

## **Занятие № 29. “Технологии построения сетей подвижной персональной спутниковой связи”**

### **1. Особенности технологий спутниковой связи и навигации**

Стремительный прогресс в развитии спутниковой связи и навигации впервые позволил реализовать на практике идею поистине глобального информационного обмена в масштабе всей Земли. Несомненные преимущества систем спутниковой связи (ССС) – большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи – обусловили интенсивное развитие СССР. Удобство и простоту использования спутниковых систем навигации по достоинству оценили не только моряки и летчики, но и водители автомобилей и пешеходы. Дальнейшая информатизация общества без спутниковой связи и навигации невозможна.

Наряду с дублированием наземных систем связи существуют ситуации, в которых без спутниковой связи (и навигации) не обойтись:

- связь с морскими объектами и навигация на всей поверхности Земли;
- связь в районах с низкой плотностью населения (при слабо развитых наземных сетях);
- связь между удаленными районами при отсутствии (или пропадании) наземной связи.

В настоящее время имеется несколько десятков крупных спутниковых систем, располагающих собственными спутниками. Конфигурация систем СС существенно зависит от типа искусственных спутников Земли (ИСЗ), параметров земных станций (ЗС), ведомственной принадлежности СССР и вида связи.

Для построения систем СС используются в основном следующие разновидности ИСЗ: на высокой эллиптической орбите (НАО), геостационарной орбите (ГАО, высота орбиты  $H = 36$  тыс. км), средневысотной орбите (МАО, высота орбиты  $H = 10–20$  тыс. км) и на низковысотной орбите (ЛАО, высота орбиты  $H = 700–2$  тыс. км).

В зависимости от типа ЗС СССР делятся на стационарные и подвижные. В стационарных СССР ЗС расположены в определенных пунктах, а в подвижных – на сухопутных, морских, воздушных транспортных средствах или имеют вид обычного радиотелефона.

Спутниковые системы связи по обслуживаемой территории, размещению и принадлежности земных станций, структуре управления подразделяются на международные (глобальные или региональные), национальные и ведомственные.

По виду передаваемой информации СССР подразделяются на телевизионные, радиовещательные, навигационные, передачи данных, многоканальной телефонии и др.

В зависимости от назначения системы СС и типа ЗС регламентом МСЭ различаются следующие службы спутниковой радиосвязи:

- фиксированная – для связи между станциями, расположенными в определенных фиксированных пунктах, а также для распределения телевизионных программ;
- радиовещательная – для непосредственного приема радио- и телевизионных программ на терминалы, находящиеся у населения;
- подвижная – для связи между подвижными станциями, размещаемыми на транспортных средствах (самолеты, морские суда, автомобили).

Тенденции развития спутниковой связи:

использование систем непосредственного телевизионного вещания. С их помощью

передача ТВ-программ осуществляется непосредственно в места расположения пользователей на малые приемные антенны, установленные, например, на крышах и стенах зданий;

создание в рамках служб фиксированной связи сетей малоапертурных станций типа VSAT, рассчитанных на расширение пользовательской аудитории (корпоративные и частные сети деловой связи), в том числе предоставление асимметричного доступа в Internet (передача на низкой скорости «по земле» и прием на большой скорости с ИСЗ);

создание служб подвижной связи (морская, воздушная и сухопутная);

переход к цифровым методам передачи информации и расширение видов предоставляемых услуг (телефон, телефакс, передача данных, электронная почта, видеоконференц-связь) на скоростях 1,2–9,6 кбит/с, реже – до 64 кбит/с и больше;

повышение использования ресурса геостационарной орбиты по пропускной способности путем применения многолучевых ретрансляторов и многократного использования частот в диапазонах 4/6 и 11/14 ГГц;

освоение диапазона частот 20–30 ГГц с дополнительным увеличением пропускной способности;

повышение качества и оперативности связи благодаря межствольной (межлучевой) коммутации сигнала на борту спутника.

Следует отметить, что для радиосвязи с малогабаритными подвижными персональными ЗС специфическими проблемами использования ИСЗ, удаленных от Земли до 40 тыс. км, является низкий уровень сигналов и малое пространственное разрешение.

