

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 10.09.2024 00:03:52  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca91190c4d9a1b50c5f11ca4d17c41b4ca11056018

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Юго-Западный государственный университет»**  
**(ЮЗГУ)**

**Кафедра космического приборостроения и систем связи**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе  
**О.Г. Локтионова**  
« 9 » *сентября* 2024 г.



**Определение параметров системы спутникового телерадиовещания**

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов направления подготовки  
11.03.02, Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Курск, 2024

УДК 621.3.095

Составители: И.Г. Бабанин, Е.Ю. Бабанина

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
заведующий кафедрой *В.Г. Андронов*

**Определение параметров системы спутникового телерадиовещания:** методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. И.Г. Бабанин, Е.Ю. Бабанина. – Курск, 2024. – 24 с.

Содержат методические указания по выполнению практической работы «Определение параметров системы спутникового телерадиовещания».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочей программы дисциплины.

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *9.04* Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л.1,26. Тираж 100 экз. Заказ *608* . Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Лабораторная работа №1

### «Расчет системных параметров приёмного оборудования»

Лабораторное задание:

Определить параметры для юстировки приемной антенны (азимута и угла места) в целях обеспечения связи между выбранным телекоммуникационным спутником, расположенным на геостационарной орбите, и абонентским приемным устройством.

1. Определить географические координаты точки, в которой будет приниматься сигнал со спутника.
2. Выбрать телекоммуникационный спутник, расположенный на геостационарной орбите.
3. Рассчитать азимут и угол места для юстировки наземной приемной антенны.
4. Определить для заданного варианта системы спутникового телевидения:
  - полосу пропускания абонентского приемного устройства;
  - требуемое отношение сигнал/шум на входе абонентского приемника;
  - затухание сигнала в свободном пространстве;
  - коэффициенты усиления спутниковой передающей антенны и абонентской антенны.
5. По найденным параметрам рассчитать необходимую мощность спутникового передатчика.

Порядок выполнения работы

1. Из приложения А (Таблица А1) по № варианта определите координаты местности, в которой Вы проживаете.
2. Из приложения А (Таблица А2) выберите спутник связи и запишите его название и положение на орбите.
3. Рассчитайте азимут и угол места для юстировки приемной антенны.

*Перед расчетами нужно убедиться, что прием сигналов с выбранного спутника в данной точке возможен. Для этого необходимо проверить выполнение неравенства*

$$\cos(D_{\text{сп}} - D) \cos \text{Ш} > 0.1513, \quad (1)$$

*иначе спутник находится за линией горизонта.*

Угол места, град.

$$УМ = \arctg \frac{\cos(D_{\text{сп}} - D) \cos \text{Ш} - 0,1513}{\sqrt{1 - \cos^2(D_{\text{сп}} - D) \cos^2 \text{Ш}}}, \quad (2)$$

где  $D_{\text{сп}}$  - долгота спутника (положение на орбите), град.;

$D$  - долгота места расположения абонентского приемника, град.;

$\text{Ш}$  - широта места расположения абонентского приемника, град.

Азимут, град.

$$A = 180^\circ + \arctg \frac{\text{tg}(D - D_{\text{сп}})}{\sin \text{Ш}} \quad (3)$$

Из **таблицы А3** выбрать исходные данные для выполнения расчетов.

4. Определите шумовую полосу частот абонентского приемника

$$\Delta f_{\text{ша}} = \gamma 2\Delta f_{\text{пик}}, \text{ Гц.} \quad (4)$$

где  $\gamma = 1.1$  - коэффициент, определяемый избирательными свойствами приемника;

$\Delta f_{\text{пик}} = m_f F_{\text{макс}}$  - пиковая девиация частоты,  
 $F_{\text{макс}}$  - верхняя частота видеосигнала (для отечественного стандарта  $F_{\text{макс}} = 6$  МГц).

5. Определите необходимое отношение сигнал/шум на входе абонентского приемника

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вх}} = \frac{\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вых}} F_{\text{макс}}^3}{12 \Delta f_{\text{ша}} \Delta f_{\text{пик}}^2 k_{\text{в}}}, \quad (5)$$

где  $(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вых}}$ , ед. - нормируемое отношение с/ш в канале на выходе демодулятора (для спутникового ТВ канала 1-го класса - 53 дБ, 2-го класса - 48 дБ);

$k_{\text{в}} = 65$  ед. - влияние взвешивающих и восстанавливающих контуров (18.1 дБ).

Полученное значение  $(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$  нужно выразить в дБ

$$(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}, \text{ дБ} = 10 \lg [(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}, \text{ ед.}] \quad (6)$$

6. Определите коэффициент запаса на участке спутник-абонентский приемник

$$a_{ca} = \frac{a_{зс}}{a_{зс} - 1} \quad (7)$$

7. Рассчитайте эквивалентную шумовую температуру абонентской приемной установки

$$T_{\text{пр у}} = T_a \eta_{\text{ф}} + T_0 (1 - \eta_{\text{ф}}) + T_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где  $T_a$  - эквивалентная шумовая температура антенны (200 К);

$T_0$  - абсолютная температура окружающей среды (290 К);

$\eta_{\text{ф}}$  - КПД фидерной линии (0.7-0.9);

$T_{\text{пр}}$  - эквивалентная шумовая температура приемника (150 - 500 К).

