

Определение суммарной эквивалентной шумовой температуры на входе Земной станции и добротности Земной станции систем спутниковой связи (ЗС ССС) в плоскости стыковки антенны с линейным трактом ЗС ССС

Содержание:

1. Теоретическая часть.
 - 1.1. Введение.
 - 1.2. Эквивалентная шумовая температура и коэффициент усиления антенны.
 - 1.3. Эквивалентная шумовая температура на входе линейного приемного тракта ЗС ССС.
 - 1.4. Суммарная эквивалентная шумовая температура на входе Земной станции в плоскости стыковки антенны с линейным трактом ЗС ССС.
 - 1.5. Добротность Земной станции ССС.
2. Расчетная часть.
3. Требования к оформлению.
4. Литература.

1. Теоретическая часть.

1.1. Введение.

Обозначения параметров элементов структурных схем приемного тракта Земной станции ССС:

K_y^A - коэффициент усиления антенны;

D^A - диаметр зеркала приемной антенны;

$T_{ш}^A$ - эквивалентная шумовая температура;

$K_y^{МШУ}$ - коэффициент усиления МШУ;

$T_{ш.вх.}^{МШУ}$ - эквивалентная шумовая температура входа МШУ;

$n_{тр.сн.}^{СВЧ}$ - коэффициент передачи СВЧ тракта снижения;

T_o - физическая температура окружающей среды;

$T_{ш.вх.}^{конв.}$ - эквивалентная шумовая температура входа конвертора;

$n_{тр.сн.}^{ПЧ}$ - коэффициент передачи ПЧ - тракта снижения;

$T_{ш.вх.}^{л.тр.}$ - эквивалентная шумовая температура на входе линейного тракта ЗС ССС;

$T_{ш.вх.}^{пр.}$ - эквивалентная шумовая температура входа приемника;

f_c - центральная частота принимаемого сигнала;

$f_{ПЧ}$ - центральная частота сигнала ПЧ;

S - коэффициент, учитывающий уровень энергии, попадающей в антенну через боковые лепестки диаграммы направленности антенны от теплового излучения поверхности Земли;

Q - добротность Земной станции ССС.

1.2. Эквивалентная шумовая температура и коэффициент усиления антенны.

Эквивалентная шумовая температура антенны ЗС ССС может быть представлена в виде составляющих [1, стр. 55-57]:

$$T_A = T_K(\gamma) + T_a(\gamma) + sT_o, \quad (1)$$

где слагаемые обусловлены следующими факторами:

$T_K(\gamma)$ - приемом космического радиоизлучения с учетом γ - угла места ДН антенны Земной станции;

$T_a(\gamma)$ - излучением атмосферы с учетом дождя и γ ;

sT_3 - приемом излучения Земной поверхности через боковые лепестки ДН антенны, где $s=0,05 \div 0,4$, а $T_3=290\text{K}$ для суши.

На рисунке 1 представлена частотная зависимость шумовой температуры Галактики, Солнца и атмосферы Земли (без дождя) [1, стр. 57]. Из графика видно что шум Галактики в диапазоне частот выше 6 ГГц практически можно не учитывать. На частотах ниже 6 ГГц значение $T_K(\gamma)$ полученное из графика на рис.1 следует брать для выражения (1) с коэффициентом равным 0,5. Это объясняется тем, что излучение Галактики имеет сплошной спектр и слабо поляризовано, поэтому при приеме его на антенну с любым видом поляризации можно считать, что принимаемое излучение будет половинной интенсивности. Солнце является самым мощным источником радиоизлучения и может полностью нарушить связь, попав на главный лепесток ДН антенны. Однако такую ситуацию обычно преднамеренно исключают.