Данные проблемы в последние годы решаются следующими технологическими способами:

использованием высокоэффективных методов формирования и обработки сигналов, позволяющих работать при низких отношениях сигнал/ шум (до 3–6 дБ);

созданием спутников-ретрансляторов с многолучевыми активными фазированными антенными решетками (АФАР). Применение АФАР позволяет формировать узкие диаграммы направленности лучей с электронным управлением их конфигурациями и практически мгновенным перенацеливанием на различные зоны обслуживания. Таким образом обеспечивается высокая энергетика лучей, облегчающая создание небольших абонентских станций с минимальными массогабаритными характеристиками, и многократное использование частот;

развертыванием ССС на базе низкоорбитальных космических аппаратов (КА). Это направление открывает огромные возможности для включения в мировое информационное пространство многомиллионного контингента пользователей, нуждающихся в портативных индивидуальных средствах связи, особенно в удаленных и труднодоступных районах со слабо развитыми наземными средствами связи. Интерес к системам на основе низколетящих спутников вызван актуальностью персональной связи и создания СГППСС – сетей глобальной персональной подвижной спутниковой связи: *GMPCS (Global Mobile Personal Communications by Satellite)* – глобальная персональная система мобильной спутниковой связи.

В спутниковой связи существует ряд специфических физических явлений, которые приходится учитывать при создании и эксплуатации ССС: эффект Доплера (смещение частоты), эффект Фарадея (поворот плоскости поляризации), ослабление (поглощение) миллиметровых волн в приземном слое атмосферы и облаках, радиационные слои Ван-Аллена, прецессию орбиты ИСЗ и др.

В состав любой спутниковой системы связи (рис. 1) входят:

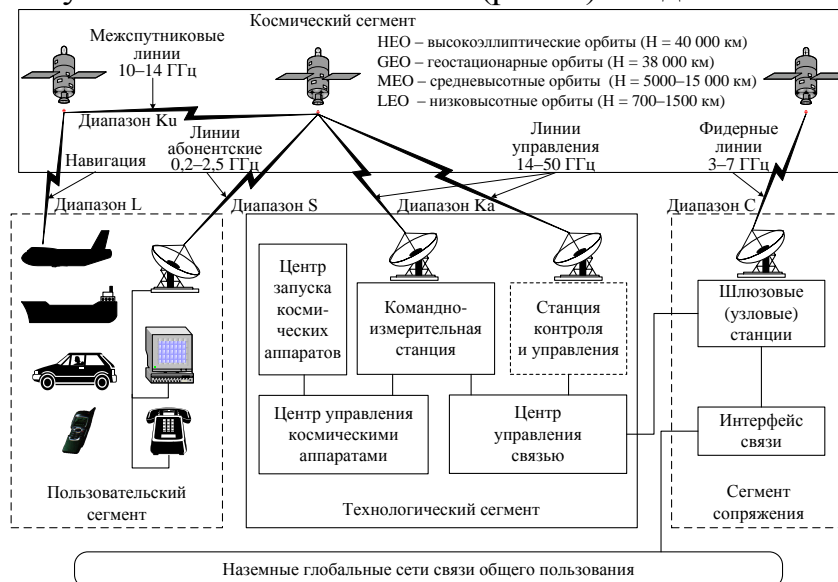


Рис. 1. Структура и элементы СГППСС

космический сегмент – несколько спутников-ретрансляторов;

наземный сегмент – технологический сегмент (центр управления системой, центр запуска космических аппаратов, командно-измерительные станции, центр управления связью) и сегмента сопряжения;

пользовательский (абонентский) сегмент, осуществляющий связь с помощью персональных спутниковых терминалов;

наземные глобальные сети связи, с которыми через интерфейс связи сопрягают шлюзовые станции спутниковой связи.

Быстрое развитие спутниковых систем связи потребовало разработки и принятия ряда международных конвенций, соглашений и норм. Технические вопросы, связанные с использованием частот и расположением спутников-ретрансляторов на орбитах, обеспечивающих отсутствие взаимных помех друг другу, решаются в рамках Международного консультативного комитета по радио (МККР) и Международного комитета по регистрации частот (МКРЧ). Для спутниковых систем выделены полосы частот (табл. 1), причем для навигации используется в основном диапазон L.