8. Рассчитайте ослабление сигнала в свободном пространстве

$$L_0 = 20 \lg (4.189 * 10^4 d F), \text{ дБ}, \quad (9)$$

где  $F$  - рабочая частота, ГГц,  
 $d$  - максимальная наклонная дальность, соответствующая  
 расстоянию от спутника до абонентской станции на границе  
 зоны видимости, км.

$$d = \sqrt{H_{орб}(2R_з + H_{орб})}, \quad (10)$$

где  $H_{орб}$  - высота геостационарной орбиты (35800 км);  
 $R_з$  - радиус Земли (6370 км)

$$L_0, \text{ раз} = 10^{(L_0, \text{ дБ} / 10)}, \quad (11)$$

9. Определите коэффициенты усиления бортовой передающей антенны и антенны абонентской установки.

Антенна спутника

$$G_{пд с} = h_a (49000 / \Delta\phi_б), \text{ раз}, \quad (12)$$

где  $h_a$  - коэффициент использования поверхности зеркала антенны  
 (0.5-0.6).

$$G_{пд с}, \text{ дБ} = 10 \lg (G_{пд с}, \text{ раз}). \quad (13)$$

Антенна абонентского приемника

$$G_{пр а}, \text{ дБ} = 20 \lg (D) + 20 \lg (f) + 17.5, \quad (14)$$

где  $D$  - диаметр антенны, м,  $f$  - рабочая частота, ГГц.

$$G_{пр а}, \text{ раз} = 10^{(G_{пр а}, \text{ дБ} / 10)}. \quad (15)$$

10. Рассчитайте требуемую мощность бортового передатчика

$$P_{пд с} = \frac{L_о L_{доп} k T_{пр у} \Delta f_{ша} a_{са}}{G_{пр а} G_{пд с} \eta_{сп} \eta_{па}} \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вх}, \quad (16)$$

где  $L_{доп} = 3$  (4.8 дБ) - дополнительные потери в атмосфере;

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  - постоянная Больцмана;

$\eta_{сп} = \eta_{па} = 0.7 - 0.9$  - КПД фидеров на спутнике и в

абонентском приемнике;

$\Delta f_{\text{ша}}$  шумовая полоса частот абонентского приемника (рассчитана по формуле 3), Гц.

Результаты выполнения практической работы запишите в таблицы исходных и расчетных данных, формы которых приведены ниже:

### Форма отчетности

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

а) исходные данные в соответствии с вариантом.

– Номер зачетной книжки .....

– Общие данные для расчета взятые из Приложения А по форме, представленной ниже

Название спутника (Дсп)	.....
Д / Ш, град	.....
$F$ , ГГц	.....
$\Delta\phi_6$ , град	.....
$D_a$ , м	.....
$m_f$ , ед	.....
$a_{зс}$ , ед	.....

б) Результаты выполнения практической работы запишите в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

УМ, град	.....
А, град	.....
$\Delta f_{\text{ша}}$ , МГц	.....
$(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$ , раз / $(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$ , дБ	.....
$T_{\text{пр у}}$ , град. К	.....
$L_0$ , раз / $L_0$ , дБ	.....
$G_{\text{пд с}}$ раз / $G_{\text{пд с}}$ , дБ	.....
$G_{\text{пр а}}$ , раз / $G_{\text{пр а}}$ , дБ	.....
$P_{\text{пд}}$ , Вт	.....
	.....

## Приложение А

Таблицы исходных данных

Таблица А1- Географические координаты некоторых городов России

Последние две цифры номера зач. книжки	Название	Координаты, град
01, 51	Архангельск	64 СШ, 41 ВД
02, 52	Астрахань	47 СШ, 48 ВД
03, 53	Барнаул	53 СШ, 83 ВД
04, 54	Братск	56 СШ, 102 ВД
05, 55	Брянск	53 СШ, 34 ВД
06, 56	Владивосток	43 СШ, 132 ВД
07, 57	Волгоград	49 СШ, 44.5 ВД
08, 58	Вологда	59 СШ, 39.5 ВД
09, 59	Воронеж	53 СШ, 39 ВД
10, 60	Воркута	67 СШ, 64 ВД
11, 61	Екатеринбург	57 СШ, 60 ВД
12, 62	Ижевск	57 СШ, 53 ВД
13, 63	Йошкар-Ола	57 СШ, 47.7 ВД
14, 64	Казань	56 СШ, 49 ВД
15, 65	Калининград	54.5 СШ, 20 ВД
16, 66	Калуга	54 СШ, 37 ВД
17, 67	Краснодар	45 СШ, 38 ВД
18, 68	Красноярск	56 СШ, 93 ВД
19, 69	Курск	53 СШ, 37 ВД
20, 70	Магадан	59 СШ, 151 ВД
21, 71	Магнитогорск	53 СШ, 61 ВД
22, 72	Москва	56 СШ, 37 ВД
23, 73	Мурманск	68.5 СШ, 33 ВД
24, 74	Н- Новгород	56.5 СШ, 44 ВД
25, 75	Новосибирск	55 СШ, 83 ВД
26, 76	Новороссийск	44 СШ, 37 ВД
27, 77	Норильск	69 СШ, 88 ВД
28, 78	Омск	54 СШ, 73 ВД
29, 79	Оренбург	51.5 СШ, 55 ВД
30, 80	Орел	56 СШ, 36 ВД
31, 81	Пермь	58 СШ, 56 ВД

