

2. Обоснование и постановка задачи.

Решение вопроса выбора диапазона волн ^{радио} земными средствами связи неизбежно связано с представлением параметров, определяющих дальность действия этой связи с космическим объектом.

§1. Параметры линии радиосвязи, определяющие её дальность действия.

Очевидно, что для анализа этих факторов необходимо и достаточно использовать известную формулу дальности радио

$$R_{max} = \sqrt{\frac{P_{прд} G_{прд} S_{эф.прм} \eta_{прд} \eta_{прм} B}{4\pi P_{ш} (P_c/P_{ш})_{min}}} \quad (1)$$

где: $P_{прд}$ - мощность передатчика,
 $G_{прд}$ - коэффициент направленности передающей антенны;
 $S_{эф.прм}$ - эффективная площадь приёмной антенны,
 $\eta_{прд}, \eta_{прм}$ - потери в антенно-фидерных устройствах,
 B - коэффициент, характеризующий, во ск. раз уменьшающуюся мощность принимаемого сигнала при прохождении через атмосферу и межпланетной газ по сравнению с распространением в свободном пространстве:
 $B = \frac{P_{прм. пошл}}{P_{прм. своб}} < 1,$

$P_{ш}$ - суммарная мощность внешних и внутренних шумов.

$(P_c/P_{ш})_{min}$ - реальная чувствительность приёмника.

Это выражение (1) дальности радиосвязи в данном случае интересно тем, что оно позволяет провести исследование, из которого выветится цель настоящей работы: частоты космической связи с землёй.

Из выражения (1) следует, что для увеличения дальности действия линии радиосвязи "ракета-Земля" необходимо:

- 1) увеличивать мощность бортового передатчика;
- 2) увеличивать направленность антенны бортового передатчика;
- 3) увеличивать эффективную площадь приёмной наземной антенны;
- 4) увеличивать коэффициент полезного действия антенно-фидерных трактов;
- 5) выбирать для связи такой диапазон частот, в котором возможно меньше всего помехуются атмосферой Земли (межпланетной газом и в котором внешние шумы (помехи) имеют минимальную величину;

6) использовать наземное приёмное устройство с малыми собственными шумами и малой шириной полосы пропускания для уменьшения влияния внешних и внутренних шумов;

7) использовать наземную приёмно-регистрирующую аппаратуру, работающую при минимальном отношении $P/P_{ш}$ на входе приёмника.

Строго говоря, все перечисленные параметры в конечном итоге зависят от выбранной длины волны. [1]

§2. Зависимость параметров дальности космической связи от частоты.

1) Мощность передатчика $P_{прд} = \frac{P_c T}{S_{эф}}$ пропорциональна длине волны. Разумеется, что как с энергетической точки зрения, так и конструктивной целесообразнее увеличивать дальность радиосвязи путём повышения чувствительности наземной приёмной аппаратуры, поскольку при этом

¹ См. стр.1-4 в НЭА РАЕ //econf.rae.ru/article/96..

падает необходимость в увеличении потребляемой мощности, веса и габаритов бортового передатчика. Очевидно, большой объем, не имеющие принципов значения на Земле, главные препятствия для установки антенн антенн на ракете. Кроме того, увеличение дальности, помимо технических трудностей, связано с весьма значительными экономическими расходами.

(2) Так как $G_{прд} = \frac{4\pi S_{эф.прд}}{\lambda^2}$, (2)

то $R_{max} = \sqrt{\frac{P_{прд} \cdot S_{эф.прд} \cdot S_{эф.прм} \cdot \eta_{прд} \cdot \eta_{прм} \cdot B}{P_{ис} (P_c/P_{ис})_{min}} \cdot \frac{1}{\lambda^2}}$. (3)

Увеличение дальности радиосвязи с укороченными волнами осуществляется тем, что при неизменном значении эффективной площади передаточной антенны $S_{эф.прд}$ коэффициент усиления $G_{прд}$ с укорочением длины волны возрастает.

