



фото: Matra Marconi Space

Всеволод Колюбакин

# Геостационарные спутники

Со времени первой успешной системы обмена информацией с помощью радиоволн прошло более ста лет. Первые приемники могли принимать сигнал на расстоянии десятков метров от передатчика. Естественно, сразу возникла задача увеличения дальности передачи информации и пропускной способности канала. Спустя полвека проблему дальности связи смог решить Артур Кларк, первым сформулировавший идею космической ретрансляции.

На фото: спутник Eurostar 2000 перед отправкой на космодром

Увеличения пропускной способности канала можно добиться, используя метровые, дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны. Существует несколько способов распространения радиоволн в пространстве: напрямую, в зоне прямой видимости, за горизонт – огибая земную поверхность, отражаясь от ионосферы Земли. Самым надежным является прямой способ передачи, но он ограничивает расстояние от передатчика до приемника зоной прямой видимости. Простым и практически единственным способом решить задачу является увеличение высоты передатчика. Именно для этого строили высокие башни: Эйфелеву, Шуховскую и прочие.

Человек пытался установить передатчик или ретранслятор на самолетах и дирижаблях. Но только полвека назад появился способ кардинально изменить ситуацию.

## Сначала была теория

Ещё в 1928 году словенский теоретик Герман Поточник рассчитал параметры орбиты, период вращения небесного тела на которой равнялся 24 часам. Это была простая теоретическая задача, интересная только астрономам. В 1945 году в журнале *Wireless World* появилась статья «Внеземная ретрансляция» ученого и писателя Артура Кларка о перспективных системах беспроводной связи. Идея состояла в следующем: надо поместить ретрансляционный космический аппарат на орбиту, в которой период его обращения будет равняться периоду вращения Земли. Следовательно, этот аппарат будет оставаться неподвижным для наблюдателя с Земли и его можно рассматривать как ретрансляционную башню, поднятую на высоту 36 тысяч километров над Землей. Орбиту Артур Кларк предложил назвать геостационарной.

## Первые эксперименты

Кларк предполагал, что развитие техники позволит осуществить его идею не раньше конца 20 века. Никто, даже самые отъявленные оптимисты, не ожидали такой скорости развития космической техники, которую продемонстрировали США и СССР в 1950-1960-е.

12 августа 1960 года был запущен первый американский спутник связи Echo 1. Он представлял собой шар диаметром около 30 м из отражающего радиоволны материала. Оболочка шара выводилась на орбиту высотой около 1400 км, где надувалась азотом. Покрытие из алюминиевой фольги хорошо отражало радиосигнал, через Echo 1 удалось наладить телефонную связь между Америкой и Великобританией. В 1964 году был запущен еще один надувной спутник, Echo 2, работа с которым дала понять, что от пассивных ретрансляторов, действующих как простое зеркало, необходимого качества связи добиться невозможно. Стал очевиден выбор в пользу активного ретранслятора, который принимает сигнал, усиливает его и отправляет обратно на Землю.

13 декабря 1962 года был запущен Relay 1 — первый спутник с активной ретрансляционной полезной нагрузкой. Он был выведен на эллиптическую орбиту с апогеем около 7000 км. Возможности Relay 1 позволяли транслировать 300 телефонных каналов. Второй спутник этой серии Relay 2 уже позволил проводить прямую трансляцию в США Олимпийских игр из Токио.

## Идея Кларка реализована

Для демонстрации возможностей спутника-ретранслятора, находящегося на геостационарной орбите, была запущена серия американских спутников Syncom. Первый аппарат серии — Syncom 1 — вывели на орбиту 14 февраля 1963 года. Ракета-носитель позволяла вывести аппарат только на геосинхронную орбиту с наклоном в 33°. Таким образом, для наблюдателя с Земли Syncom 1 описывал восьмерку с отклонением на 33° к северу и югу. Эксперимент показал, что работа с таким аппаратом — наблюдение, контроль, передача и прием сигнала — намного легче, чем со спутником на какой-либо другой орбите. Через Syncom 2, который был запущен 26 июля 1963 года и также выведен на орбиту с наклоном 33°, состоялся первый межконтинентальный беспроводной телефонный разговор. Syncom 3 запустили 19 августа 1964 года, он стал первым спутником на геостационарной орбите. В 40-килограммовый аппарат смогли «уместить» и ретранслятор, достаточный для передачи телеканала, и систему коррекции орбиты.

