой 20 000—23 500 километров с наклоном 55—56°.

ТРАССЫ ДЛЯ ПИЛОТОВ

Орбиты пилотируемых аппаратов выбираются особо. Так, при строительстве Международной космической станции (МКС) учитывались удобство запуска к ней новых модулей и космических кораблей, безопасность экипажа, расход топлива на поддержание высоты. В результате станция была выведена на орбиту высотой около 400 километров. Это немного ниже границы радиационного пояса Земли, в котором под действием магнитного поля нашей планеты накапливаются заряженные частицы солнечного ветра. Длительное нахождение внутри радиационного пояса подвергало бы экипаж опасному облучению или потребовало бы мощных средств радиационной защиты орбитальной

станции. Существенно ниже опустить орбиту тоже нельзя, иначе из-за значительного аэродинамического сопротивления станция будет тормозиться и потребует много топлива для поддержания ее высоты. Наклонение орбитальной плоскости (51,6°) определяется условиями запусков с Байконура, самого северного космодрома, откуда осуществляются пилотируемые полеты.

Сходными соображениями продиктован выбор орбиты для космического телескопа Хаббла, поскольку с самого начала предполагалось, что его будут периодически посещать астронавты. Потому наклонение орбиты 28,5° было выбрано по широте американского космодрома Канаверал. В результате орбиты МКС и телескопа расположены под значительным углом друг к другу, и космический челнок не может посетить их в одном полете, ведь смена плоскости орбиты — один из самых «дорогих» маневров, у шаттла для него просто недостаточно топлива. Из-за этого работа космического телескопа едва не завершилась преждевременно. После катастрофы шаттла «Колумбия» в 2003 году было решено, что астронавты должны иметь возможность укрыться на МКС, если в полете будут обнаружены серьезные повреждения корабля. Полет к телескопу Хаббла исключал такую возможность и едва не был отменен. В итоге его все-таки одобрили, и после серьезной модернизации в 2009 году «Хаббл», который находился на грани выхода из строя, сможет проработать

еще лет пять, пока ему на смену не придет новый телескоп имени Джеймса Вебба. Правда, тот будет запущен уже не на околоземную орбиту, а гораздо дальше — в точку Лагранжа на высоте 1,5 миллиона километров, где период обращения в точности равен году, и телескоп будет постоянно прятаться от Солнца позади Земли. Туда пилотируемые полеты пока не осуществляются.

Мы описали целый ряд разных орбит, но на этом их многообразие отнюдь не исчерпывается. Для любого типа орбит существуют вариации, призванные усилить их положительные и ослабить отрицательные свойства. Например, некоторые спутники движутся вблизи геостационарной орбиты с наклоном до 10°. Это позволяет им периодически «заглядывать» в высокие широты, но наземным антеннам при этом требуется умение наклоняться вверх-вниз, отслеживая колебания спутника. Важную роль играют различные переходные траектории, соединяющие две орбиты. С распространением ионных двигателей малой тяги в околоземном пространстве стали использоваться сложные спиральные пути. Выбором траектории космического аппарата занимаются баллистики. Есть даже термин «баллистическое проектирование», означающий совместную разработку оптимальной траектории полета аппарата, его облика и основных проектных параметров. Иначе говоря, орбита разрабатывается вместе со спутником и ракетой, которая его выводит. ●