

**Мамыт Ботақөз Асанқызы**

[mamytovabota@gmail.com](mailto:mamytovabota@gmail.com)

Студент 3 курса специальности «Космическая техника и технологии»

ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель — Калманова Динара Мирзабековна

На данный момент существуют большое количество компаний, как национальных, так и частных, которые занимаются созданием ССС. Одна из них компания Planet Labs. Planet Labs, Inc (ранее Cosmogia, Inc) — частная американская компания, расположенная в Сан-Франциско, Калифорния. Planet Labs разрабатывает и производит миниатюрные спутники формата CubeSat и доставляет их в космос в качестве попутной нагрузки других космических запусков. Каждый спутник (все они носят название Dove) оборудован мощным телескопом, камерой и программным обеспечением для съемки разных участков земной поверхности. Каждый Dove непрерывно ведет съемку. Работа группировки спутников позволяет получать раз в сутки полное изображение поверхности Земли с разрешением 3,5 метра. Последняя модель спутников Dove – 2 имеет размеры 100 мм × 100 мм × 340 мм (3U). Система питания состоит из 4 солнечных батарей размерами 100×300 мм и Li-Ion аккумулятора. Масса аппарата — 4,7 кг. Система связи состоит из антенн S- и X-диапазона, а также модема Iridium предназначенного для передачи телеметрии и служебной информации.

Исторически малые спутниковые радиостанции были ограничены нисходящей линией связи из-за жестких ограничений по размеру, весу и мощности. Быстрое создание прототипов, итерация и адаптация новейшей коммерческой технологии (COTS) позволили постоянно улучшать пропускную способность данных на скоростном радио с очень дешевой платформы Cubesat.

В этой работе будут рассмотрены общие характеристики различных каналов связи, энергетический расчет спутниковой связи, виды потерь и ослаблений на различных участках связи.

## **1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ. ЦЕЛИ И НАЗНАЧЕНИЕ**

ССС имеют уникальные особенности, отличающие их от других систем связи. Некоторые особенности обеспечивают преимущества, делающие спутниковую связь привлекательной для ряда приложений. Другие создают ограничения, которые неприемлемы при реализации некоторых прикладных задач.

ССС имеет ряд преимуществ:

- Устойчивые издержки. Стоимость передачи через спутник по одному соединению не зависит от расстояния между передающей и принимающей ЗС. Более того, все спутниковые сигналы - широковещательные. Стоимость спутниковой передачи, следовательно, остается неизменной независимо от числа принимающих ЗС.

- Широкая полоса пропускания.

- Малая вероятность ошибки. В связи с тем, что при цифровой спутниковой передаче побитовые ошибки весьма случайны, применяются эффективные и надежные статистические схемы их обнаружения и исправления.

Выделим также ряд ограничений в использовании ССС:

- Значительная задержка. Большое расстояние от ЗС до спутника на геосинхронной орбите приводит к задержке распространения, длиной почти в четверть секунды. Эта задержка вполне ощутима при телефонном соединении и делает чрезвычайно неэффективным использование спутниковых каналов при неадаптированной для ССС передаче данных.

- Размеры ЗС. Крайне слабый на некоторых частотах спутниковый сигнал, доходящий до ЗС (особенно для спутников старых поколений), заставляет увеличивать диаметр антенны ЗС, усложняя тем самым процедуру размещения станции.

- Защита от несанкционированного доступа к информации. Широковещание позволяет любой ЗС, настроенной на соответствующую частоту, принимать транслируемую спутником информацию. Лишь шифрование сигналов, зачастую достаточно сложное, обеспечивает защиту информации от несанкционированного доступа.

- Интерференция. Спутниковые сигналы, действующие в Ku- или Ka-полосах частот (о них ниже), крайне чувствительны к плохой погоде. Спутниковые сети, действующие в С-полосе частот, восприимчивы к микроволновым сигналам. Интерференция вследствие плохой погоды ухудшает эффективность передачи в Ku- и Ka-полосах на период от нескольких минут до нескольких часов. Интерференция в С-полосе ограничивает развертывание ЗС в районах проживания с высокой концентрацией жителей. [1]

## 2 СРАВНЕНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Выбор частоты для передачи данных от земной станции к спутнику и от спутника к земной станции не является произвольным. От частоты зависит, например, поглощение радиоволн в атмосфере, а также необходимые размеры передающей и приёмной антенн. Частоты, на которых происходит передача от земной станции к спутнику, отличаются от частот, используемых для передачи от спутника к земной станции (как правило, первые выше).