32, 82	Петрозаводск	61.5 СШ, 34 ВД
33, 83	Псков	57.5 СШ, 28 ВД
34, 84	Ростов на Дону	47 СШ, 40 ВД
35, 85	Самара	52 СШ, 50.5 ВД
36, 86	Ст-Петербург	59.5 СШ, 30 ВД
37, 87	Смоленск	54 СШ, 33 ВД
38, 88	Сочи	43 СШ, 39 ВД
39, 89	Ставрополь	45 СШ, 43.5 ВД
40, 90	Сыктывкар	62 СШ, 51 ВД
41, 91	Тамбов	55 СШ, 42 ВД
42, 92	Тверь	57 СШ, 36 ВД
43, 93	Томск	57 СШ, 84.5 ВД
44, 94	Улан-Уде	52 СШ, 107 ВД
45, 95	Уфа	54 СШ, 56 ВД
46, 96	Хабаровск	48 СШ, 133 ВД
47, 97	Челябинск	55 СШ, 61.3 ВД
48, 98	Чита	52 СШ, 113 ВД
49, 99	Ярославль	57 СШ, 39.5 ВД
50, 00	Якутск	62 СШ, 129 ВД

Таблица А2 - Координаты основных телевещательных спутников

Название спутника связи	Положение на орбите	Язык
Горизонт-36	103° в. д.	Русский
Горизонт-31	90° в. д.	Русский
Горизонт-35	80° в. д.	Русский
Panamsat 4	68.5° в. д.	Англ., африканас
Intelsat 4	60° в. д.	Русский
Intelsat 703	57° в. д.	Русский, казахский
Горизонт-38	53° в. д.	Русский
Галс 1&2 **	36° в. д.	Русский
Astra **	19.2° в. д.	Англ., нем., хинди
Eutelsat II-F3	16° в. д.	Араб., фр., ит. и пр.
Hot Bird **	13° в. д.	разные
Eutelsat II-F2	10° в. д.	Англ., тур., ит. и пр.
Eutelsat II-F4	7° в. д.	Греч. и пр.
Sirius **	5.2° в. д.	Швед., англ.
Thor **	0.8° в. д.	Сканд., англ
Intelsat 707	1° з. д.	Норв., англ., фр.

ПРИМЕЧАНИЕ: - \*\* спутниковый ТВ канал 1-го класса

Таблица А3 - Таблица для выбора данных для энергетического расчета спутникового канала

Последние две цифры номера зач. книжки	$F$ , ГГц	$\Delta\phi_0$ , град	$D_a$ , м	$m_f$ , ед	$a_{зс}$ , ед.
01, 21, 41, 61, 81	11.9	5.5	1.0	1.7	8
02, 22, 42, 62, 82	11.8	6.0	1.1	1.6	11
03, 23, 43, 63, 83	12.8	4.0	0.9	1.9	7
04, 24, 44, 64, 84	12.0	3.5	1.3	1.8	9
05, 25, 45, 65, 85	12.1	3.0	1.3	1.6	10
06, 26, 46, 66, 86	12.2	4.0	1.4	1.7	7
07, 27, 47, 67, 87	12.3	4.5	1.5	1.0	8
08, 28, 48, 68, 88	12.4	5.0	1.6	1.2	9
09, 29, 49, 69, 89	12.5	5.5	1.8	1.3	11
10, 30, 50, 70, 90	12.6	6.0	1.9	1.7	9
11, 31, 51, 71, 91	11.7	3.0	1.4	1.5	8
12, 32, 52, 72, 92	12.3	3.5	1.2	1.6	7
13, 33, 53, 73, 93	11.6	4.0	1.1	1.8	11
14, 34, 54, 74, 94	11.5	4.5	1.4	1.6	10
15, 35, 55, 75, 95	11.7	5.0	1.5	1.7	8
16, 36, 56, 76, 96	11.8	5.5	1.3	1.5	8
17, 37, 57, 77, 97	11.9	6.0	0.9	1.6	9
18, 38, 58, 78, 98	12.0	5.5	1.0	1.7	10
19, 39, 59, 79, 99	12.1	5.0	1.3	1.8	11
20, 40, 60, 80, 00	12.2	4.5	1.6	1.9	9

## Лабораторная работа №2

### «Расчёт энергетического потенциала линии «вниз» для спутниковой системы вещания»

Цель работы: Произвести энергетический расчет линий «вниз» для спутниковой системы вещания.