Таблица 1

Диапазоны частот спутниковых систем связи

Диапазон	Полоса частот, ГГц
L	1,452–1,500 и 1,61–1,71
S	1,93–2,70
C	3,40–5,25 и 5,725–7,075
Ku	10,70–12,75 и 12,75–14,80
Ka	14,40–26,50 и 27,00–50,20
K	84,00–86,00

На рис. 1 показан пример практического использования некоторых из перечисленных диапазонов. Однако в отдельных спутниковых системах связи, практическое применение диапазонов частот не всегда соответствует рассмотренной структурной схеме. В частности, для связи с подвижными объектами используется также диапазон 0,2–0,4 ГГц.

В табл. 2 приведены характеристики наиболее известных и опробованных на практике зарубежных и отечественных стандартов СГППСС, построенных на базе низко- и среднеорбитальных ИСЗ.

Таблица 2

**Системы глобальной подвижной персональной спутниковой связи  
(с КА на низких и средневисотных орбитах)**

Параметры системы	Iridium	Globalstar	Inmarsat-ICO	Thuraya	«Гонец»
Число КА	66	48	10	2	45
Число орбит	6	8	2	2	5
Число КА на орбите	11	6	5	1	9
Тип орбиты	LEO	LEO	MEO	GEO	LEO
Высота орбиты, км	780	1389	10 335	36 000	1400
Наклонение, град	86	52	45	44; 86	83
Масса КА, кг	317	250	1400	3200	225
Зона обслуживания (по широте), град	0–90	0–72	0–90	0–90	0–90
Предоставляемые услуги	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД, SMS, GPS	ТЛФ, ПД, электронная почта
Суммарная мощность ПРД на КА, Вт	120	1000	600	8000	40
Число лучей	48	16	85	300	1
Число каналов на КА	2500	2600	4000	13750	
Метод доступа	МДВР–МДЧР МДПР	МДКР–МДЧР МДПР	МДВР–МДПР	МДВР– МДЧР	МДВР– МДЧР МДПР
Связь между зонами	Межспутниковая	Через станцию сопряжения	Через станцию сопряжения	Коммутация на борту КА; через станцию сопряжения	Перенос на КА с запоминанием
Число станций сопряжения	25	200	12	2	

## 2. Технологии построения спутниковой системы навигации стандартов NAVSTAR, ГЛОНАСС

Начало спутниковой навигации приходится на первую половину 1960-х гг., когда возникла система Transit, первоначально предназначенная для американской флотилии подводных лодок с ракетами Polaris на борту. В 1967 г. доступ к ней был предоставлен торговому флоту, и она быстро стала популярным и надежным средством определения местоположения судов. В 1973 г. был разработан новый проект глобальной системы спутниковой навигации **NAVSTAR** (*NAVigation System with Time*

*And Ranging* – навигационная система определения времени и дальности) **GPS** (*Global Positioning System* – глобальная система позиционирования (местопределения)).

Примерами отечественных систем спутниковой навигации (аналогичных по основным характеристикам указанным выше иностранным) могут служить системы «Цикада» и ГЛОНАСС, являющиеся с недавних пор системами двойного применения и использующиеся совместно с другими международными системами навигации.

К навигационным можно также отнести низкоорбитальные системы сбора данных с помощью радиомаяков: Коспас-Сарсат (или КОСПАС-SARSAT – КОсмическая Система Поиска Аварийных Судов, иностранная часть Search And Rescue Satellite-Aided Tracking), ARGOS, Купс.

**Система Navstar GPS** использует 24 навигационных спутника, равномерно размещенных на шести круговых субсинхронных орбитах, наклоненных под углом  $55^\circ$ , значения долготы восходящих узлов которых смещены с интервалом номинально  $60^\circ$ , с периодом обращения 12 ч на высоте около 20 183 км (в системе ГЛОНАСС тоже 24 спутника, но на трех более устойчивых орбитах, наклоненных под углом  $64,8^\circ$  с периодом обращения 11 ч 15 мин 44 с на высоте 19 100 км). Они непрерывно передают навигационную информацию по двум каналам в диапазонах L 1600 и 1250 МГц (примеры несущих: 1575,42 и 1227,60 МГц).

Несущие обоих каналов модулируются с помощью специальных двоичных псевдослучайных кодов. В системе применяются два кода:

стандартный **SPS** (*Standard Positioning Service* – служба стандартного позиционирования), именуемый также кодом C/A (Coarse/Acquisition – грубая выборка). Является коротким кодом, содержащим 1023 Мбит/с, и повторяется каждую миллисекунду;

точный **PPS** (*Precise Positioning Service* – служба точного позиционирования), коротко именуемый кодом P. Очень длинный, генерируется со скоростью 10,23 Мбит/с. Каждому спутнику приписывается участок этого кода продолжительностью одна неделя. Каждую субботу в полночь генераторы кодовой последовательности P на спутниках начинают рабочий цикл сначала.

