

# Об антеннах и системах

## О формировании требований к современным антеннам для сетей VSAT

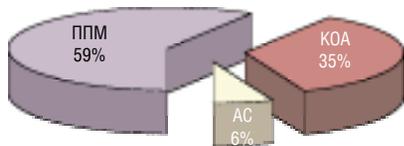
**В.Ю. БОБКОВ**, к.т.н., технический директор ООО «АРД Сатком Сервис»

**А.М. КИСЕЛЕВ**, генеральный директор ООО «АРД Сатком Сервис»

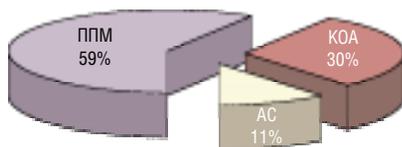
**М.В. ЕФИМОВ**, главный менеджер радиотехнического центра NEC

**В данной статье мы постараемся дать обзор состояния рынка и применений VSAT-технологий в России и определить направления развития антенных систем земных станций.**

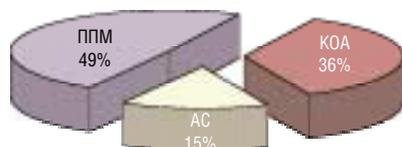
Соотношение цен на составляющие ЗС (1997 г.)



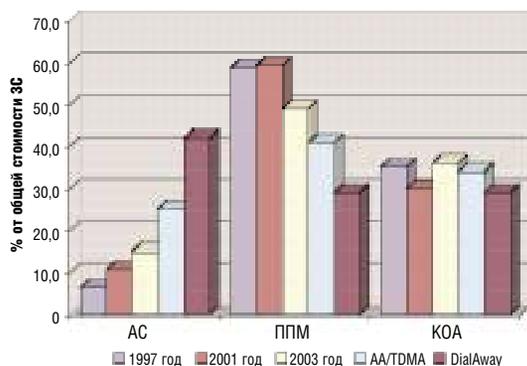
Соотношение цен на составляющие ЗС (2001 г.)



Соотношение цен на составляющие ЗС (2003 г.)



**Рис. 1–3.** Соотношение цен на составляющие ЗС VSAT



**Рис. 4.** Составляющие оборудования VSAT в открытых и закрытых системах

**Р**ассмотрим антенные системы спутниковой связи в различных плоскостях:

- развитие в историческом плане;
- применение в различных типах сетей спутниковой связи;
- применение в различных типах систем спутниковой связи.

Антенные системы, являясь частью систем более высокого уровня (земных станций, систем спутниковой связи и вещания), развиваются так же, как и сама система — меняются решаемые задачи и выполняемые функции системы, меняется и облик антенных систем.

Основную свою функцию — преобразование радиоволн в электрические токи и напряжения — антенные системы должны выполнять независимо и при постоянно изменяющихся требованиях телекоммуникационного рынка.

### ● Историческое развитие

Суть произошедших в последние годы изменений на рынке спутниковых телекоммуникаций, сводится к следующему: массовый переход от многофункциональных корпоративных сетей к узкоспециализированным, решающим конкретную задачу (телефония, передача данных, телевидение, интернет). Каждая задача формирует свои специфические требования к земным станциям VSAT и оборудованию, в нее входящему.

Чтобы показать роль и место антенной системы в составе ЗС, рассмотрим соотношение цен на ее составляющие по состоянию на 1997, 2001 и 2003 гг. Земные станции условно подразделяются на три подгруппы оборудования: антенные системы, приемопередающий модуль, каналобразующая аппаратура.

Если в 1997 г. удельный ценовой вес антенны в составе типовой ЗС

составлял 6%, то в 2001-м — 11%, в 2003-м — 15% (рис. 1–3).

Для специализированных систем (DialAway — малоканальная телефония, NEXTAR AA/TDMA — передача данных) эта доля еще больше (рис. 4) и достигает 30–40%.

