

СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ:

Выбор оптимальных параметров земных станций при проектировании спутниковых линий связи

В настоящее время в России ведется активное создание сетей спутниковой связи и телевидения в интересах различных заказчиков. При этом у заказчика возникает законное желание минимизации стоимости сети как при развертывании, т.е. первоначальном вложении средств, так и при ее эксплуатации и предоставлении услуг в течение определенного промежутка времени. В связи с многообразием используемого оборудования данный вопрос довольно актуален, однако недостаточно освещен в печати.

В данной статье рассмотрен вариант организации спутниковой радиолинии в С-диапазоне с выходом периферийной земной станции (ЗС) на действующий телепорт с точки зрения оптимизации параметров ЗС, а именно – пары «антенная система + усилитель мощности» (АС-УМ) с учетом сложившейся на сегодняшний день ситуации на рынке оборудования спутниковой связи в России.

В. БОБКОВ, М. ЕФИМОВ, А. КИСЕЛЕВ

Принимается, что системный вопрос с используемыми в сети сигналами (типом модуляции, кодирования и т. д.) и спутником-ретранслятором решен и в данной работе не рассматривается.

Для определенности произведен расчет в С-диапазоне, хотя алгоритм применим для любого диапазона, в том числе Ku.

Как известно, параметрами, определяющими энергетику радиолинии, являются эффективная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ) и добротность (G/T) земной станции. Отметим, что применяемые в ЗС малошумящие усилители и LNB имеют ТШ от 35 до 55К и вносят несущественные изменения в параметры радиолинии (G/T). Как правило, их стоимость составляет не более 3% стоимости всего оборудования ЗС. Таким образом, основными определяющими параметрами при данном рассмотрении являются диаметр антенны и номинальная мощность усилителя мощности.

Для оптимизации конфигурации и минимизации стоимости земной станции и организуемого радиоканала в течение заданного промежутка

времени использованы усредненные тарифы ФГУП «Космическая связь» и ОАО «Газком» на аренду частотного ресурса и соответствующие коэффициенты в зависимости от диаметра используемой антенны ЗС.

В расчетах принято:

- модуляция в спутниковом канале – QPSK;
- коэффициент кодирования – 7/8;

Рассмотрение взаимного влияния перечисленных параметров позволяет написать алгоритм получения оптимального соотношения антенны и усилителя мощности.

Требуемая ЭИИМ ЗС определяется энергетическим расчетом для определенной скорости передачи информации исходя из известных параметров ответной стороны радиолинии. Задача формулируется в минимизации стоимости пары АС-УМ для заданного значения ЭИИМ и может быть решена следующим образом.

(Отметим, что используемые экономические показатели носят приблизительный характер и приведены для демонстрации алгоритма вычисления.)

● Минимальные первоначальные затраты

На основе данных сложившегося рынка оборудования спутниковой связи в России, полученных экспертным путем, построены зависимости стоимости антенных систем от диаметра рефлектора и усилителей мощности от номинала выходной мощности (рис. 1, 2).

Для использования этих данных в дальнейших расчетах, приведем их к такому виду, чтобы ряд антенн и усилителей мощности совпадали по значению приращения коэффициента усиления КУ и выходной мощности РВЫХ (табл. 1).

Теоретически крайние значения ЭИИМ следующие:

- минимальное 35,70 дБВт – соответствует антенне 1,77 м и усилителю 0,5 Вт;
- максимальное 77,78 дБВт – соответствует антенне 9,97 м и усилителю 256 Вт.

С шагом 3 дБ получаем 13 градаций уровня ЭИИМ при ряде из 6 типоразмеров АС и ряде из 8 номиналов УМ. Количество возможных пар АС-УМ для каждого значения ЭИИМ = const приведено в табл. 2.