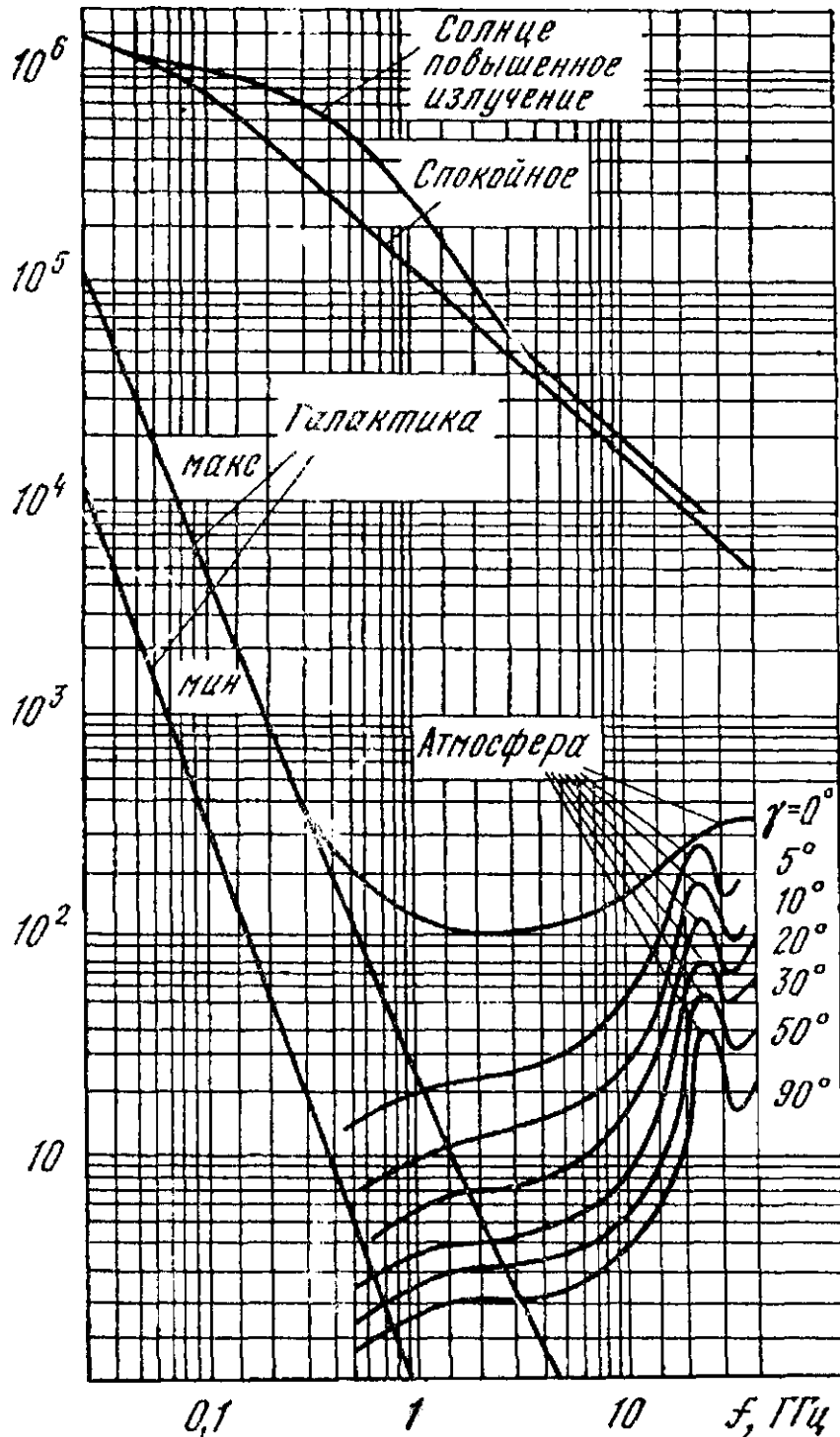


Рис. 1. Частотная зависимость шумовой температуры Галактики, Солнца и атмосферы Земли (без дождя).