(3) Для согласованного входа приёмника
 $S_{эф.прм} = \frac{1}{4\pi} G_{прм} \cdot \lambda^2$. (4)

Подставив это значение в формулу (1) получаем:

$R_{max} = \varphi(\lambda)$. (5)

Увеличение дальности радиосвязи с укороченными волнами осуществляется тем, что при неизменном значении коэффициента усиления приёмной антенны ($G_{прм}$) эффективная площадь $S_{эф.прм}$ с укорочением длины волны уменьшается.

(4) Можно R_{max} выразить также через ширину диаграммы направленности передаточной и приёмной антенн. Тем более, что это (нам) потребуется при последующем изложении о влиянии рабочего диапазона волн на характеристики антенных устройств.

Для осесимметричных антенн с известными диаграммами направленности

$G = \frac{4\pi}{\theta_a^2}$, (6)

где θ_a - ширина диаграммы направленности в радианах на уровне 0,5 по мощности.

Подставив это значение G в формулу (1) и полагая $G_{прд} = G_{прм}$,

получаем $R_{max} = \varphi\left(\frac{\lambda}{\theta_a}\right)$. (7)

Из полученной формулы следует, что для увеличения дальности радиосвязи нелинейно ширину диаграммы направленности антенн уменьшать. Однако, применение узких диаграмм направленности влечёт за собой некоторые неудобства, например, нарушение связи и т.п. Об этом будет сказано ниже при рассмотрении влияния рабочего диапазона

зона волн на характеристике антенны устройств.

Из этой формулы (7) следует также, что с увеличением длины волны дальность радиосвязи возрастает. Это объясняется тем, что неизменное значение минимума диаграммы направленности приемной антенны при увеличении длины волны может быть достигнуто путем соответствующего увеличения ортогональной площади Зеркала.

Частотная зависимость остальных параметров будет показана ниже, т.к. исследование пунктов 6 и 7 и в незначительной степени пункта 5 и является целью настоящего изложения.

Т.о., в решении вопроса о дальности связи выбор длины волны является определяющим фактором в ряду других параметров.

Следует подчеркнуть, что задача выбора частотного диапазона для космической связи является задачей выбора оптимального диапазона волн космической радиосвязи.

3.3. Частотная оптимальность и ее критерии.

Целью настоящей работы является определение границ частот электромагнитных волн для связи "космос-земля". Эти границы должны определяться исходя из оптимальности использования радиоволн для связи с ракетой. Под оптимальностью здесь понимается такое положение, которое обеспечивает наилучшие, в смысле выбранного критерия оптимальности, решения или логические оценки диапазона волн. Естественно, критерий оптимальности должен выбираться так, чтобы он достаточно хорошо соответствовал характеру поставленной задачи по определению частотного диапазона для связи с космосом.

Согласно изложенному выше, можно счи-

Таким образом, в качестве такого примера достаточно взять постоянную зависимость шумов, на фоне которой будет приниматься сигнал с борта корабля, т.е. это, в итоге, приводит к пороговой мощности приёмного устройства (к чувствительности).

Что же определяет эту постоянную зависимость? Ответ на этот вопрос может быть получен лишь при совместном рассмотрении факторов, влияющих на эту зависимость.

Как было сказано, отношение сигнал/шум является критерием оптимальных частот радиосвязи с космическими объектами, т.е. факторы оптимальности частот диктуются сигнально-шумовой сущностью.

34. факторы, влияющие на выбор диапазона волн.

- ① Влияние тропосферы и ионосферы Земли на рассеивание радиоволн различной длины.
- ② Зависимость уровня собственных шумов приёмника от частоты.
- ③ Зависимость уровня внешних шумов от частоты.
- ④ Влияние рабочего диапазона радиоволн на характеристики антенных устройств.

Заметим, что в известной степени на выбор волны влияют: ⑤ требование минимальных габаритов и антидифракционных искажений;

⑥ характеристики сигнала как переносчика сообщений;

⑦ требования к точности радиотехнических измерений координат космической ракеты и

⑧ техническая возможность создания электрорадиотехнических приборов тех или иных диапазонов.