Для каждого указанного в табл. 2 значения ЭИИМ = const строится график зависимости стоимости пары

Таблица 1

| Антенна (расчет), м | ΔКу, дБ | Антенна (номинал), м | Усилитель (расчет), Вт | Δ, дБ | Усилитель (номинал), Вт |
|---------------------|---------|----------------------|------------------------|-------|-------------------------|
| | | | 0,5 | | 5 |
| | | | 1 | 3,0 | 5 |
| 1,77 | | 1,8 | 2 | 3,0 | 5 |
| 2,50 | 3,0 | 2,5 | 4 | 3,0 | 5 |
| 3,54 | 3,0 | 3,7 | 8 | 3,0 | 10 |
| 5,0 | 3,0 | 5,0 | 16 | 3,0 | 20 |
| 7,06 | 3,0 | 7,0 | 32 | 3,0 | 50 |
| 9,97 | 3,0 | 12,0 | 64 | 3,0 | 70 |
| | | | 128 | 3,0 | 150 |
| | | | 256 | 3,0 | 350 |

Таблица 2

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ЭИИМ, дБВт | 41.70 | 44.71 | 47.72 | 50.72 | 53.72 | 56.75 | 59.76 | 62.77 | 65.77 | 68.79 | 71.79 | 74.78 | 77.78 |
| Число точек | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

АС-УМ от диаметра антенны и соответствующего ему номинала усилителя мощности для получения заданного значения ЭИИМ. В стоимость пары также включены усредненные стоимости монтажа + доставки и постоянной части входящего в состав ЗС оборудования (модемы, преобразователи частоты, МШУ и т. д.). Полученные графики представлены на рис. 3.

Полученные варианты конфигурации ЗС при минимальной стоимости АС+УМ для заданного значения ЭИИМ показаны в табл. 3 и наглядно представлены на рис. 4.

● Эксплуатация в течение заданного промежутка времени

Полученные выше результаты интересны, прежде всего, с точки зрения минимизации первоначальных разовых затрат на организацию радиолинии.

Рассмотрим минимизацию затрат с учетом аренды частотного ресурса в течение всего заданного срока существования ра-

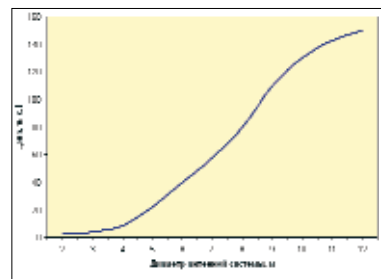


Рис. 1. Стоимости антенных систем

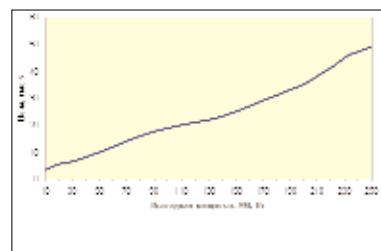


Рис. 2. Стоимости усилителей мощности

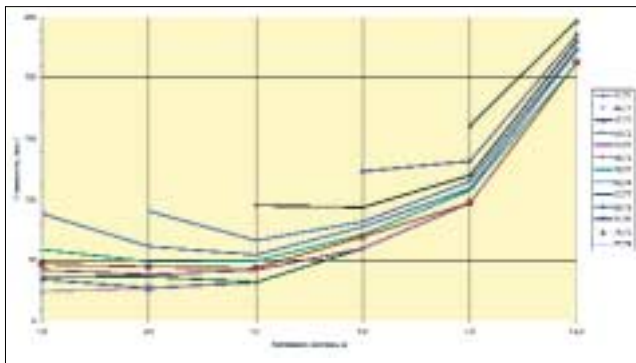


Рис. 3. Стоимость пары АС-УМ для различных значений ЭИИМ

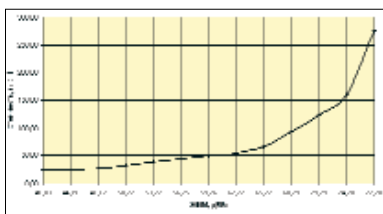


Рис. 4. Минимальная стоимость ЗС для заданной ЭИИМ

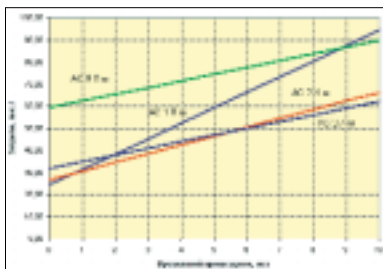


Рис. 5. Суммарные затраты на радиолинию для ЭИИМ 44,7 дБВт

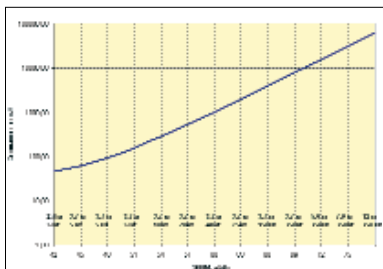


Рис. 6. Минимальные затраты при 10-летней эксплуатации радиолинии и оптимальная конфигурация ЗС для разных значений ЭИИМ