Шумовое радиоизлучение земной атмосферы имеет тепловой характер и в полной мере обусловлено поглощением сигналов в атмосфере (с учетом дождя). В силу термодинамического равновесия атмосфера излучает такое же количество энергии на данной частоте, которое поглощает, следовательно,

$$T_a(\gamma) = T'_0 \frac{|L_a \cdot L_d - 1|}{L_a \cdot L_d}, \quad (2)$$

где: $T'_0 = 260\text{K}$ – средняя термодинамическая температура атмосферы, L_a и L_d

ослабление сигнала в атмосфере и в дожде, которые можно найти по графикам на рис. 2 и 3, соответственно

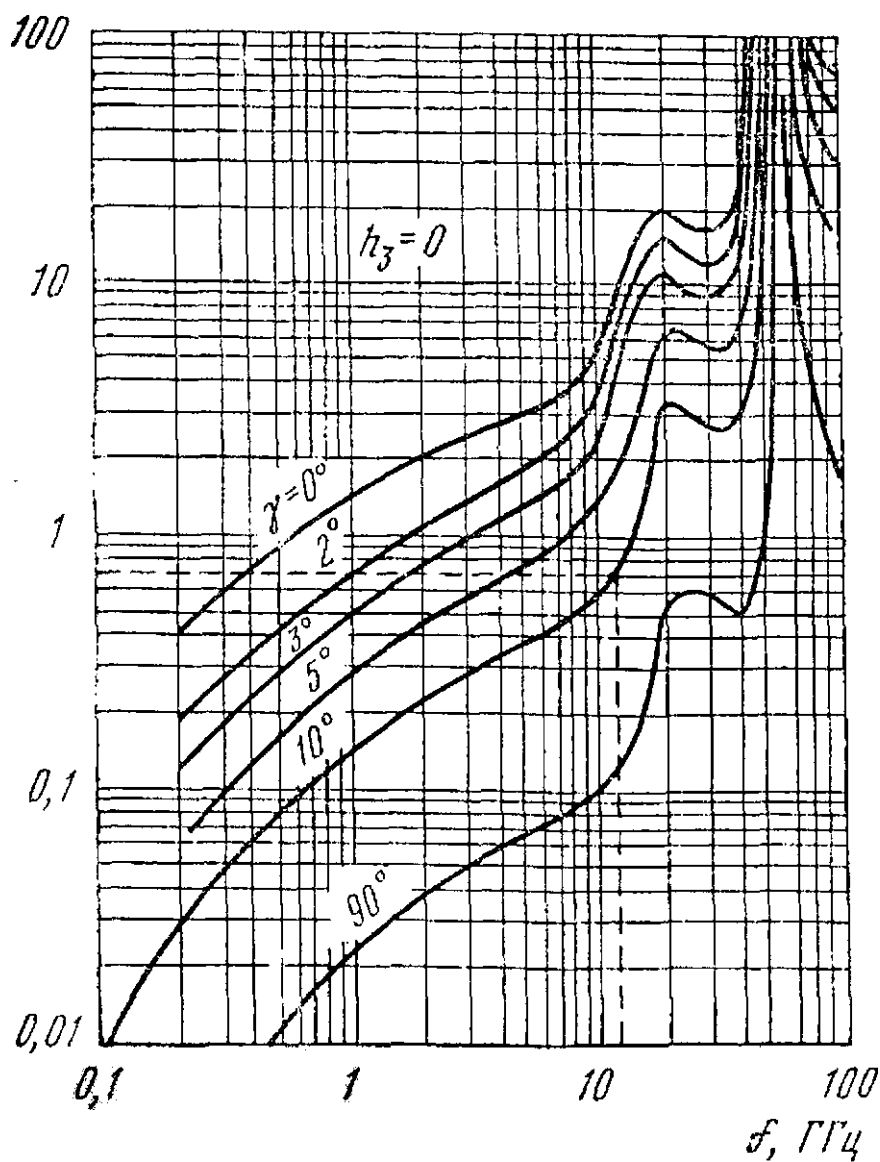


Рис. 2. Частотная зависимость поглощения радиоволн в спокойной атмосфере (без дождя) при различных углах места.