За последнее время всё возрастающее значение приобретает ⑨ скорость передачи информации, которая также зависит в основном от рабочей частоты.

Рассмотрим лишь в основном 2 и 4 пункта и кратко 1, 3 и 9.

Вводная:

Пост использования

спутников и космических летательных аппаратов требует разработки соответствующих систем космической связи. Н.к. в настоящее время в космических аппаратах могут использоваться передатчики небольшой мощности, то для обеспечения устойчивой связи требуется тщательная разработка специальных систем связи (в основном приемных устройств), где особое внимание уделяется на себе обратить вопрос / проблема.

Выбор рабочей частоты. Оптимальные частоты могут быть выбраны, исходя из отношения сигнала к шуму для заданной мощности передатчика, минимальных уровней и амплитудных искажений, минимальных помех со стороны других устройств и т.п. В данном случае основным и, пожалуй, единственным критерием для выбора оптимальных частот взято отношение сигнал / шум. Именно обусловлены

вполне определенными факторами, влияющими на выбор оптимального диапазона волн космической связи.

Рассмотрим эти факторы и посвящается следующему изложению:

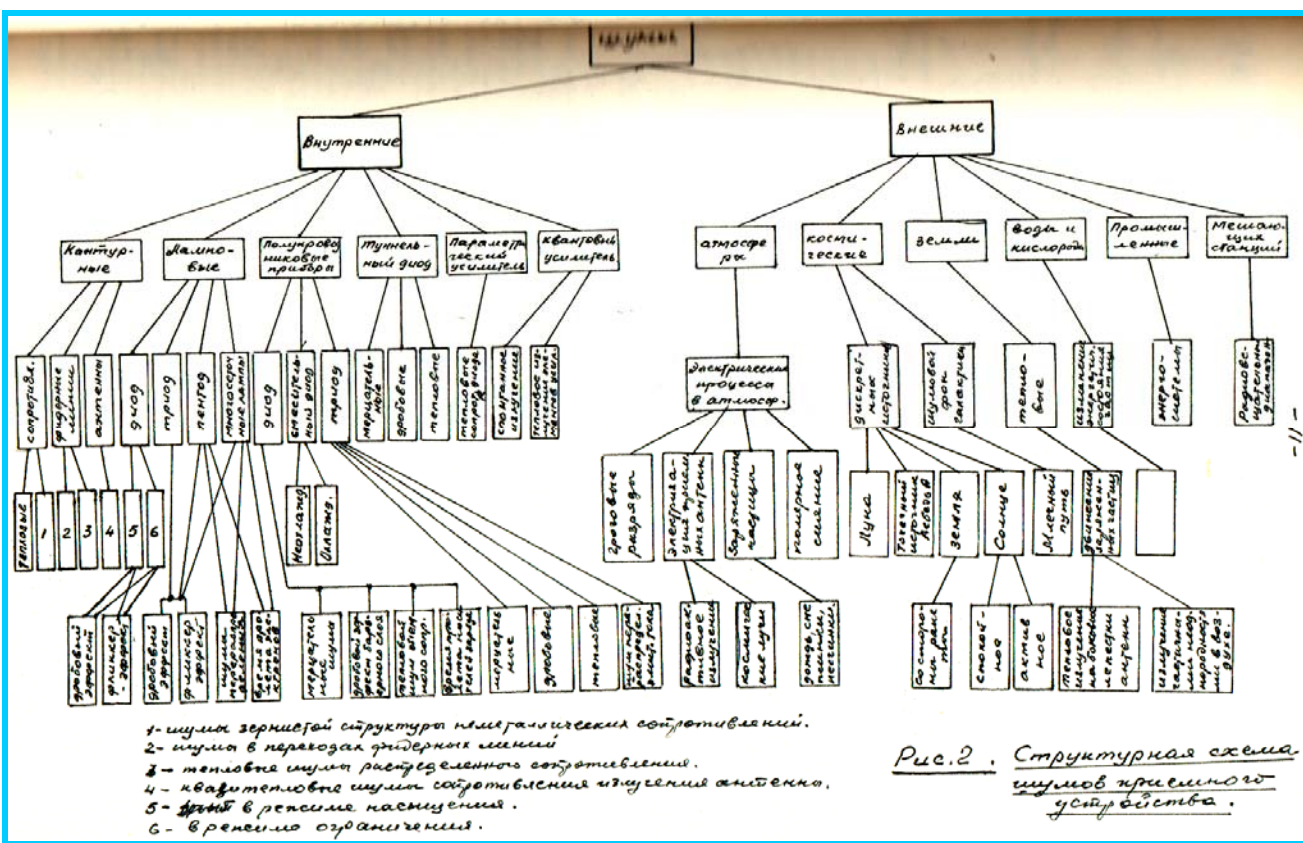


Рис. 2. Структурная схема шумов приемного устройства.

-9-

Гл. II.
Определение границы космического радиоканала

Линия связи между космосом и Землей проходит через космическое пространство, затопленное межпланетным газом и космической пылью, и атмосферой Земли, включающую тропосферу и ионосферу.

Космическая связь может осуществляться во всем спектре частот. На связь между ракетой и атмосферой Земли влияния не оказывают.

Атмосфера легко пропускает одни частоты и вызывает сильное затухание других. Диапазон частот, на которых волны легко проходят сквозь атмосферу называют "окном" (область пропускания) космической связи [3].

Через атмосферу проходит в основном два диапазона частот:

1. диапазон между ионосферными критическими частотами поглощения и частотами, поглощаемыми дождем и газами тропосферы (примерно от 100 МГц до 5 ГГц) [4].

