

Антенные системы земных станций



Владимир БОБКОВ,
технический директор
ООО «МВСатком», к. т. н.

Антенны являются наиболее «выдающейся» (во всех отношениях) и эффективной частью земных станций спутниковой связи. Параболическая антенна стала символом, своеобразной визитной карточкой именно спутниковой связи (несмотря на то что такие антенны используются и в других видах связи). И как только не называют параболические антенны ЗС в разговорах и нетехнических изданиях – «тарелка», «чашка», «блюдец».

Во многом такое внимание к антенне оправданно – она непосредственно «контактирует» с электромагнитными полями, в огромном количестве невидимо распространяющимися в пространстве вокруг нас (РРЛ, мобильная связь, радиосвязь, спутниковая связь и еще много-много различных излучений) и только она выделяет из всего этого многообразия излучений нужное нам.

Основная функция и классификация антенн

Основной функцией любой антенной системы (АС) является преобразование электромагнитных волн в электрические токи и напряжения и обратно.

Классифицировать АС можно по различным параметрам и даже,

как мы далее увидим, по пропускной способности. С точки зрения потребительских свойств антенных систем наиболее информативными являются внешние параметры антенн, по которым пользователь может выбрать необходимую себе модель антенны:

- рабочий диапазон частот – один частотный диапазон (например, С или Ku) и совмещенный диапазон частот (например, С и Ku);
- тип – приемная/передающая/приемопередающая;
- количество рабочих входов/выходов облучающей системы – двухпортовые, четырехпортовые, многопортовые;
- наличие системы наведения (автосопровождения) – присутствует/отсутствует.

Иногда к этим требованиям могут быть добавлены:

- расположение облучающей системы относительно рефлектора – прямофокусные/офсетные (часто в тех случаях, когда заказчик желает избавиться от скопления снега и дождя на рефлекторе антенны);
- наличие системы антиобледенения – присутствует/отсутствует;
- тип опорно-поворотного устройства (ОПУ) – с азимутально-угломестной или полярной подвеской.

Для технического специалиста к данной классификации добавляются:

- тип облучающей системы – однозеркальная/двухзеркальная/трехзеркальная;
- тип контррефлектора – Кассегрена или Грегори.

Отдельным классом можно выделить АС для транспортируе-

мых (переносимых и перевозимых) станций спутниковой связи. К особенностям данного класса антенн относятся:

- минимальные габаритно-массовые характеристики;
- минимальное время развертывания;
- автоматическое развертывание и наведение на ИСЗ (в некоторых случаях).

Интересно посмотреть классификацию антенн, просматривающуюся в работах 1980-х гг., а именно, в известной книге «Антенные системы земных станций спутниковой связи» [2]. Здесь в описании различных типов антенн в неявной форме задана следующая классификация:

- с большой пропускной способностью – с диаметрами рефлекторов 32, 25 и 19 м;
- со средней пропускной способностью – с диаметрами рефлекторов 12, 9 и 7 м;
- с малой пропускной способностью – с диаметрами рефлекторов 5 и 4,5 м.

Кстати, основным лейтмотивом указанной книги является рассмотрение возможности максимального увеличения диаметра зеркала антенны и ограничения, с этим связанные (по точности изготовления рефлектора, точности наведения, технологии изготовления ОПУ и др.). Сейчас время настолько ушло вперед, что антеннами с «малой пропускной способностью» для 1985 г. оснащают телепорты.

Изучая антенные системы, все, несомненно, не обошли вниманием книги Сазонова Д.М. [3], а из последних изданий – замечательную книгу Фролова О.П. [4],

Спонсор рубрики



Космическая связь

которая, в отличие от ее предшественников, максимально приближена к работе реального инженера спутниковой связи и написана в новой для России форме изложения и подачи материала.

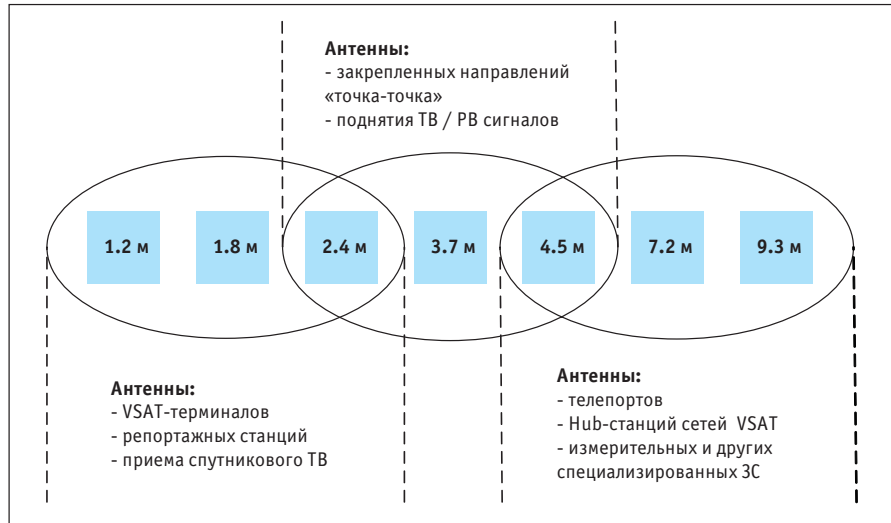
В настоящее время сложилось в основном следующее разделение АС по группам в зависимости от диаметра рефлектора (рис. 1):