Таким образом, доля антенн в стоимости станций постоянно увеличивается. Это происходит прежде всего за счет значительного сокращения стоимости микропроцессорной техники и элементной базы в хорошо освоенных диапазонах частот (С и Ku), аналогично ситуации на компьютерном рынке. Металл, в свою очередь, дешевле не становится.

Это изменение в «расстановке сил», с точки зрения производителей антенных систем для сетей VSAT, можно считать основным за последние пять лет, и оно должно быть проанализировано и учтено всеми изготовителями антенной техники.

### ● Сети

Рассматривая технические аспекты работы ЗС типа VSAT, можно выделить две группы станций для работы в двух типах сетей: работа в замкнутой системе и работа в открытой системе. Примеры замкнутых систем и их производителей у всех, что называется, на слуху — ViaSat, Gilat, Hughes.

Принципиальное отличие этих двух типов земных станций заключается в соответствии принципу «ППМ» — «последовательной постепенной модернизации», который для открытых систем представляет возможность планомерного развития системы по мере морального старения оборудования, появления новых типов аппаратуры и необходимости решения новых задач [1–2]. Устанавливая замкнутую систему, оператор связи и пользователь должны осознавать,

что период морального старения оборудования составляет от 3 до 5 лет, и через это время их система уже не будет соответствовать современным текущим техническим требованиям.

Интуитивно понятно, что вариант развития системы как открытой является более профессиональным, более очевидным и, в конечном счете, более экономически выгодным и поэтому должен быть более предпочтительным при построении сетей. Однако в большинстве случаев в создание сети вмешиваются «менталитетные» факторы.

Сейчас в России широко распространена покупка систем «под ключ», чего раньше не наблюдалось. Причем речь идет даже о том, что можно и нужно производить и покупать у нас – антенные системы, аппаратные стойки, делители/сумматоры и т. д.

Ситуацию можно объяснить нежеланием или неспособностью заказчика и интегратора сети приложить усилия для нормального грамотного проектирования сети связи и, таким образом, оптимизировать затраты на ее создание и, с другой стороны, создать систему, четко отражающую структуру того бизнеса, для которого эта сеть построена.

Мы наблюдаем «проглатывание» того, что преподносят нам в качестве готовых решений западные поставщики (а весь процесс проектирования сетей спутниковой связи свелся к простому акту «купил-продал», как в магазине). Несмотря на то, что эти сети были спроектированы именно под их запросы, в соответствии с их пониманием ситуации в стране, регионе, под их уровень развития инфраструктуры и отраслей народного хозяйства, под их климатические условия и т. д.

Наконец, системы всех крупнейших производителей (ViaSat, Gilat, HNS) опираются на определенную модель, разработанную проектировщиками этих систем под их конкретные представления о требуемых услугах связи, топологии сетей, распределениями потребителей (по возрасту, достатку, интересам и т. п.).

К сожалению, в нашей стране подобные системы практически не разрабатываются. Можно назвать только «Банкир» и систему InetSat, созданную компанией «САИТ» (г. Зеленоград) по стандарту DVB-RCS. Но в любом случае остается вопрос адаптации любой из перечисленных систем к работе в России. Необходимость его решения подтверждается, в частности, в публикациях по результатам эксплуатации сети Центрального Банка РФ и [3]. Это достаточно сложная и наукоемкая задача.

Для изменения ситуации необходима агрессивная маркетинговая политика по захвату отечественного рынка, вплоть до проведения в жизнь законодательных актов по ограничению ввоза и применению иностранной продукции, аналог которой производится на внутреннем рынке и которая имеет действительно конкурентоспособные показатели по качеству и цене. Эту мысль поддерживают многие отечественные производители высококачественного оборудования. Именно к такой продукции относятся антенные системы спутниковой и радиорелейной связи НПО «ПМ-Развитие» [4].