Лабораторное задание:

– определить значения мощностей передатчика и приемника на линиях «вниз», при которых спутниковый канал надежно работает в условиях помех и не содержит излишних энергетических запасов;

– построить диаграмму уровней сигнала на линии «вниз» для заданной спутниковой системы.

Таблица 1 - Варианты исходных данных для выполнения практических заданий

Вариант		Последняя цифра зачетной книжки				
		0, 6	1, 7	2, 4	3, 8	5, 9
Предпоследняя цифра зачетной книжки	0, 5	A→B	A→C	A→D	B→E	B→C
	1, 6	B→D	C→B	D→B	C→A	X→D
	2, 7	D→C	D→A	A→B	A→C	A→D
	4, 8	B→A	B→E	C→E	D→E	D→E
	3, 9	B→D	C→D	C→A	D→C	B→E

Таблица 2 - Параметры бортовых ретрансляторов КС

Система		A	B	C	D	E
Координаты		103° в.д.	101° в.д.	95° в.д.	85° в.д.	66° в.д.
Диапазон f, ГГц		14/11	14/11	14/11	14/11	14/11
Коэффициент усиления антенны G, дБ	Прием	33	35	28	30	29
	Передача	28	30	25	27	26
Спектральная плотность мощности S, дБВт/Гц		-54	-53	-52	-51	-50
Коэффициент шума приемника КШ		8	7,5	6	5	7
Шумовая температура антенны T <sub>A</sub> , К		40	50	55	60	45
КПД АФТ		0,80	0,90	0,90	0,85	0,80
Шумовая температура СЛ T <sub>ΣЛ</sub> , К		100	95	90	100	110

Таблица 6 - Параметры приемных ЗС

Система	A	B	C	D	E
Координаты	35° в.д.	85° в.д.	73° в.д.	52° в.д.	78° в.д.
	60° с.ш.	45° с.ш.	49° с.ш.	47° с.ш.	42° с.ш.

Диапазон f, ГГц	14/11	14/11	14/11	14/11	14/11
Диаметр антенны DA, м	3	8	9	10	6
Эффективная полоса частот $\Delta f_{ш}$ , МГц	36	72	36	33	36
Коэффициент шума приемника КШ	6	8	7	5	7,5
Шумовая температура антенны ТА, К	60	58	70	80	90
КПД АФТ	0,90	0,80	0,85	0,90	0,85
Отношение Pс/Pш дБ	15	15	15	15	15

## 1. Расчет спутниковой линии «вниз»

В расчетах необходимо учесть дополнительное ослабление энергии радиоволн на участках: поглощение в осадках – 0,8 дБ, поляризационные потери – 0,9 дБ, потери за счет рефракции – 0,2 дБ.

Коэффициент запаса для линии «вниз»  $b=1,2$  дБ.

Определить значение мощности передатчика бортового ретранслятора РПРДБ, при которой спутниковый канал надежно работает в условиях помех и не содержит излишних энергетических запасов.

1.1 Провести расчет расстояния между передающей КС и приемной ЗС антеннами по следующей формуле:

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(\psi)}, \quad (1)$$

где  $\cos(\psi) = \cos(\xi_{ЗС}) \cdot \cos(\beta)$ ;

$\xi_{ЗС}$  – широта земной станции;

$\beta$  – разность долгот земной и космической станций.

1.2 Определить суммарную шумовую температуру приемного тракта по формуле:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot \frac{(1-\eta)}{\eta} + \frac{T_{ш}}{\eta} \quad (2)$$

где  $T_A$  – шумовая температура антенны;

$T_0 \approx 290$  К;

$T_{ш} = (K_{ш} - 1) \cdot T_0$  – собственная шумовая температура приемника.

1.3 Для расчета коэффициента усиления антенны ЗС используется следующее выражение:

$$G_{3C} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2} \quad (3)$$

где  $g$  – коэффициент использования поверхности антенны (0,6÷0,8);  
 $D_A$  – диаметр антенны ЗС;  
 $\lambda$  – длина волны.