- диаметр 1,2, 1,8 и 2,4 м – в составе периферийных земных станций (терминалов) систем VSAT;
- диаметр 2,4, 3,7 и 4,5 м – в составе земных станций (ЗС) корпоративных сетей, ЗС «подъема» телевизионных и радиовещательных сигналов, для организации закрепленных направлений связи;
- диаметр 4,5, 6,3, 7,2, 9,3 и 12 м – в составе центральных земных станций (hub-станций), ЗС измерения и контроля, специальных ЗС.

Возможные диаметры антенн

Вообще, если говорить о возможных диаметрах антенн, то хотя мы и наблюдаем стремление максимально уменьшить диаметр антенны и тем самым снизить стоимость как самой ЗС, так и ее монтажа, но ограничения имеются как в части максимального диаметра, так и в части минимального диаметра, т. е. и «сверху», и «снизу». Максимальный диаметр ограничен несколькими факторами:

- использование частот 14/11 и 30/20 ГГц требует значительно большей точности изготовления антенн (уменьшения СКО – среднеквадратического отклонения) по сравнению с С-диапазоном. В противном случае происходит снижение коэффициента усиления антенны (K_u), увеличение шумовой температуры и ухудшение помехозащищенности. Лучшие современные антенны имеют СКО поверхности рефлектора от теоретической кривой от 0,15 мм для диапазонов 20/30 ГГц до 0,5 – 1,0 мм для С-диапазона;



- осуществимая точность наведения луча АС на ИСЗ. При переходе, например, из диапазона 4 ГГц в диапазон 30 ГГц при постоянном раскрытии АС ширина диаграммы направленности (ДН) снижается в 7,5 раз. Если учесть, что точность наведения луча должна составлять примерно 0,1 ширины ДН, то для 30 ГГц необходимо обеспечить точность наведения $\pm 0,1$ угл. мин, что само по себе является сложной технической проблемой. Если точность наведения недостаточна, то связь осуществляется через круто спадающие участки ДН со значительными потерями K_u .

Поэтому максимальный диаметр АС приходится выбирать, исходя из компромисса: учитывать технико-экономические факторы, определяющие реализуемую точность наведения, и соответствующие этой точности потери усиления из-за работы на скатах ДН. Например, в диапазонах 14/11 ГГц компромиссный максимальный диаметр 19 м, в диапазонах 30/20 ГГц – около 11,5 м. В С-диапазоне

указанного ограничения нет, поэтому достижимы диаметры антенн 32 м и более.

Минимальный диаметр антенн определяется в настоящее время (при наличии достаточно мощных ретрансляторов на ИСЗ) в первую очередь соображениями

Рис. 1. Современное распределение антенн в зависимости от диаметра

mw SATCOM

ООО «МВСатком»
 тел: (495) 788-78-61
 факс: (495) 670-37-49
 www.mwsatcom.ru
 e-mail: info@mwsatcom.ru

ГАРАНТИЙНОЕ И ПОСЛЕГАРАНТИЙНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ "ЦЕНА/КАЧЕСТВО"
ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЕКТОВ

ВСЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

- Поставка оборудования для спутниковых станций и сетей связи РАДИС, ЦСР МНИИРС, SWE-DISH, Newtec, NJRC, ComtechEFData, Andrew, Codan, ELTECO, Agilis, Advantech, AnaCom, Space Machine&Engineering, Sector Microwave и др.
- Сертифицированные земные станции С- и Ku-диапазонов (2,4/3,7м)
- Мобильные станции Fly-Away и Drive-Away