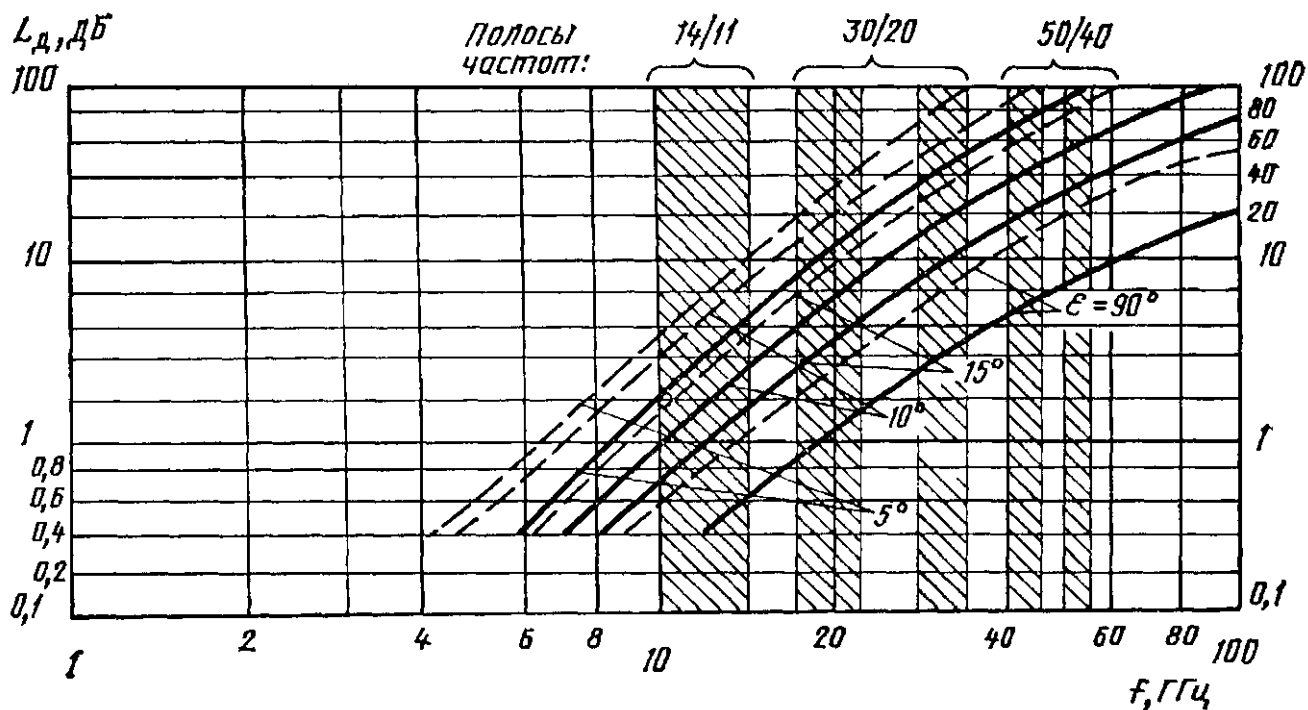
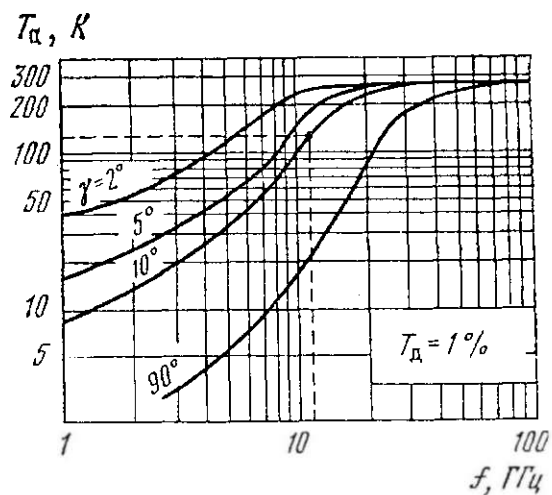


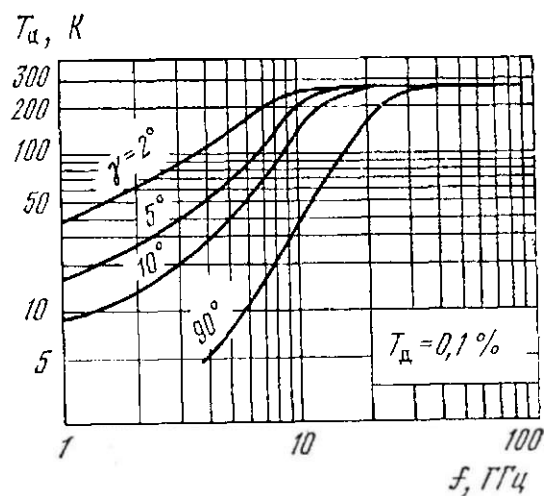
Рис. 3. Зависимости поглощения сигнала в дожде от частоты при различных углах места для Европейской территории СССР в различных полосах частот, превышаемое не более 1% (сплошные линии) и 0,1% (штриховые линии) времени любого месяца.