1.4 Дополнительное ослабление на трассе определяется следующим образом:

В дополнительных потерях сигнала учитываются поглощение в атмосфере (осадки)  $L_A$ , потери из-за несогласованности поляризации антенн  $L_{\Pi}$  и потери из-за рефракции  $L_P$ .

$$L_{\text{доп}} = L_A + L_{\Pi} + L_P. \quad (4)$$

1.5 Мощность передатчика КС определяется по формуле:

$$P_{\text{ПРД(КС)}} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot L_{\text{доп}} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш.з.}} \cdot b \cdot \left( \frac{P_C}{P_{\text{ш}} \right)_{\Sigma}}{\lambda^2 \cdot G_{\text{ПРД}} \cdot G_{\text{ПРМ}} \cdot \eta_{\text{ПРД}} \cdot \eta_{\text{ПРМ}}} \quad (5)$$

где  $d$  – расстояние между КС и ЗС;  
 $L_{\text{доп}}$  – дополнительное ослабление на трассе;  
 $\Delta f_{\text{ш.з.}}$  – шумовая полоса приемника;  
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт/Гц·град – постоянная Больцмана;  
 $T_{\Sigma} = 2065,6$  К – суммарная шумовая температура;  
 $\Delta f_{\text{ш.з.}} = 28$  МГц – шумовая полоса приемника;  
 $b = 1,2$  дБ (1,32) – коэффициент запаса для линии «вниз».

1.6 Ослабление сигнала между КС и ЗС определяется по формуле

$$L_0 = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2}, \quad (6)$$

где  $d$  – расстояние между КС и ЗС;  
 $\lambda$  – длина волны.

1.7 Суммарная мощность шумов на входе приемника рассчитывается следующим образом:

$$P_{\text{ш}} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}} \quad (7)$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт/Гц·град – постоянная Больцмана;  
 $T_{\Sigma} = 2065,6$  К – суммарная шумовая температура;  
 $\Delta f_{\text{ш}} = 28$  МГц – шумовая полоса приемника.

На основании проведенных расчетов простройте диаграмму уровней на линии «вниз», как показано на рисунке 1.

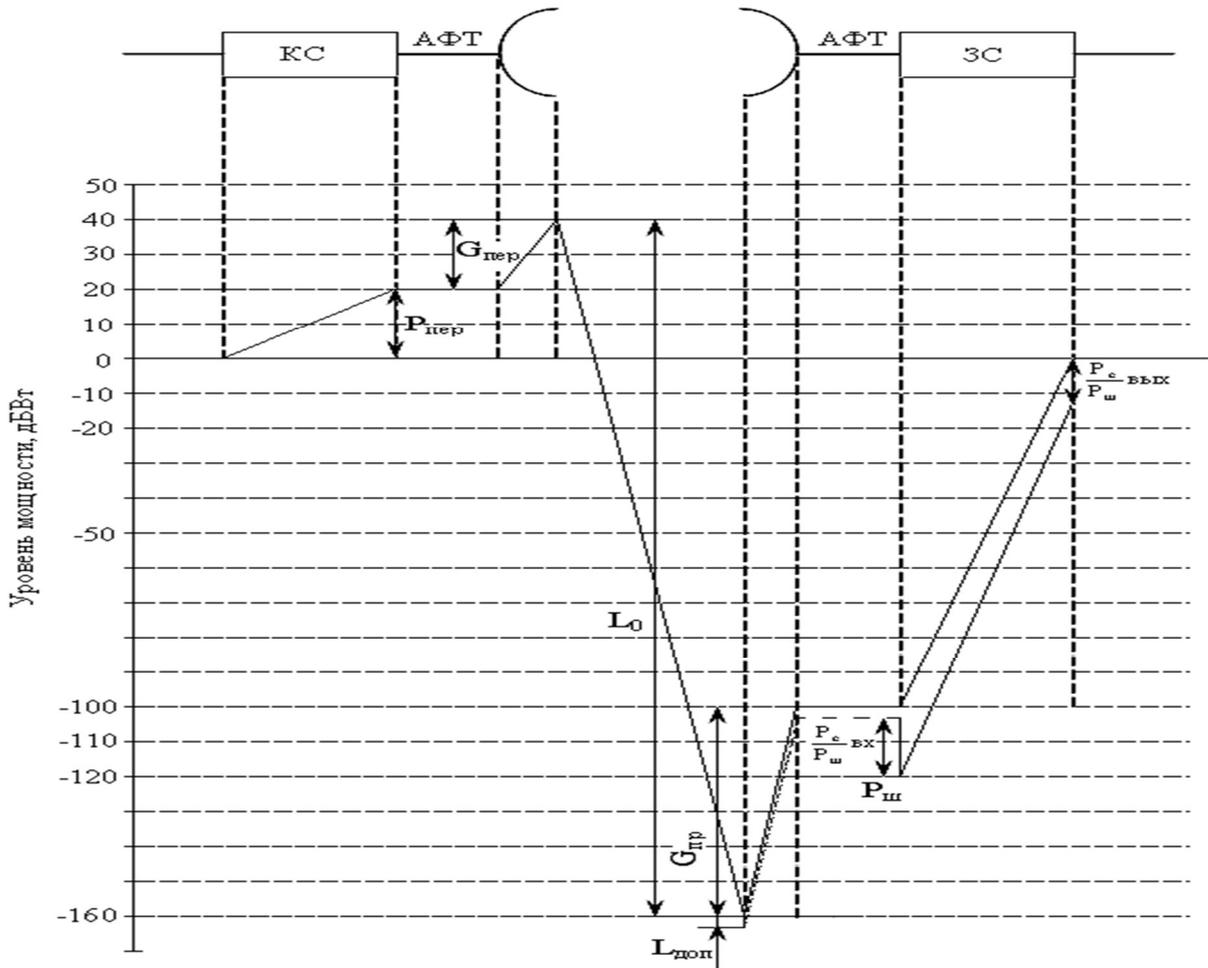


Рисунок 1 - Диаграмма уровней на участке «вниз» КС-ЗС

### Пример расчета

1.1 Расчет расстояния между передающей КС и приемной ЗС – разность долгот земной и космической станцией