2. объединенный диапазон видимых и инфракрасных волн (примерно от 10^3 до 10^6 ГГц).

Диапазон от 100 МГц до 5 ГГц наиболее практичен для связи.

В зависимости от степени солнечной активности расположение наземной станции, геометрии пути сигнала он может быть расширен. Область пропускания может простираться от 2 МГц для полярных широт, в ночное время, при вертикальном луче до 40 ГГц для экваториальных районов, свободных от дождей и туманов, при вертикальном луче. [5].

При этом для уменьшения поляризационных замираний желательно использовать более высокие частоты указанного диапазона.

Работа линии связи в этом диапазоне может быть оценена на основе известной формулы радиосвязи
$$R_{\text{max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{пр}} G_{\text{пр}} S_{\text{эф.пр}} P_{\text{пр}} P_{\text{пр}}}{4\pi R_{\text{ш}}^2 (P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{min}}}}$$
 для свободного

пространства. Действительные условия распространения во многом отличаются от приближения к свободному пространству. Это отличие в указанном диапазоне учитывается коэффициентом поглощения, равным $0,1$, т. е. уменьшением подкоренного выражения в десять раз. [3].

Для определения оптимальных частот связи большое значение имеет зависимость радиального профиля фоновых шумов от частоты.

Зависимость уровня собственных шумов приемника от габаритов.

Точное определение "радиосвязи" в космосе определяется областью шумов на входе приемника, которые определяют величину наименьшего сигнала, т.е. в конечном счете максимальную дальность, являющуюся одной из важнейших задач для выбора оптимального диапазона волн.

Для выбора оптимального диапазона волн линии радиосвязи с космическим объектом в точки зрения получения минимальной мощности шумов необходимо оценить зависимость уровня внешних и внутренних шумов приемника от габаритов. Для этого возможности подробно рассмотреть шумовые характеристики приведем их структурную таблицу и примерную зависимость внутренних шумов. [6, 7, 8, 9, 10, 11, 17]

5.1) Габаритная зависимость внутренних шумов приемника.