Определение местоположения в системе GPS состоит в измерении расстояния от приемной антенны до трех избранных спутников. Значение расстояния до одного спутника позволяет определить местоположение площади (позиционную поверхность) в виде сферы, на которой находится пользователь. Известное расстояние до второго спутника дает определение второго местоположения площади также в виде сферы. Пересечение двух этих поверхностей образует линию положения в сфере окружности. Пересечение этой окружности с третьим местоположением площади, определенным на основании изменения расстояния до третьего спутника, позволяет определить две точки, в которых может находиться пользователь. Одну из этих точек можно отклонить как маловероятную, и таким образом пользователь однозначно определяет свое местоположение.

Определение расстояния между приемной антенной и спутником состоит в измерении времени распространения сигнала, что сводится к измерению фазового смещения между псевдослучайными последовательностями, генерируемыми на борту спутника и в приемнике пользователя. Точное измерение расстояний возможно только в том случае, когда часы пользователя синхронизированы со временем системы GPS. В действительности пользователь пользуется собственными часами, т. е. вместо действительного расстояния измеряется так называемое псевдорасстояние, имеющее погрешность, появляющуюся из разности между временем пользователя и временем GPS. Этой погрешности можно избежать, измеряя расстояние не до трех, а до четырех спутников.

Система Navstar GPS обеспечивает трехмерное определение местоположения любого объекта в глобальном масштабе. Погрешность определения местоположения оценивается как 30–75 м при применении общедоступного кода C/A и менее 10 м при применении точного кода P.

**Система ГЛОНАСС** (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) предназначена для глобальной оперативной навигации приземных подвижных объектов: наземных, сухопутных, морских, воздушных низкоорбитальных космических. Термин «глобальная оперативная навигация» означает, что подвижной объект, оснащенный навигационной аппаратурой потребителей (НАП), может в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить (уточнить) параметры своего движения: три координаты и три составляющие вектора скорости.

В интересах мирового сообщества ГЛОНАСС используется в соответствии с Постановлениями Правительства Российской Федерации № 237 от 07.03.95 и № 346 от 29.03.99. Россия предоставляет систему в стандартном режиме для гражданского, коммерческого и научного использования без взимания за это специальной платы.

В ГЛОНАСС применяются навигационные космические аппараты (НКА) на круговых геоцентрических орбитах с высотой около 20 тыс. км над поверхностью Земли. Благодаря использованию в бортовых эталонах времени и частоты НКА атомных стандартов частоты в системе обеспечивается взаимная синхронизация навигационных радиосигналов, излучаемых орбитальной группировкой НКА. В НАП на подвижном объекте в сеансе навигации принимаются радиосигналы не менее чем от четырех радиовидимых НКА и используются для измерения не менее, чем четырех соответствующих псевдодальностей и радиальных псевдоскоростей. Результаты измерений и эфемеридная информация, принятая от каждого НКА, позволяют определить (уточнить) три координаты и три составляющие вектора скорости подвижного объекта и определить смещение шкалы времени объекта относительно системы. В спутниковых радионавигационных системах (СРНС) число потребителей не ограничивается, поскольку НАП не передает радиосигналы на НКА, а только принимает их от НКА (пассивная навигация).

Радионавигационное поле СРНС ГЛОНАСС наряду с основной функцией (глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов) позволяет проводить:

- локальную высокоточную навигацию наземных подвижных объектов (сухопутные, морские, воздушные) на основе дифференциальных методов навигации с применением стационарных наземных корректирующих станций и НКА;

- высокоточную взаимную геодезическую «привязку» удаленных наземных объектов; взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах;

- неоперативную автономную навигацию низко- и среднеорбитальных космических объектов;

- определение ориентации объекта на основе радиоинтерферометрических измерений на объекте с помощью навигационных радиосигналов, принимаемых разнесенными антеннами.

СРНС ГЛОНАСС включает три сегмента: космический с орбитальной группировкой (ОГ) НКА; управления – наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой НКА; НАП – аппаратуры пользователей.