$$\beta = \beta_{КС} - \beta_{ЗС} = 75^{\circ} - 66^{\circ} = 9^{\circ}$$

$$\cos(\psi) = \cos(50^{\circ}) \cdot \cos(9^{\circ}) = 0,64.$$

Тогда

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,64} = 42644 \cdot 0,9 = 38379,6 \text{ км.}$$

1.2 Расчет суммарной шумовой температуры приемного тракта

$$T_{ш} = (7 - 1) \cdot 290 = 1740 \text{ К.}$$

$$T_{\Sigma} = 100 + 290 \cdot \frac{(1 - 0,9)}{0,9} + \frac{1740}{0,9} = 2065,6 \text{ К.}$$

1.3 Расчет коэффициента усиления антенны ЗС

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{11 \cdot 10^9} = 0,027 \text{ м},$$

$$G_{3C} = \frac{10 \cdot 0,7 \cdot 10^2}{0,027^2} = 960219,48 \text{ или } 10 \lg(960219,48) = 59,8 \text{ дБ}.$$

#### 1.4 Расчет дополнительного ослабления на трассе

$$L_{\text{доп}} = 0,8 + 0,9 + 0,2 = 1,9 \text{ дБ или } 1,55 \text{ раз}.$$

#### 1.5 Расчет мощности передатчика КС

Коэффициент усиления антенны бортового ретранслятора равен 19 дБ или, переводя в относительные единицы, получим  $10^{\frac{19}{10}} = 79,43$  раз, коэффициент запаса для линии вниз  $b = 1,2$  дБ или 1,32 раз, КПДАФТ для приемной ЗС и бортового ретранслятора равен 0,9 дБ или 1,23 раз.

Тогда, подставив в формулу (5) данные, получим

$$P_{\text{прд(КС)}} = \frac{16 \cdot 3,14^2 \cdot (38379,6 \cdot 10^3)^2 \cdot 1,55 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2065,6 \cdot 28 \cdot 10^6 \cdot 1,32 \cdot 31,6}{0,027^2 \cdot 79,43 \cdot 960219,48 \cdot 1,23 \cdot 1,23} = 142,65 \text{ раз}$$

или  $P_{\text{прд(КС)}} = 21,54$  дБ.

#### 1.6 Ослабление сигнала между КС и ЗС

$$\lambda_{\uparrow} = \frac{c}{f_{\uparrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{14 \cdot 10^9} = 0,021 \text{ м},$$

$$L_{0\uparrow} = \frac{16 \cdot 3,14^2 \cdot (38379,6 \cdot 10^3)^2}{0,027^2} = 1,015 \cdot 10^{20} \text{ или } 200,1 \text{ дБ}.$$

#### 1.7 Суммарная мощность шумов на входе приемника

$$P_{\text{ш}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2065,6 \cdot 28 \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 10^{-12} = 0,8 \text{ нВт } (-121 \text{ дБ}).$$

## Форма отчетности по лабораторной работе

По результатам выполнения лабораторной работы в отчете нужно представить:

- ФИО студента и номер зачетной книжки .....
- Исходные данные для станции заданной системы, взятые из таблицы исходных данных по форме, представленной ниже:

### Параметры приемной ЗС

Диапазон частот, ГГц	.....
Координаты, Град. в.д., с.ш.	.....
Диаметр антенны, м	.....
Отношение $R_c/R_{ш}$ , дБ	.....
Коэффициент шума приемника, дБ	.....
Эффективная полоса частот, МГц	.....
КПД <sub>АФТ</sub> , дБ	.....
Шумовая температура антенны, Град . К	.....

### Параметры бортового ретранслятора

Диапазон частот, ГГц	.....
Координаты, Град. в.д.	.....
Коэффициент усиления антенны, дБ	.....
Коэффициент шума приемника, дБ	.....
Эффективная полоса частот, МГц	.....
КПД <sub>АФТ</sub> , дБ	.....
Шумовая температура СЛС, Град . К	.....
Спектральная плотность мощности, дБВт/Гц	.....

в) Ход проведения расчетов.