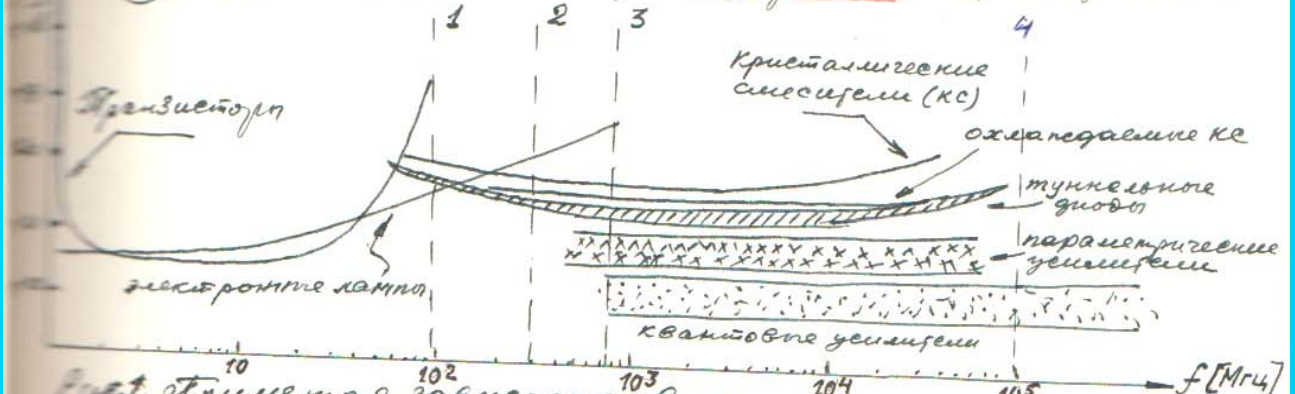


Рис. 1. Примерная зависимость внутренних шумов приемника от габаритов.

В наземной приемной аппаратуре в точки зрения внутренних шумов приемника целесообразнее применить усилители:

- 1) на частотах до 100 МГц - на транзисторах (линия 1)
 - 2) на частотах до 300 МГц - на лампах (линия 2)
 - 3) на частотах до 800 МГц - кристаллические смесители (линия 3)
 - 4) на частотах более 800 МГц - усилители на туннельных диодах, параметрические и квантовые усилители.
- Наименьший уровень внутренних шумов меньше в диапазоне от 10^3 МГц до 10^5 Гц.