6 апреля 1965 года спутниковые коммуникации из стадии экспериментов перешли к коммерческому использованию, родилась новая индустрия. Early Bird («Ранняя пташка»), позднее переименованный в Intelsat 1, стал первым коммерческим геостационарным спутником. Созданный компанией Hughes, Early Bird весил 32 кг и мог передавать через океан 240 телефонных каналов или один телевизионный.

В середине 1960-х NASA начало широкую программу по исследованию возможностей геостационарных спутников, разработке нового коммуникационного

оборудования и систем управления. Спутники серии ATS (Advanced Technology Satellite) позволили отработать технологии, ставшие ключевыми в современной спутниковой связи и вещании. На ATS-3, запущенном 5 ноября 1967 года, была осуществлена первая цветная телепередача. На ATS-6 отрабатывалась технология проведения двусторонней телеконференции. ВВС и ВМФ США проводили свои программы для отработки космических технологий связи.

В СССР с середины 1960-х система спутниковой связи базировалась на высокоэллиптической орбите. «Протон» — советский носитель, способный выводить спутники на геостационарную орбиту, был создан к началу 1970-х. 26 марта 1974-го на геостационарную орбиту был выведен первый отечественный аппарат — спутник «Космос-637». Затем были созданы и эксплуатировались вплоть до начала нашего века коммуникационные спутники «Радуга», «Экран» и «Горизонт».

В том же году, когда был запущен «Космос-637», американцами на орбиту был выведен спутник связи Westar 1. Он уже был оборудован 12-ю транспондерами, каждый из которых мог транслировать один цветной телеканал. В том же году американской РН был запущен Symphone — первый геостационарный спутник, созданный в Европе. Его разработчиками стали компании Aerospatiale (Франция) и MBV-Erno (в будущем — DASA (Германия)). Symphone стал первым коммуникационным спутником, стабилизированным по трем осям.

В 1980 году Европа получила независимость от США в запусках геостационарных аппаратов — появился носитель Ariane. После запуска Symphone NASA, боясь конкуренции американским фирмам, отказывалось запускать спутники, произведенные в других странах. Как выяснилось — не зря, так как все 80-е и половину 90-х прошлого века ракета-носитель Ariane занял более половины рынка коммерческих запусков. В 1990-е на рынок вышли российский носитель «Протон» и украинский «Зенит», запускаемый с плавучей платформы. В свою очередь, американские носители практически ушли с рынка, оставив за собой только запуски по государственным программам.

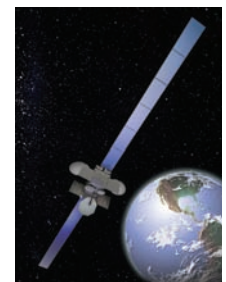
## Непосредственное спутниковое вещание

В 1980-х появилась возможность создания непосредственного приема сигналов со спутников на антенны малых диаметров, до 1 метра. Такие системы получили название систем Непосредственного телевизионного вещания — HTB (DTH — Direct-To-Home, Direct Broadcast Sistem — DBS). В результате сначала в США, а позднее во всем мире появилось массовое спутниковое телевидение, что привело к ужесточению правил взаимного регулирования спутниковых систем.

Геостационарные спутниковые системы связи имеют свои плюсы и минусы. Главное преимущество — неподвижность относительно земного наблюдателя. Второе — с каждого спутника видно 42,4% земной поверхности. Трех геостационарных спутников хватает, чтобы охватить всю земную поверхность.

Каждый коммуникационный спутник работает в определенной точке геостационарной орбиты, которая определяется долготой. Каждому спутнику

Спутники связи должны иметь возможность коррекции как по долготе в направлении запад–восток, так и по широте в направлении север–юг. Корректировка по долготе обеспечивает точность орбитальной позиции, корректировка по широте не допускает наклона орбиты.