г) Результаты выполнения лабораторной работы, занесенные в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

Расстояния между передающей КС и приемной ЗС, км	.....
Коэффициент усиления антенны ЗС, дБ	.....
Дополнительное ослабление на трассе, дБ / раз	.....
Мощность передатчика КС, дБ	.....
Ослабление сигнала между КС и ЗС, дБ	.....
Суммарная мощность шумов на входе приемника ЗС, пВт /дБ	.....

д) Рисунок диаграммы уровней на участке «вниз» КС-ЗС

## Лабораторная работа № 3

### «Расчёт электромагнитной совместимости двух спутниковых систем телевизионного вещания»

Цель работы: Обучить студентов принципам расчета параметров сети спутниковой связи.

Лабораторное задание.

Провести оценку электромагнитной совместимости двух спутниковых систем: проектируемой и существующей.

Рассчитать мешающее влияние одной спутниковой системы на другую, сравнить степень влияния с допустимым значением.

Таблица 1 - Варианты исходных данных для выполнения лабораторных заданий

Вариант		Последняя цифра зачетной книжки				
		0, 6	1, 7	2, 4	3, 8	5, 9
Предпоследняя цифра зачетной книжки	0, 5	A→B	A→C	A→D	B→E	B→C
	1, 6	B→D	C→B	D→B	C→A	X→D
	2, 7	D→C	D→A	A→B	A→C	A→D
	3, 8	B→A	B→E	C→E	D→E	D→E
	4, 9	B→D	C→D	C→A	D→C	B→E

Таблица 2 - Параметры передающих ЗС

Система	A	B	C	D	E
Координаты	78° в.д. 42° с.ш.	52° в.д. 47° с.ш.	43° в.д. 69° с.ш.	65° в.д. 45° с.ш.	55° в.д. 50° с.ш.
Диапазон f, ГГц	14/11	14/11	14/11	14/11	14/11
Диаметр антенны DA, м	6	10	9	8	3
Эффективная полоса частот Δfш, МГц	36	33	36	72	36
Спектральная плотность мощности S, дБВт/Гц	-32	-33	-34	-30	-34
Отношение сигнал/шум Pс/Pш, дБ	16	16,5	15	14	17
КПД АФТ	0,95	0,90	0,85	0,90	0,80

Таблица 3 - Параметры бортовых ретрансляторов КС

Система		A	B	C	D	E
Координаты		103° в.д.	101° в.д.	95° в.д.	85° в.д.	66° в.д.
Диапазон f, ГГц		14/11	14/11	14/11	14/11	14/11
Коэффициент усиления антенны G, дБ	Прием	33	35	28	30	29
	Передача	28	30	25	27	26
Спектральная плотность мощности S, дБВт/Гц		-54	-53	-52	-51	-50

Коэффициент шума приемника КШ	8	7,5	6	5	7
Шумовая температура антенны ТА, К	40	50	55	60	45
КПД АФТ	0,80	0,90	0,90	0,85	0,80
Шумовая температура СЛ ТЭЛ, К	100	95	90	100	110

Таблица 6 - Параметры приемных ЗС

Система	А	В	С	Д	Е
Координаты	35° в.д. 60° с.ш	85° в.д. 45° с.ш.	73° в.д. 49° с.ш.	52° в.д. 47° с.ш.	78° в.д. 42° с.ш.
Диапазон f, ГГц	14/11	14/11	14/11	14/11	14/11
Диаметр антенны DA, м	3	8	9	10	6
Эффективная полоса частот Δfш, МГц	36	72	36	33	36
Коэффициент шума приемника КШ	6	8	7	5	7,5
Шумовая температура антенны ТА, К	60	58	70	80	90
КПД АФТ	0,90	0,80	0,85	0,90	0,85

Для оценки мешающего влияния использовать методику, согласно которой относительное приращение эффективной шумовой температуры приемного тракта системы, подверженной влиянию, не должно превышать 6% значения шумовой температуры при отсутствии влияния.

При расчетах полагать, что антенна космической станции проектируемой системы имеет широкий луч; коэффициент передачи спутниковой линии  $\gamma = -15\text{дБ}$  (0,032).

## **1 Оценка возможных взаимных помех между спутниковыми системами**

Для определения необходимости координации с какой-либо системой проводится упрощенная оценка возможных взаимных помех между системами, заключающаяся в расчете кажущегося увеличения эквивалентной шумовой температуры спутниковой линии, вызванного помехами, и последующем сравнении полученного значения, выраженного в процентах, с пороговым значением, определенным Регламентом радиосвязи. Важно отметить, что анализируются помехи в обоих направлениях, т.е. помехи как создаваемые заявляемой системой, так и испытываемые ею. Превышения порогового значения приращения эквивалентной шумовой температуры линии в любой из анализируемых систем достаточно для заключения о необходимости координации.

При расчетах приращения эквивалентной шумовой температуры линии необходимо рассмотреть два возможных случая:

1) обе системы совместно используют одну или несколько полос частот, причем направления передачи в совпадающих полосах в обеих системах совпадают;

2) обе системы совместно используют одну или несколько полос частот, причем передача в совпадающих полосах ведется в системах в противоположных направлениях (реверсное использование частот).