Пример $\gamma=10^\circ, f=11,5\text{ ГГц}$

$$T_a = T_0' \frac{|0,85 \cdot 0,8 - 1|}{L_a \cdot L_d} = 260 \frac{|0,68 - 1|}{0,68} = 260 \frac{0,32}{0,68} = 122 [K].$$



а)



б)

Рис. 4. Частотная зависимость шумовой температуры атмосферы Земли (с учетом дождя): а) $T_a(\gamma)$ при $T_d=1\%$; б) $T_a(\gamma)$ при $T_d=0,1\%$.

Влияние дождя, облаков, тумана и других видов осадков является статической характеристикой и зависит от толщины поглощающего слоя, времени суток, времени года и подлежит специальному изучению для каждой конкретной местности

1.3. Эквивалентная шумовая температура на входе линейного приемного тракта ЗС ССС.

Приемный тракт состоит из ряда последовательно соединенных каскадов выполняющих различные функции. Это усилители, соединительные пассивные тракты, фильтры, смесители и т.п. Все каскады характеризуются коэффициентом передачи по мощности как отношение мощности сигнала на выходе каскада к мощности сигнала на его входе, включая и смесители, у которых сигнал на входе на одной частоте, а на выходе на другой. Если коэффициент передачи каскада не меняется при изменении мощности сигнала на его входе, то будем считать, что он в линейном режиме. Аналогично, если последовательно соединенные каскады тракта находятся в линейном режиме, то и весь тракт называется линейным трактом. Следствием из этого свойства является то, что для линейного тракта отношение мощности сигнала к мощности шумов на входе и на выходе одно и то же.

В общем случае характеристика (усилителя, смесителя и т.п.) представлена

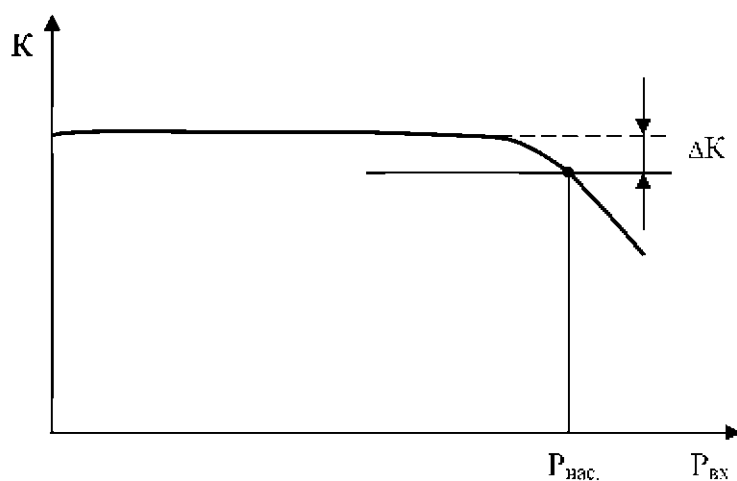


Рис. 5. Зависимость коэффициента передачи активного каскада от величины входной мощности сигнала.

на рис.5. По оси абсцисс показана величина мощности сигнала на входе каскада – $P_{вх}$. По оси ординат величина коэффициента передачи каскада – K .

При определенной величине входной мощности $P_{нас}$ наблюдается уменьшение коэффициента передачи на величину ΔK . Уровень мощности сигнала на входе каскада, при котором наблюдается уменьшение коэффициента передачи на

величину ΔK , называется уровнем насыщения каскада. ΔK задается в зависимости от назначения тракта равным 0,1 дБ, 0,5 дБ, 1,0 дБ, 3

дБ или другой величине. При заданном допустимом критерии уменьшения коэффициента передачи каскада считается, что каскад работает в линейном режиме до тех пор, пока мощность сигнала на его входе не превысила величину $P_{\text{нас}}$.