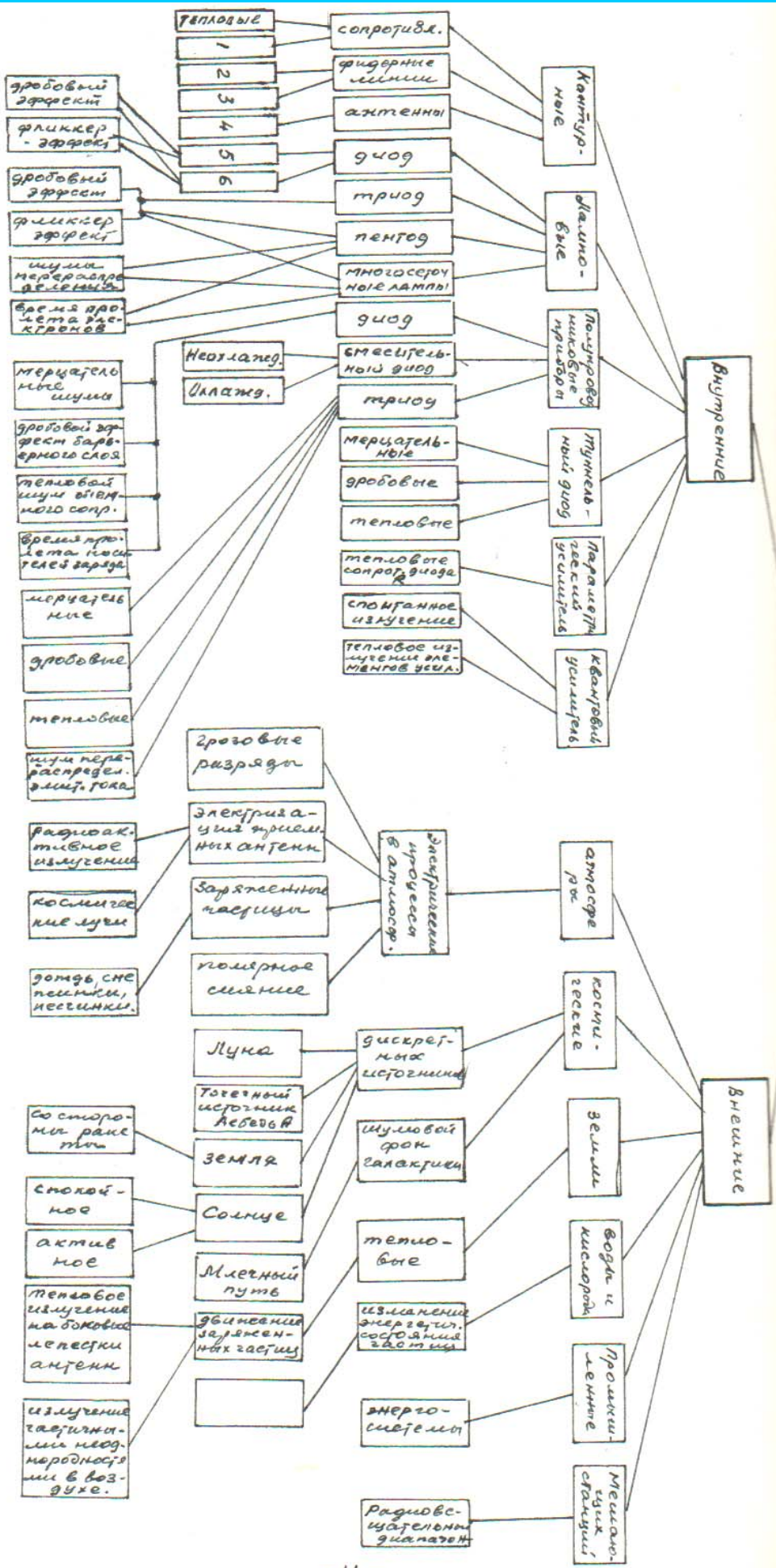
Для иллюстрации увеличения дальности связи в результате резкого повышения чувствительности приемника за счет снижения шумов, обусловленного применением малошумящих усилителей, приводится табл. 1. [16]

Примерная дальность связи спутниками на волне 6 см (мощность передатчика 0,1 Вт) **Таблица 1**

Тип приемника	Шумовая ϵ° приемника; [°K]	Полная G_n связь; [°K]	Дальность действия [км]
1. Кристаллический смеситель	870	880	58.000.
2. Параметрический усилитель (без охлаждения)	120	130	150.000.
3. Современный квантовый усилитель.	10	20	380.000.
4. Перспективный квантовый усилитель (расчет)	2	12	490.000.
5. Идеальный квантовый приемник.	0	10	540.000.

Как видно из таблицы, применение квантовых усилителей позволяет увеличить дальность связи в браз по сравнению с обычной, полагаясь даже при невозможности применения устройств с кристаллическими смесителями.

Таким образом, на основании приведенных данных о шумах (и о дальности) целесообразно использование в качестве усилителей первых каскадов приемного усилителя туннельных диодов, параметрические усилители и квантовые усилители для связи по линии "космос-земля", несомненна.



- 1 - шум от земной поверхности и атмосферы
- 2 - шум от проводов и антенн
- 3 - шум от элементов конструкции
- 4 - шум от элементов конструкции
- 5 - шум от элементов конструкции
- 6 - шум от элементов конструкции

Рис. 2. Структурная схема шумов радиолокационной системы.

11 Частотная зависимость
внешних шумов.

Уровень внешних шумов, т.е. шумов принимаемой антенны, в общем случае складывается:

- 1) из атмосферных шумов, создаваемых движением турбулентной газовой в атмосфере;
- 2) из шумов внеземных (космических) источников;
- 3) из шумов, возникающих вследствие ионизации молекул и кислорода, обусловленного процессами излучения из энергетического состояния;
- 4) из шумов, обусловленных теплотой движением газу в Земле;
- 5) из шума шумов проволочного трения проводов;
- 6) из помех мешающих радиостанций.