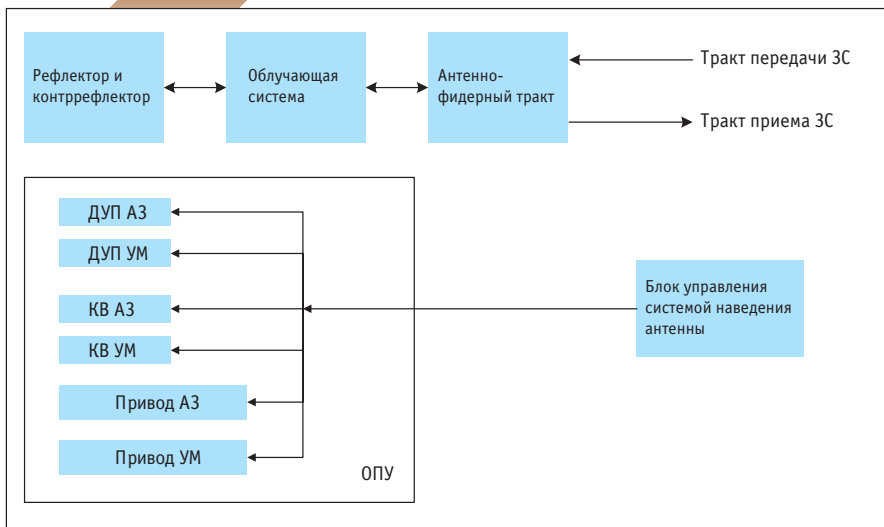


Рис. 2. Обобщенная структурная схема АС

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ВЕЩАНИЯ

электромагнитной совместимости (ЭМС) и недопустимости создания помех другим системам связи. Поэтому определяющими факторами являются:

- ограничения на ширину ДН;
- ограничения на величину максимальной спектральной плотности мощности.

Во втором случае возможно уменьшение диаметра АС по сравнению с первым ограничением, но при этом необходимо применять дополнительные технические средства. Так, использование шумоподобных сигналов (ШПС) позволяет путем «размазывания» спектра сигнала в несколько раз на передающем конце радиолинии и применения алгоритма свертки сигнала на приемном конце, использовать антенны до 0,6 м. Минимальный разрешенный диаметр антенн в сетях ФСС – 1,2 м.

Структурная схема и основные параметры антенных систем

Обобщенная структурная схема АС представлена на рис. 2, где ДУП АЗ и ДУП УМ – датчики углового положения по азимуту и углу места, КВ АЗ и КВ УМ – концевые выключатели по азимуту и углу места, привод АЗ и привод УМ – электромеханические или ручные приводы по азимуту и углу места.

В зависимости от назначения антенные системы могут включать [8]:

- зеркальную систему (основной рефлектор, контррефлектор, опорные конструкции для подвески контррефлектора и установки облучателя);
- облучающую систему;
- волноводный тракт (фильтры режекторные, полосовые, элементы волноводных линий, устройства сложения и разделения СВЧ стволов и др.);
- дегидратор или устройство для осушки волноводного тракта;
- опорно-поворотное устройство (ОПУ) с исполнительными механизмами приводов поворота;
- систему наведения (аппаратура наведения, датчики углового положения, концевые выключатели);
- систему антиобледенения (основного рефлектора, контррефлектора, облучателя).

Основными параметрами АС являются:

- полоса рабочих частот;
- коэффициент усиления;
- добротность приемной системы (G/T);
- ширина ДН по уровню половинной мощности (-3 дБ);
- уровень боковых лепестков;
- развязка между входом/выходом (для приемопередающих антенн);
- потери на неточность наведения;

- коэффициент эллиптичности (для ЗС, работающих в системах с поляризационным уплотнением).

Необходимо отметить, что параметры антенны в основном определяют и параметры ЗС в целом. Так из 20 проверяемых при допуске ЗС к работе через ИСЗ параметров 10 являются параметрами антенной системы.

На параметры АС наибольшее влияние оказывают мокрый снег и дождь. Для предотвращения их негативного влияния предпринимаются следующие меры (в случае возможности их применения):

- используются антенны офсетного типа – в достаточно большом диапазоне углов места рефлектор антенны имеет близкое к вертикальному положение, что не позволяет скапливаться снегу и воде;
- используется система антиобледенения – рефлектора или его части, контррефлектора, облучающего устройства;
- применяется система сдува воды с раскрыва облучателя – в основном для АС больших диаметров (телепорты, hub-станции).

Измерение характеристик антенных систем после их изготовления осуществляется в дальней зоне, радиус которой (R) определяется выражением

$$R > 2 \times D^2 / \lambda,$$

где D – диаметр антенны, λ – длина волны.