Для пассивных каскадов (фильтров построенных на пассивных элементах, фидерных и волноводных трактах) коэффициент передачи не зависит от входной мощности сигнала. Эффект сгорания пассивных каскадов в данном случае не рассматривается.

Все пассивные каскады генерируют шумы, мощность которых на выходе каскада может быть вычислена по следующей формуле:

$$P_{\text{ВЫХ}}^{\text{ш}} = k \cdot T_{\text{ВЫХ}}^{\text{ш}} \cdot \Delta f_c,$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ - постоянная Больцмана; $T_{\text{ВЫХ}}^{\text{ш}}$ - эквивалентная шумовая температура шумов на выходе каскада; Δf_c - полоса рабочих частот каскада, которую ограничивают с помощью селективных элементов до полосы частот в которой сосредоточен спектр сигнала.

Эквивалентная шумовая температура входа каскада $T_{\text{ВХ}}^{\text{ш}}$ - такая температура шумов, при которой $(P_{\text{ВХ}}^{\text{ш}} = k \cdot T_{\text{ВХ}}^{\text{ш}} \cdot \Delta f_c)$ - мощность шумов поданная на вход идеального (не шумящего) каскада, пройдя через идеальный каскад с усилением K , образвала бы на его выходе мощность шумов равную $P_{\text{ВЫХ}}^{\text{ш}}$. Тогда

$$P_{\text{ВЫХ}}^{\text{ш}} = K \cdot P_{\text{ВХ}}^{\text{ш}}. \text{ Отсюда: } T_{\text{ВХ}}^{\text{ш}} = \frac{T_{\text{ВЫХ}}^{\text{ш}}}{K}.$$

Для активных каскадов либо устройств (усилители, смесителей, приемников и т.п.) в паспортных данных имеется величина эквивалентной шумовой температуры входа каскада либо устройства. Для больших значений мощности шумов в паспорте на такие каскады либо устройства дается величина N – коэффициент шума (безразмерная величина выраженная в раз). Связь коэффициента шума и эквивалентной шумовой температуры входа устройства определяется выражением:

$T_{\text{ВХ}}^{\text{ш}} = T_o (N - 1)$, где T_o - температура окружающей среды, обычно при нормальной температуре $T_o = 290\text{K}$.

Из общей теории радиотехнических цепей суммарный коэффициент передачи последовательно соединенных n каскадов (при отсутствии рассогласования и насыщения) и эквивалентная шумовая температура на входе последовательно соединенных n каскадов вычисляется по следующим формулам:

$$K^{\Sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n;$$

$$T_{\text{ш.вх}}^{\text{Л.гр.}} = T_1^{\text{ш}} + \frac{T_2^{\text{ш}}}{K_1} + \frac{T_3^{\text{ш}}}{K_1 \cdot K_2} + \dots + \frac{T_N^{\text{ш}}}{K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_{n-1}},$$

где: $K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_{n-1}$ - коэффициенты передачи первого, второго, ... , n -го каскадов, соответственно;

$T_1^{\text{ш}}, T_2^{\text{ш}}, \dots, T_N^{\text{ш}}$ - эквивалентные шумовые температуры на входе соответствующих каскадов.

Здесь коэффициенты передачи даны в разгах, а эквивалентные шумовые температуры в Кельвинах.

Для пассивных элементов (волновод, фидерный тракт и т.п.) генерируемая мощность шумов на выходе тракта вычисляется из следующего выражения:

$$P_{\text{вых}}^{\text{ш}} = k \cdot T_o (1 - \eta_{\phi}) \cdot \Delta f_c,$$

где $T_{\text{вых}}^{\text{ш}} = T_o (1 - \eta_{\phi})$ - эквивалентная шумовая температура мощности шумов на выходе пассивного элемента либо тракта, η_{ϕ} - коэффициент передачи этого элемента либо тракта. При этом эквивалентная шумовая температура на входе пассивного элемента либо тракта будет равна:

$$T_{\text{вх}}^{\text{ш}} = T_o \left(\frac{1}{\eta_{\phi}} - 1 \right).$$

Остальные обозначения те же, что и выше.