В России рынок VSAT-сетей развивается относительно медленно – на сегодняшний день, по различным оценкам, общее количество 3С VSAT в России составляет от 2 до 2,5 тыс., однако в реализации находится достаточно много крупных проектов. Одно из положительных изменений в этом направлении – решение о введении упрощенной процедуры получения разрешительных документов для земных станций спутниковой связи VSAT в Ku-диапазоне, принятое 24 февраля 2004 г. на заседании Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ).

Потребительские свойства современных антенн для VSAT-систем можно охарактеризовать следующим образом:

Диаметр антенны, м	1,2, 1,5, 1,8, 2,4
Диапазон рабочих частот	Стандартные C- и Ku-диапазоны Расширенные C- и Ku-диапазоны
Опция	Работа с поляризационным уплотнением

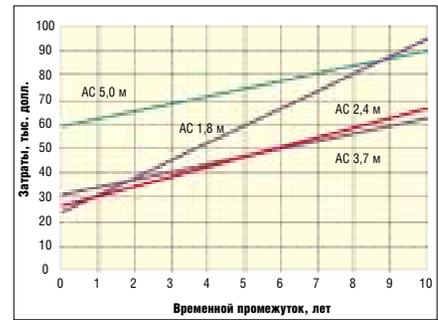


Рис. 5. Оптимизация затрат на создание и эксплуатацию спутниковой сети в течение заданного времени

Таблица 1

ЭИИМ, дБВт	Усилитель, Вт	Антенна, м
42	1	1,8
45	1	1,8
48	2	2,4
51	5	3,7
54	10	2,4
57	20	3,7
60	40	2,4
63	75	3,7
66	150	3,7
69	350	5,0
72	350	5,0
75	350	7,0

Таблица 2

ЭИИМ, дБВт	Усилитель, Вт	Антенна, м
42	1	2,4
45	1	3,7
48	2	3,7
51	5	3,7
54	10	3,7
57	20	3,7
60	40	3,7
63	75	3,7
66	150	3,7
69	350	3,7
72	350	5,0
75	350	7,0

Приведенные расчеты пропускной способности каналов полносвязных VSAT-сетей через КА «Экспресс» [5] в зависимости от диаметра антенны показывают, что обеспечивается достаточно высокая пропускная способность станции, удовлетворяющая потребности в телефонном трафике, передаче данных и Интернете. Так, при работе 1,2 на 1,2 м обеспечивается скорость до 60 кбит/с, 1,8 на 1,8 м – до 420 кбит/с.

Однако и здесь все не так просто. Произведенные расчеты [6] оптимизации затрат на создание и эксплуатацию спутниковой сети в течение заданного времени, в которых основными составляющими оптимизации являются антенная система + усилитель мощности,

## ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ПРИМЕНЕНИЯ АНТЕНН

Рассмотрим два интересных случая применения антенных систем, которые хоть и являются частными, но заслуживают отдельного обсуждения.

Первый связан с возможностью широкого распространения двухдиапазонной антенны порядка 1,5 м в необычной конфигурации:

- прием в С-диапазоне с круговой поляризацией;
- передача в Ku-диапазоне с линейной поляризацией.

К преимуществам такой антенны относятся:

- возможность использования уже действующих телепортов в С-диапазоне и имеющихся потоков DVB-S, а также достаточное распространение массовых сетей приемных станций;
- переоснащение станции в приемопередающую, не требующее долгой процедуры получения разрешительных документов (с учетом указанного решения ГКРЧ).

Второй случай – работа в системе «Ямал» с поляризационной развязкой. В работах [7–8] уже были определены требования по уровню поляризационной развязки в радиоприемниках и характеристиках антенн для работы в таких системах. Для 100%-ного использования ресурса спутников «Ямал-100» и «Ямал-200» в С-диапазоне коэффициент эллиптичности ( $K_3$ ) антенн ЗС должен быть не менее 0,94, кроме того, требуется введение устройства коррекции поляризационных характеристик антенн ЗС.

Какова ситуация на сегодняшний день?

1) Устройства коррекции поляризационных характеристик антенн не разработаны.