конфигурацию АС+УМ (в смысле минимальной стоимости при эксплуатации в течение заданного времени) (первоначальные затраты плюс аренда частотного ресурса), для 10-летней эксплуатации радиолинии для всех указанных выше значений ЭИИМ (при реализации максимальной пропускной способности для каждого значения ЭИИМ).

Аналогичным образом могут быть определены оптимальные конфигурации для любого временного интервала.

диолинии, который определяется самим заказчиком, исходя из реализации собственных бизнес-планов.

Построим зависимости суммарных затрат на радиолинию с учетом стоимости первоначальных разовых затрат и аренды частотного ресурса в течение N лет эксплуатации.

Для примера на рис. 5 приведены графики различных вариантов конфигурации ЗС для ЭИИМ = 44,7 дБВт.

Как мы видим, не всегда минимальная первоначальная стоимость ЗС обеспечивает минимальные затраты за период эксплуатации.

На рис. 6 приведены расчетные данные, определяющие оптимальную

Таблица 3

| ЭИИМ, дБВт | Конфигурация минимальной стоимости | | Стоимость АС+УМ+А, тыс. \$ долл. |
|------------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|
| | Антенна, м | УМном, Вт | |
| 41,70 | 1,8 | 5 | 24,3 |
| 44,71 | 1,8 | 5 | 24,3 |
| 47,72 | 2,5 | 5 | 26,3 |
| 50,72 | 3,7 | 5 | 31,7 |
| 53,72 | 2,5 | 20 | 38,3 |
| 56,75 | 3,7 | 20 | 43,4 |
| 59,76 | 2,5 | 70 | 49,0 |
| 62,77 | 3,7 | 70 | 54,1 |
| 65,77 | 3,7 | 150 | 65,9 |
| 68,79 | 5,0 | 150 | 93,5 |
| 71,79 | 5,0 | 350 | 122,8 |
| 74,78 | 7,0 | 350 | 160,8 |
| 77,78 | 12,0 | 350 | 276,0 |

Примечание. А – постоянная, включающая дополнительную постоянную часть

● Выводы и рекомендации

1. На основе данных о сложившейся стоимости обслуживания на рынке спутниковой связи в России получены значения минимальной стоимости конфигурации «усилитель мощности – антенна» для реализации заданного значения ЭИИМ ЗС в диапазоне от 41,7 до 77,8 дБВт в С-диапазоне.

Диапазон рассмотренных значений ЭИИМ перекрывает практически все потребности при создании спутниковых сетей в С-диапазоне, что определяет ценность полученных результатов.

2. Рассчитаны минимально возможные затраты на аппаратуру (т.е. минимальные разовые затраты) для получения заданной ЭИИМ, определяющей максимальную скорость передачи информации:

* заказчик сразу же определяет стоимость первоначальных затрат на организацию радиолинии требуемой скорости передачи информации (см. рис. 4);

* в зависимости от своих потребностей и возможностей заказчик может выбирать скорость передачи информации в организуемом канале путем варьирования ЭИИМ (конфигурацией ЗС). Имея данный алгоритм, он с «открытыми глазами» идет на покупку предлагаемого оборудования;

3. Получены минимально возможные затраты на радиоканал при времени эксплуатации от 1 до 10 лет. На основании данных о зависимости арендной платы от диаметра антенны определены минимальные стоимости конфигурации «антенна – усилитель» мощности при 10-летней эксплуатации (см. рис. 6).

4. Для пользователя может быть также интересна задача минимальной стоимости системы за определенное время. Для каждого интервала эксплуатации можно сразу определить соответствующую ЭИИМ и скорость передачи информации (см. рис. 5). Полученные результаты позволяют оптимизировать конфигурацию ЗС для конкретного периода, определяемого заказчиком. ◀