Величина возможности рассмотреть эти шумов зависит от частоты. [2, 4, 6, 16, 19,]

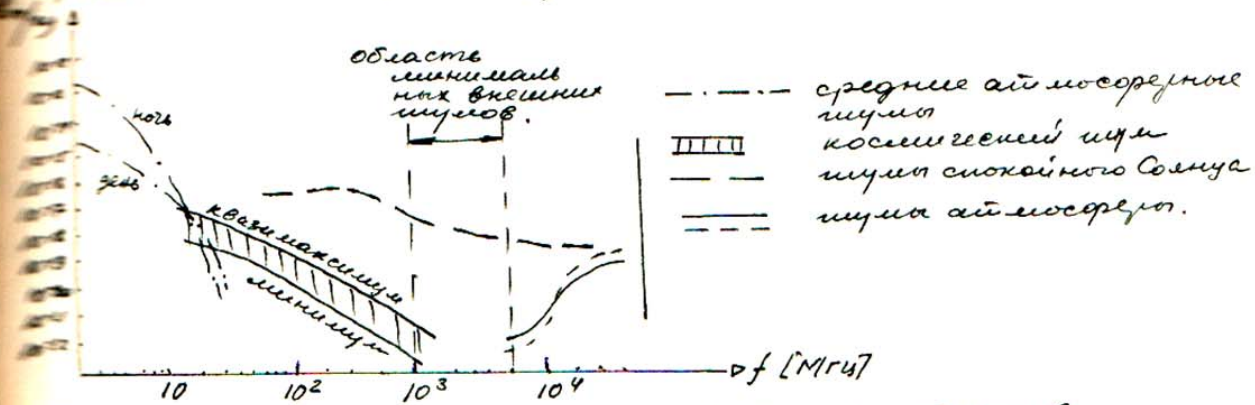


Рис. 14. Зависимость уровня внешних шумов радиопомех от частоты.

Совместное рассмотрение внешних шумов позволяет сказать следующее:

Шумы, исходящие от поверхности Земли, промышленные и мешающие станции, хотя и являются серьезной проблемой, однако могут эффективно устранены путем выбора лучшей концентраторной антенны и антенн, экранированных со стороны земли последних в плане работы на более высоких частотах (> 30 МГц). и по возможности к горизонту.

Влияние атмосферных шумов уже на частотах до 30 МГц становится незначительным и при выборе рабочей частоты выше 30-30 МГц ими можно пренебречь.

Солнечные радиопомехи, хотя и очень значительны, не мешают при приеме сигналов с ракет, т.к. безвоздушное пространство в стороне Солнца очень мало (если ракета не пошла к Солнцу).

Шумовое излучение неба, поступающее на вход приемника по направлению главного лепестка диаграммы направленности антенны является основной проблемой и более сложной проблемой.

Сила по низким частотам особенно сильно зависит от работы радиостанций "космос-земля" средние шумов Галактики. Резко возрастает эти шумов (максимальная интенсивность) при направлении в сторону Млечного пути (центр Галактики).

По мере движения вправо по низким частотам средние шумов неба уменьшаются, а сами излучатели становятся все менее яркими и более рассеянными. Внешние шумов Галактики можно существенно понизить при выборе частот излучаемого сигнала [выше 1 ГГц]. Кроме того, галактические шумов могут быть в значительной степени ослаблены переделкой приемника узконаправленных антенн.

Справа по частотной диаграмме граница определяется в основном шумов, обусловленных собственными излучениями атмосферы/наземной среды (ионизация). На частотах ниже 5 ГГц они уже незначительны.

Внешние проволочные шумов значительно понижается при разном состоянии станций на большой высоте, проводимых во все горизонтальной плоскости, приёма под максимальными углами места к горизонту и, как сказано, в выборе частоты, меньшей 5 ГГц.

Таким образом, область минимальных внешних шумов лежит в пределах (1-5) ГГц, т.е. "космическое радиокосмос".

Внешние шумов обычно относят к шумам антенны.