2) Антенны с  $K_3$  не менее 0,94 для VSAT-сетей выпускает только ОАО «НПО «ПМ Развитие» (г. Железногорск). Расчеты [8] систем с поляризационным уплотнением (на примере СССР «Ямал-200») показывают, что при использовании существующего оборудования частотно-энергетический ресурс КА может быть реализован в настоящее время максимум на 65%, т. е. 35% ресурса будет недоиспользоваться.

Было бы логичным, что все станции, работающие в С-диапазоне в СССР «Ямал», как минимум, оснащались антеннами НПО «ПМ Развитие». Такого не происходит, и основной довод – более высокая цена антенны с улучшенными поляризационными характеристиками.

Анализ и соответствующие экономические оценки приведены в публикации [5], где для примера показаны результаты расчета окупаемости применения в системе с поляризационным уплотнением антенн 2,4 м с различным коэффициентом эллиптичности и типичного для VSAT-сетей радиоканала QPSK 7/8 для различных скоростей передачи информации от 32 до 2048 кбит/с. Напомним лишь, что за счет 100%-ного (двойного) использования частотного ресурса даже для канала со скоростью всего 32 кбит/с увеличение стоимости антенны с улучшенными поляризационными характеристиками окупается примерно за 10 месяцев, а для канала 512 кбит/с – за месяц (рис. 6).

Таким образом, кажущаяся экономия на антеннах еще на этапе проектирования сети на самом деле приводит к созданию в перспективном плане экономически неэффективной системы.

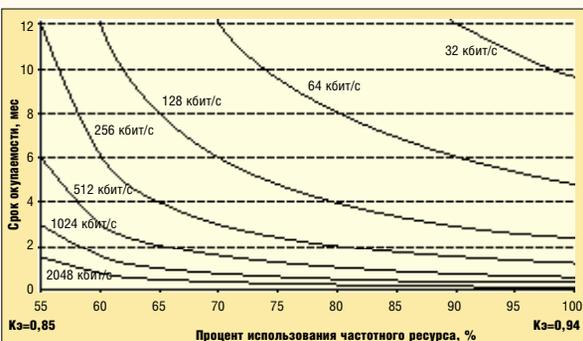


Рис. 6. Окупаемость применения в системе с поляризационным уплотнением антенны 2,4 м с  $K_3$  от 0,85 до 0,94

показывают, что для наиболее эффективного использования частотно-энергетического ресурса и минимизации затрат пользователей сети необходимы антенные системы большего диаметра, чем было указано выше.

На основе данных о сложившейся стоимости оборудования на рынке спутниковой связи в России получены значения минимальной стоимости конфигурации «усилитель мощности – антенна» для реализации заданного значения

ЭИИМ (эффективной изотропно-излучаемой мощности) ЗС в диапазоне от 41,7 до 77,8 дБВт в С-диапазоне. Диапазон рассмотренных значений ЭИИМ покрывает практически все потребности при создании спутниковых сетей в С-диапазоне и соответствует скорости передачи информации от 9,6 кбит/с до 72 Мбит/с. Это определяет практическую применимость полученных данных. С учетом многообразия используемого оборудования данный вопрос дос-

таточно актуален, однако при создании систем спутниковой связи его рассмотрением зачастую пренебрегают, и выбор оборудования происходит «на глазок».

Минимизируя первоначальные затраты, получаем результаты (табл. 1), которые показывают, что никакой закономерности нет, и это набор полученных разовым, несистемным методом данных.

Совсем иная ситуация – при учете и рассмотрении всех влияющих на экономические показатели факторов.

На рис. 5 приведены данные по стоимости эксплуатации радиоканала с учетом всех факторов, включая аренду частотно-энергетического ресурса спутника. Очевидно, что далеко не всегда (и приведенные графики доказывают это) минимальное по первоначальным затратам техническое решение обеспечивает минимальные расходы в течение определенного срока эксплуатации системы.