Следует отметить, что создание полигона или безэховой камеры для измерения антенных систем в дальней зоне (а не отдельных ее компонентов) является очень дорогостоящей операцией. В связи с этим практически ни один зарубежный производитель антенн (включая Andrew, Vertex, Patriot и др.), в отличие, например, от отечественного производителя ОАО «НПО ПМ Развитие», не производит испытания антенн в сборе перед отправкой антенны. Испытания проходят только облучающие устройства. При этом, к сожалению, в ответ на справедливый вопрос – а как же с параметрами



Спонсор рубрики

всей антенны в целом? – приходится слышать, что «параметры обеспечиваются конструкцией». Что не может удовлетворить технического специалиста.

Цены и производители

С появлением самых первых публикаций по спутниковой связи и практически во всех последующих стоимость АС аппроксимируется аналитическими выражениями, в которых она растет пропорционально квадрату диаметра антенны. Например, в [1] приведено следующее выражение для стоимости сооружения АС:

$$K_A = a_1 + a_2 D_a^2,$$

где a_1 и a_2 – некоторые коэффициенты.

При ориентировочной оценке стоимости АС можно воспользоваться формулой, позволяющей по известной стоимости антенны с определенным диаметром получить оценку стоимости антенны

с другим диаметром. Здесь следует иметь в виду, что стоимость антенны возрастает с ростом диаметра примерно в степени 2,3 – 2,6:

$$C_2 = C_1 \times (D_2/D_1)^{2,3-2,6},$$

где C_1 – стоимость (известная) антенного поста с антенной диаметром D_1 ;

C_2 – стоимость (ожидаемая) антенного поста с антенной диаметром D_2 .


На рис. 3 приведен график стоимости АС от ее диаметра на базе реальных (действующих на сегодняшний день на российском рынке) данных по стоимостям АС, в котором учтены усредненные данные по стоимостям антенн отечественного производства (кривая 1). Также на этом рисунке показан график, соответствующий второй формуле (кривая 2) для ориентировочного расчета стоимости антенны.

В России производством антенных систем для ЗС спутниковой связи занимаются достаточ-

ное большое число предприятий: ОАО «НПО ПМ Развитие», САТИС-ТЛ-94, ГНПП «АТС» (завод г. Дубна), «Полюс», ОАО «Радиофизика» и другие.

Однако, рассматривая ряд производимых в России антенн, легко заметить отсутствие настоящего серийного производства приемопередающих антенн 1,2 и 1,8 м, которые на сегодняшний день являются самыми востребованными в составе VSAT-терминалов любых поставляемых в Россию систем (HNS, Gilat, Viasat, EMS и других).

К наиболее применяемым в России антеннам зарубежных производителей можно отнести Andrew, Patriot и Prodelin для антенн небольшого диаметра (от 1,2 до 2,4 м), Vertex и Andrew для антенн с диаметром рефлектора 3,8 м и более. Отметим что в отличие от приемных антенн спутникового ТВ, практически все импортные связные антенны американского производства. К антеннам бурно развивающейся китайской промышленности



Компания Информационная Индустрия

- ◆ Профессиональная радиосвязь
- ◆ Спутниковая связь
- ◆ Решения для АСУТП/АСКУЗ/АСКУГ
- ◆ Подземная связь
- ◆ Защита информации
- ◆ Беспроводной доступ
- ◆ Программные приложения

СВЯЗЬ - ЭКСПОКОММ - 2007. 14 - 18 МАЯ
ПАВИЛЬОН 2. ЗАЛ 1 СТЕНА 21С36

Москва, ул. Правды, д. 8, корп. 13
тел.: (495) 609-6150, факс: (495) 609-6160
e-mail: ii@informind.ru, www.informind.ru



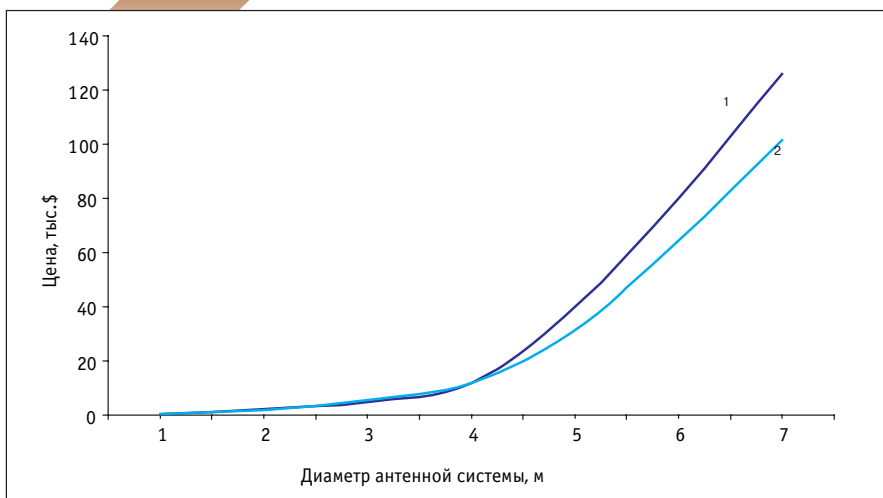


Рис. 3.
Стоимость
антенных систем

пока можно отнести только АС производства Sumap.