Чем ближе расположен космодром к экватору, тем большую массу (при равных характеристиках ракеты) можно вывести на ГСО. Космодром Байконур расположен на широте 52° с.ш., он менее удобен, чем европейский Куру (5° с.ш.) и американский Канаверал (28,5° с.ш.). 10 лет назад была построена платформа Sea Launch для запусков на ГСО непосредственно с экватора.

Международным советом электросвязи определены своя зона покрытия и рабочий диапазон. Сделано это для того, чтобы спутники не создавали друг другу помех. Вопрос координации геостационарных спутниковых систем – на сегодня самый сложный для оператора. Спутники связи, работающие в одном диапазоне, могут располагаться на орбите не ближе, чем в 2°. Спутники непосредственного телевидения, ввиду того, что индивидуальные антенны малого размера имеют большую диаграмму направленности — в 6°.

### Геостационарный спутник — что это такое?

Существуют два основных варианта вывода спутника на геостационарную орбиту (ГСО), выбор которых зависит от массы, точки запуска и характеристик носителя. Можно вывести аппарат сразу на ГСО, можно на переходную орбиту — сильно вытянутую наклоненную эллиптическую орбиту с апогеем в 35 000 км. С переходной орбиты КА доводится до своей орбитальной позиции при помощи собственного апогейного двигателя.

### Корректировка орбиты

Срок службы — важнейшая характеристика современного спутника связи. Он зависит от ресурса его корректировочных двигателей и бортовой аппаратуры. В упрощенной модели спутник стоит на геостационарной орбите неподвижно относительно земного наблюдателя. Но на практике, если не проводить коррекцию, орбита станет наклонной и для наблюдателя с Земли спутник будет описывать восьмерку. Кроме этого, из-за неидеальной шарообразности Земли на 105° з.д. и 75° в.д. существуют так называемые «гравитационные впадины», куда могут «скатиться» спутники, если их перестать корректировать. Допустимая «болтанка» современного спутника — не более 0,1° по долготе и широте, что составляет приблизительно 70 км. Этого достаточно, чтобы удерживать несколько аппаратов в одном орбитальном слоте.

На первом этапе коммуникационные спутники стабилизировались по одной оси, вращением. Это позволяло нацеливать антенну на Землю, но не дава-

ло возможности разворачивать солнечные батареи к Солнцу. Сейчас все КА стабилизированы по трем осям, возможно это стало с появлением XIPS и SRT.

### Энергопитание и теплоотвод

Электрическую энергию, необходимую для работы всех систем КА, получают из солнечных батарей. Самыми первыми являются солнечные батареи на кремниевых структурах. Но сейчас спутники оборудуются батареями на арсениде галлия. КПД кремниевых батарей составляет около 12%, батарей арсенида галлия – около 22%.

Характеристикой, лимитирующей мощность спутника, является возможность отвода избыточного тепла. В космическом пространстве отсутствует среда, которая может осуществлять перенос тепла. Есть два решения этой проблемы. Либо спутник делают по герметичной схеме, то есть заключают в термостат. Либо по негерметичной, где тепло отводится системой радиаторов. Негерметичная схема более прогрессивна, поскольку обладает большим ресурсом.

Коммуникационное оборудование спутника состоит из приемника, усилителя и передатчика. В качестве усилителя на всех спутниках, как правило, используются лампы бегущей волны (TWTA — traveling wave tube amplifiers) или твердотельные усилители.

Космическая отрасль достаточно консервативна, поэтому конструкция спутников связи меняется медленно. Сейчас все основные системы космических аппаратов связи остались теми же, что и в 80-е годы прошлого века. Развитие идет в направлении улучшения характеристик. Если 20 лет назад мощность спутника связи составляла около 10 кВт, то сейчас – 15-20 кВт. Общая пропускная емкость выросла примерно в три раза. Также все больше применяются контурные антенны, позволяющие очень точно формировать зону покрытия. Увеличение массы КА идет параллельно с увеличением грузоподъемности ракет-носителей. На геостационарной орбите сейчас находятся около 400 работающих аппаратов. Резкого увеличения их числа не предполагается ввиду ограниченности частотного ресурса. Большее количество спутников не сможет работать на ГСО, не создавая помех друг другу. 📡

На фото: спутник «Ямал 200» в цехе РКК «Энергия»