Пример:

$$1) \eta_{\phi} = 0,9, T_o = 290. T_{\text{вых}}^{\text{ш}} = T_o (1 - \eta_{\phi}) = 290 (1 - 0,9) = 29 \text{ K}.$$

$$T_{\text{вх}}^{\text{ш}} = T_o \left(\frac{1}{\eta_{\phi}} - 1 \right) = 290 \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right) = 32 \text{ K}.$$

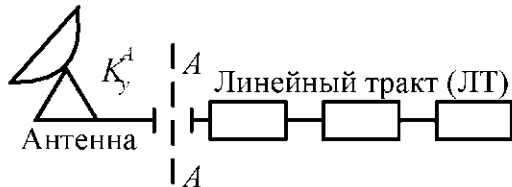
$$\text{Проверка: } T_{\text{вх}}^{\text{ш}} \cdot \eta_{\phi} = T_{\text{вых}}^{\text{ш}}; \quad 32 \cdot 0,9 = 29 \text{ K}.$$

$$2) \eta_{\phi}=0,3, T_o=290. T_{\text{ВЫХ}}^{\text{III}} = T_o (1 - \eta_{\phi}) = 290(1 - 0,3) = 203 \text{ K}.$$

$$T_{\text{ВХ}}^{\text{III}} = T_o \left(\frac{1}{\eta_{\phi}} - 1 \right) = 290 \left(\frac{1}{0,3} - 1 \right) = 290(3,3 - 1) = 676 \text{ K}.$$

$$\text{Проверка: } T_{\text{ВХ}}^{\text{III}} \cdot \eta_{\phi} = T_{\text{ВЫХ}}^{\text{III}}; \quad 676 \cdot 0,3 = 203 \text{ K}.$$

1.4. Суммарная эквивалентная шумовая температура на входе Земной станции в плоскости стыковки антенны с линейным трактом ЗС ССС.



$$T_{\text{Ш.ЗС}}^{\text{AA}} = \begin{cases} T_{\text{Вх.ЛТ}}^{\text{III.}\Sigma} \\ + \\ T_{\text{AA}}^{\text{III.}\Sigma} \end{cases}$$

$$T_{\text{Вх.ЛТ}}^{\text{III.}\Sigma} = T_1 + \frac{T_2}{K_1} + \dots + \frac{T_n}{K_{n-1}}.$$

1.5. Добротность Земной станции ССС.

По определению добротность равна:

$$Q = \frac{K_y^A}{T_{\text{Ш.ЗС}}^{\text{AA}}}.$$

2. Расчетная часть.

ДАНО:

1. Структурная схема (несколько вариантов) приемного тракта Земной станции в составе: антенна, линейный тракт, приемник; причем линейный тракт (несколько вариантов) в составе: малошумящий приемник (МШУ), СВЧ-тракт снижения (фидерный тракт), конвертор, ПЧ-тракт снижения представлены на рис.6.