Основные производители мобильных антенн – SWE-DISH, L3 Communications, GigaSat, Advent, ND SatCom, а также некоторые модели Patriot и Vertex. Основным российским производителем АС типа DriveAway является компания ООО «Центр Спутниковой Связи».

Тенденции

Технологическое развитие антенной техники:

1) оптимизация облучающих систем и повышение коэффициента использования поверхности антенн, а соответственно, повышение добротности и коэффициента усиления при том же диаметре, что повышает пропускную способность системы связи в целом;

2) снижение уровней боковых лепестков;

3) повышение поляризационных характеристик для работы в системах с поляризационной развязкой.

Антенны VSAT-терминалов по стоимости занимают около 20% всего рынка АС. При этом доля АС в стоимости ЗС постоянно растет и составляет в настоящее время для VSAT-терминалов 40 – 50%. Объяснение этому достаточно простое. Антенные системы – это металлоемкое производство в совокупности с прецизионным изготовлением

и наукоемким математическим обеспечивающим аппаратом. Поэтому в отличие от радиочастотного оборудования и особенно от микропроцессорной техники, входящей в состав оборудования ЗС, ожидать сильного снижения стоимости АС не приходится.

Тенденция и стремление к уменьшению диаметра используемых антенн с точки зрения получения максимальной пропускной способности системы – процесс нежелательный. Этот вопрос уже обсуждался на страницах журнала [6] и приходится констатировать, что снижение диаметров антенн VSAT станций продиктовано не технически обоснованными тенденциями, а продвигается поставщиками систем спутниковой связи и продиктовано их стремлением максимально снизить стоимость ЗС с целью увеличения продаж. Хотя основным вопросом для оператора является не первоначальные разовые затраты, а оптимальная (минимальная) стоимость системы за весь период эксплуатации системы и объективно должна применяться «согласованная антенна», которая обеспечивает равное использование и частотного, и энергетического ресурса борта, и, соответственно, максимальную пропускную способность ретранслятора. В настоящее время многие операторы для снижения занимаемой на спутнике полосы частот переходят на многофазные методы модуляции

(8 PSK, 16 QAM), что приводит к увеличению диаметра «согласованной» антенны. Расчеты показывают, что практически никогда минимальная стоимость не будет достигнута при использовании минимального диаметра антенны VSAT-терминала. Так, в [6] показано, что в 90% случаев в современных системах связи при эксплуатации сети в течение 10 лет экономически целесообразно использовать антенны 3,7 м.

В статье [5] уже приводились данные по тенденциям развития и объемам российского рынка АС спутниковой связи. На прошлый год по экспертным оценкам общий объем рынка достигал примерно 8 млн долл., из которых в России остается примерно 40%.

Прогнозируется, что к 2015 г. количество станций VSAT достигнет 75 тыс. Это означает установку до 7 тыс. VSAT-станций в год и увеличение общего объема рынка антенных систем фиксированной спутниковой связи в несколько раз и достижение оборота до 15 – 25 млн долл. в год.

А где же наши производители? Кто из них сможет организовать реальное серийное производство с числом выпускаемых антенн 1000 штук и более в год? Кто составит конкуренцию западным и азиатским производителям? ■

Литература

1. Справочник по спутниковой связи и вещанию/Под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1983.
2. Покрас А.М., Сомов А.М., Цуриков Г.Г. Антенны земных станций спутниковой связи. Москва, «Радио и связь», 1985.
3. Сазонов Д.М. «Антенные устройства СВЧ», «Высшая школа», 1988.
4. Фролов О.П. Антенные системы земных станций спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 2000. 320 с.
5. Бобков В., Якушев В. Мобильные решения в спутниковой связи. Connect!, 2006, № 6, с. 100 – 102.
6. Бобков В. Антенны земных станций спутниковой связи. Выбор оператора. Connect!, 2006, № 4, с. 100 – 103.
7. Бобков В. и др. Антенны для спутниковых и радиорелейных систем связи производства ОАО «НПО ПМ Развитие» Connect!, 2004, № 5, с. 90 – 92.
8. Регламент ГП КС Модуль 41.