Частоты, используемые в спутниковой связи, разделяют на диапазоны, обозначаемые буквами. К сожалению, в различной литературе точные границы диапазонов могут не совпадать. Ориентировочные значения даны в Таблице 1 рекомендации ITU-R V.431-6:

Таблица 1

Диапазон	Частоты (согласно ITU-R V.431-6)	Применение
<b>L</b>	1,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
<b>S</b>	2,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
<b>C</b>	4 ГГц, 6 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
<b>X</b>	Для спутниковой связи рекомендациями ITU-R частоты не определены. Для приложений радиолокации указан диапазон 8-12 ГГц.	Фиксированная спутниковая связь
<b>Ku</b>	11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
<b>K</b>	20 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
<b>Ka</b>	30 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь

Используются и более высокие частоты, но повышение их затруднено высоким поглощением радиоволн этих частот атмосферой. Ku-диапазон позволяет производить прием сравнительно небольшими антеннами, и поэтому используется в спутниковом телевидении (DVB) несмотря на то, что в этом диапазоне погодные условия оказывают существенное влияние на качество передачи.

Для передачи данных крупными пользователями (организациями) часто применяется С-диапазон. Это обеспечивает более высокое качество приема, но требует довольно больших размеров антенны. [2]

### 2.1 ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КАНАЛА X-ДИАПАЗОНА

Исторически одним из факторов, ограничивающих полезность и более широкое применение малых спутников в научных, коммерческих и государственных приложениях,



### 3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Для обеспечения передачи информации с требуемой скоростью и заданной вероятностью битовой ошибки необходимо проанализировать физические процессы и провести расчет параметров, влияющих на распространение радиосигнала в естественных радиотрассах. В рамках этой статьи рассматривается случай передачи сигналов по радиолинии «КА–станция». КА движется в космическом пространстве по заданной орбите, прием сигнала ведется на станции приема, которая может располагаться как непосредственно на поверхности Земли, так и на некоторой высоте над ней. Из параметров движения КА необходимо определить максимальную и минимальную дальности между КА и станцией, а также углы места, под которыми КА наблюдается со станции. Расчеты следует проводить для всех возможных граничных случаев — это позволит определить диапазон изменений плотности потока мощности (ППМ) в створе приемной антенны, формируя требования к динамическому диапазону приемника. При расчете потерь в атмосфере необходимо проанализировать высоту расположения станции над уровнем моря и сделать вывод, оказывает ли влияние атмосфера Земли на параметры радиосигнала. Возможность приема сигнала и доступность радиолинии определяются положительным значением энергетического запаса, рассчитываемого как разница между энергетическим потенциалом на входе приемного малошумящего усилителя (МШУ) и его чувствительностью. Расчет энергетического потенциала начинается с определения величины эквивалентной изотропной излучаемой мощности (ЭИИМ) КА и условий распространения сигнала. На рисунке 1 приведена структурная схема радиолинии «КА–станция» и графическое представление уровня мощности сигнала.

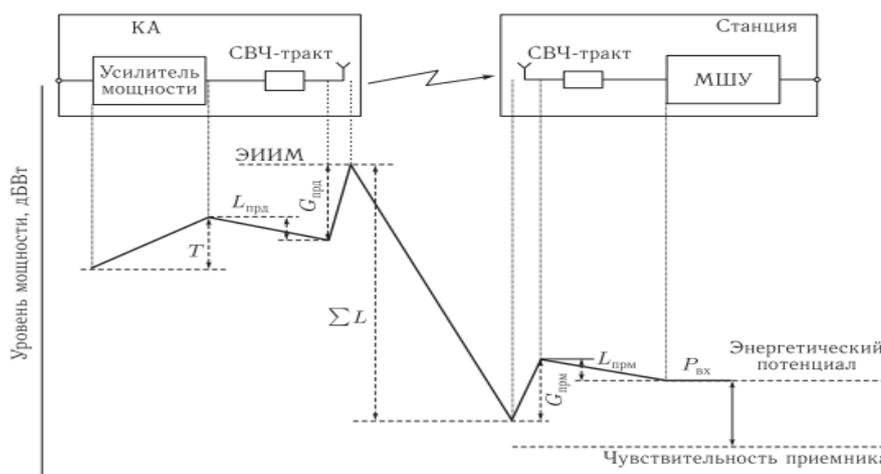


Рисунок 2. Структурная схема радиолинии «КА-станция»

Передача начинается с КА, ЭИИМ, которая выражается в децибел-ваттах (дБВт) и вычисляется как

$$\text{ЭИИМ} = G_{прд} + T - L_{прд} \text{ (дБВт)}, \quad (1)$$

где  $G_{прд}$  — коэффициент усиления передающей антенны, выражается в децибелах относительно изотропного усиления, дБи;

$T$  — величина мощности сигнала на выходе усилителя мощности, дБВт;

$L_{прд}$  — потери в СВЧ-тракте от выхода усилителя мощности до входа антенны, дБ.