Так, при 10-летней эксплуатации и работе через КА «Экспресс» в С-диапазоне для разных значений ЭИИМ (соответственно, скоростей передачи информации) оптимальными оказываются конфигурации ЗС, приведенные в табл. 2.

Данные, приведенные в табл. 2, дают нам возможность понять правила, которым необходимо следовать при создании линий и сетей связи. В упрощенном варианте они формулируются следующим образом:

- для значений ЭИИМ, начиная от 45 дБВт и до 69 дБВт включительно, наращивание пропускной способности ЗС должно осуществляться за счет повышения выходной мощности усилителя мощности (выбора усилителя большего номинала);
- начиная с 72 дБВт и выше наращивание пропускной способности должно осуществляться за счет применения антенн большего диаметра.

Кроме того, эти результаты заставляют обратить внимание на еще один аспект: в 90% случаев в системе должны применяться антенны диаметром 3,7 м.

Это так называемая согласованная антенна с данным спутником

связи, т. е. антенна, которая обеспечивает оптимальное использование и частотного, и энергетического ресурса борта, а, соответственно, и максимальную пропускную способность (емкость) ретранслятора.

Для спутников «Горизонт» согласованными в С-диапазоне являются антенны 5,0–7,0 м, для первых КА «Экспресс» – около 4,5 м, для новых КА «Экспресс» и «Ямал-100/200» – около 3,7 м.

Однако на практике – из-за отсутствия алгоритмически методической базы у разработчиков сетей связи – мы наблюдаем стремление любыми средствами уменьшить диаметр антенны, вместо применения согласованной со спутником антенны.

Таким образом, использование антенн диаметром 1,2, 1,5, 1,8 и даже 2,4 м является на сегодняшний день своеобразной «модой» в спутниковой связи, не подкрепленной технико-экономическими расчетами и зачастую просто навязываемой поставщиками систем.

\*\*\*

Сделаем некоторые выводы относительно непосредственно антенных систем и оборудования ЗС:

- начиная примерно с 2000 г. изменился подход к предоставлению услуг спутниковой связи и построению сетей;
- изменились VSAT-технологии, зеркально отобразив преобразования в своей структуре;
- сформировались новые требования к оборудованию, в том числе к антенным системам.

Рассмотренные в статье примеры и ситуации доказывают, что все требования и к антенным системам, и к другим составляющим ЗС должны быть подкреплены созданием строгой теоретической и методической базы как для оптимального использования частотно-энергетического ресурса спутников, так и для создания экономически эффективных систем спутниковой связи. ◀

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нагорнов В. И. Архитектура радиальных радиосетей связи // Техника средств связи: Сборник. – Серия «Системы связи». 1989. Вып. 3.
2. Нагорнов В. И. Архитектура радиолиний связи // Там же.
3. Бобков В. Ю., Ефимов М. В., Киселев А. М. Системы VSAT NEXSTAR в сетях российских операторов // Connect! 2003. № 11. С.130–132.
4. Бобков В. Ю., Ефимов М. В., Киселев А. М. Антенны для спутниковых и радиорелейных систем связи производства ОАО «НПО ПМ Развитие» // Connect! 2004. № 5. С. 51–53.
5. Анпилогов В. Р. Полнофункциональные сети VSAT. Обзор технологий и рынка оборудования // Технологии и средства связи. 2004. № 2. С. 114–116.
6. Бобков В. Ю., Ефимов М. В., Киселев А. М. Выбор оптимальных параметров земных станций при проектировании спутниковых линий связи // Connect! 2004. № 3. С. 62–64.
7. Бобков В. Ю., Ефимов М. В., Киселев А. М., Нагорнов В. И. Оценка требований по кросс-поляризационным характеристикам антенн земных станций спутниковой связи // Там же. № 2. С. 50–54.
8. Бобков В. Ю., Ефимов М. В., Киселев А. М. Использование поляризационного разделения сигналов в системах спутниковой связи России // Там же. № 4. С. 120–123.