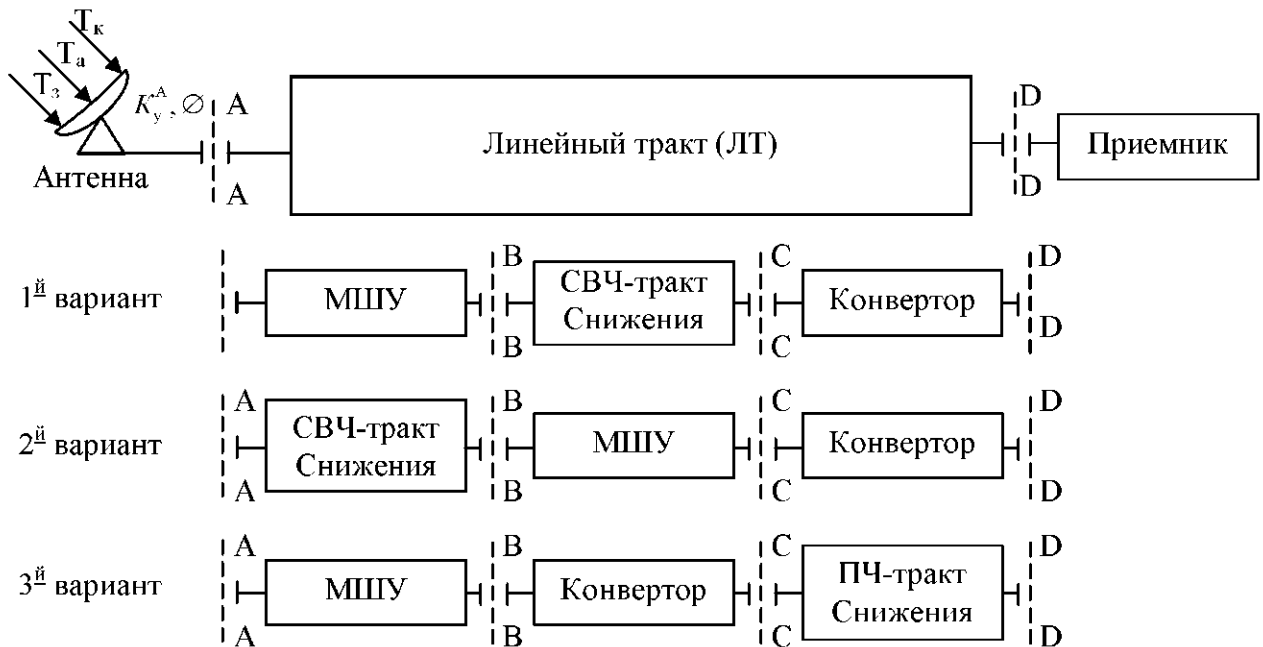


Рис.6. Варианты построения приемного тракта Земной станции системы спутниковой связи.

2. Значения параметров элементов структурных схем приемного тракта Земной станции ССС, причем обозначения соответствуют приведенным в теоретической части:

$$\begin{aligned}
 f_c &= 11 \text{ ГГц}; & T_{\text{ш.вх.}}^{\text{МШУ}} &= 60 \text{ К}; \\
 f_{\text{ПЧ}} &= 0,95 \text{ ГГц}; & K_y^{\text{конв.}} &= 10^5; \\
 T_o &= 290 \text{ К}; & T_{\text{ш.вх.}}^{\text{конв.}} &= 75 \text{ К}; \\
 S &= 0,2; & T_{\text{ш.вх.}}^{\text{пр.}} &= 10^4; \\
 K_y^{\text{МШУ}} &= 100; & &
 \end{aligned}$$

Примечания:

1. Остальные значения параметров приведены в теоретической части работы и в таблице 1.
2. Для трех вариантов построения приемного тракта ЗС ССС (рис.6) вывести и привести расчетные формулы в соответствии с приведенными обозначениями, как для $T_{ш.ЗС}^{\Sigma AA}$, так и для выражения добротности ЗС ССС.

Таблица 1. Варианты наборов параметров для расчета.

Параметры	$\eta_{тр.Сн.}^{ПЧ}=0,9$				$\eta_{тр.Сн.}^{ПЧ}=0,95$			
	0,8	0,85	0,9	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95
$\frac{СВЧ}{\eta_{тр.Сн.}=0,9}$ $\varnothing A, [м]$								
0,9	1	2	3	4	5	6	7	8
1,2	9	10	11	12	13	14	15	16
2,4	17	18	19	20	21	22	23	24
3,7	25	26	27	28	29	30	31	32
5,0	33	34	35	36	37	38	39	40
7,0	41	42	43	44	45	46	47	48
12,0	49	50	51	52	53	54	55	56

ЗАДАНИЕ:

Определить суммарную эквивалентную шумовую температуру $T_{ш.ЗС}^{\Sigma AA}$ на входе Земной станции в плоскости стыковки антенны с линейным трактом Земной станции ССС и добротность ЗС ССС для трех структурных схем приемного тракта по одному заданному варианту наборов параметров для расчета ЗС ССС представить в дБ.

3. Требования к оформлению.

1. На первом листе должны быть указаны:
ВУЗ, группа, Ф.И.О., дата, наименование темы работы, номер варианта.
2. Привести все исходные данные для вашего варианта из раздела "ДАНО".
3. По каждому вопросу из раздела "НАЙТИ" привести содержание вопроса, формулу по которой будет произведен расчёт, значения параметров в формуле для вашего варианта, ответ, размерность.