По мере распространения сигнала в среде происходит затухание колебаний волн в свободном пространстве, вызванное рассеиванием сигнала по мере удаления от передатчика. Сигнал поступает на приемную антенну станции с коэффициентом усиления  $G_{прм}$ ,

связанную с приемником волноводным трактом с потерями  $L_{\text{прм}}$ . Величина мощности сигнала  $P_{\text{вх}}$  на входе МШУ рассчитывается по формуле

$$P_{\text{вх}} = \text{ЭИИМ} - L + G_{\text{прм}} - L_{\text{прм}} \text{ (дБВт)}, \quad (2)$$

где  $L$  — величина суммарных потерь;

$G_{\text{прм}}$  — коэффициент усиления приемной антенны, выражается в децибелах относительно изотропного усиления, дБи;

$L_{\text{прм}}$  — потери в СВЧ-тракте от выхода антенны до входа МШУ (все потери имеют размерность дБ).

Сравнение мощности сигнала на входе МШУ с чувствительностью приемника  $R_x$  определяет искомую величину энергетического запаса и доступность радиолинии:

$$Z = P_{\text{вх}} - R_x \text{ (дБВт)}. \quad (3)$$

Чувствительность определяет минимальный уровень мощности сигнала на входе приемника, при которой обеспечивается прием информации с требуемой скоростью и заданной вероятностью битовой ошибки. В случае, когда мощность сигнала на входе МШУ меньше чувствительности приемника ( $Z < 0$ ), обеспечить прием сигнала с требуемой достоверностью не представляется возможным. Если уровень мощности сигнала на входе МШУ больше чувствительности ( $Z > 0$ ), то прием обеспечивается с требуемой достоверностью.

Реальная чувствительность приёмника оценивается мощностью  $R_x$  сигнала на входе приёмника, при которой сигнал на выходе приёмника достигает требуемого значения при заданном отношении сигнал/шум на его выходе.

Значение реальной чувствительности при стандартной температуре  $T_0 = 290$  К оценивается следующими выражениями:

$$R_x = k \cdot T_0 \cdot K_{\text{ш}} \cdot \Delta f_{\text{ш}} \cdot h_{\text{вых}}^2, \text{ Вт} \quad (4)$$

где  $k$  — постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$T_0$  — абсолютная температура среды (290 К);

$K_{\text{ш}}$  — коэффициент шума приёмника;

$\Delta f_{\text{ш}}$  — эквивалентная шумовая полоса приёмника, Гц;

$h_{\text{вых}}$  — соотношение сигнал/шум на выходе приёмника.

Для сигналов ЧМ  $h_{\text{вых}} = 2 \dots 4$ . Выберем  $h_{\text{вых}} = 2$ ;

$$R_x = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 1,4 \cdot 1,15 \cdot 36 \cdot 10^6 \cdot 4 \approx 0,9 \cdot 10^{-12}, \text{ Вт} \quad (5)$$

или

$$R_x = -120 \text{ дБВт.}$$

Таким образом, можно сделать следующий вывод:

Так как уровень сигнала на входе приёмника составляет  $P_{\text{вх}} = -119,1$  дБВт, а реальная чувствительность приёмника, при которой обеспечивается заданное отношение сигнал/шум на выходе его выходе  $R_x = -120$  дБВт, можно сказать, что будет обеспечено требуемое качество обработки сигнала ЧМ в демодуляторе. [4]

## **Заключение**

В данной работе был рассмотрен канал связи X – диапазона, а также цели и возможности платформы Build 14 Dove компании Planet Labs. В теоретической части были даны основные моменты таких тем, как спутниковая система связи, различные каналы спутниковой связи, а также сравнение разных каналов связи и выбор наиболее выгодного канала с учетом небольшой массы спутника.

## **Список использованных источников**

1. <https://www.osp.ru/nets/1996/07/141827>
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F\\_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D1%8C)
3. <https://www.planet.com/pulse/b14-the-cubesat-with-one-of-the-worlds-fastest-satellite-radios/>
4. Г. А. Ерохин, В. И. Мандель Ю. А. Нестеркин, А. П. Струков «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы» 2018, том 5, выпуск 1, с. 65–74