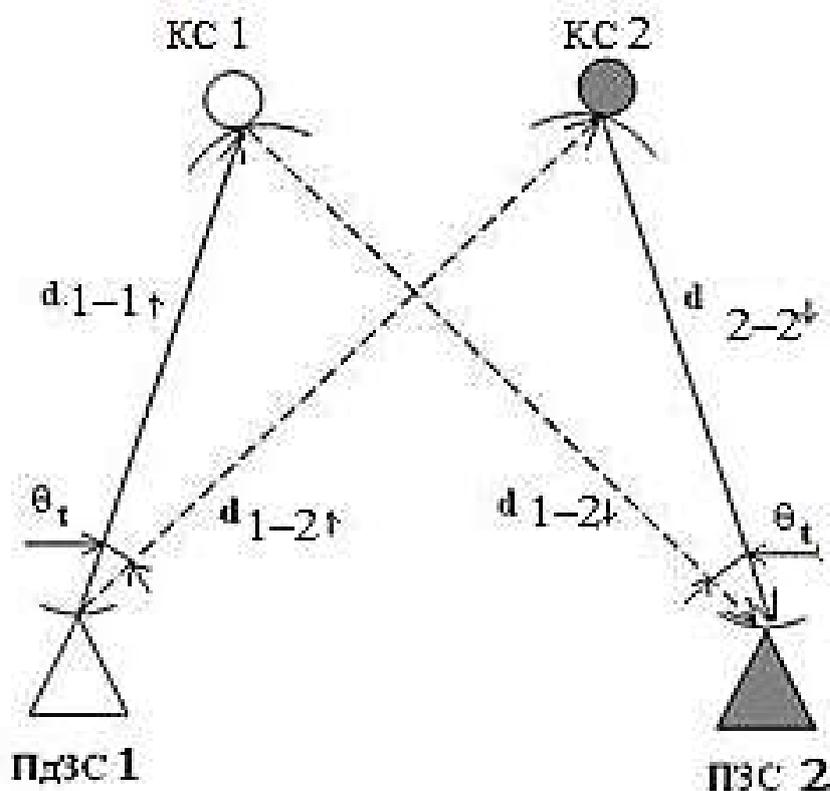


Рисунок 1 - Пояснение взаимодействия двух спутниковых систем

## 2 Расчет расстояния между земной станцией и геостационарным спутником

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos \psi},$$

где  $\cos \psi = \cos \xi \cdot \cos \beta$ ;

$\xi, \beta$  - соответственно широта земной станции и разность по долготе между спутником и земной станцией;

$d_1$ - наклонная дальность между ПДЗС 1 и КС 1

$d_2$ - наклонная дальность между ПДЗС 1 и КС 2.

$d_3$ - наклонная дальность между КС 1 и ПЗС 2.

Топоцентрический угловой разнос

Топоцентрический угловой разнос между двумя КС в точке расположения ПдЗС 1:

$$\theta_{tB} = \arccos \left[ \frac{d_1^2 + d_2^2 - (84332 \sin \frac{\theta_g^0}{2})^2}{2 \cdot d_1 \cdot d_2} \right]$$

$\theta_g$  - разность по долготе между спутниками

### 3 Расчет коэффициента усиления антенны земной станции в заданном направлении

Для антенн больших размеров при  $\frac{D_B}{\lambda} \geq 100$  (максимальное усиление):

$$G(\varphi)_M = 32 - 25 \lg \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол между осью антенны и заданным направлением, град.

Для антенн малых размеров при  $\frac{D}{\lambda} < 100$ :

$$G(\varphi)_M = 32 - 10 \lg \frac{D}{\lambda} - 25 \lg \varphi,$$

где  $D$  – диаметр антенны;

$\lambda$  – длина волны.

### 4 Расчет увеличения шумовой температуры приемной системы на выходе приемной антенны

4.1 Увеличение шумовой температуры приёмной системы бортового ретранслятора, подверженного влиянию

$$\Delta T \delta = S + G_{ЗС} + G_{КС} + 228,6 - L_0$$

где  $S$  - спектральная плотность мощности, подводимая к передающей антенне мешающей станции;

$G_{ЗС}$  - коэффициент усиления антенны мешающей передающей ЗС, дБ;

$G_{КС}$  - коэффициент усиления антенны спутника, подверженной влиянию (на приём), дБ;

$L_0 = 20(\lg f_{ПЕР} + \lg d) + 32,45$  - ослабление сигнала на линии мешающая передающая земная станция – спутник, подверженный влиянию, дБ;

4.2 Приращение эквивалентной шумовой температуры линии

$$\Delta T_{Л} = \Delta T_{З} + \gamma \Delta T \delta$$

где  $\gamma = -15$  дБ (0,032) – коэффициент передачи спутниковой линии, если поляризация на двух системах одинаковая;

4.3 Относительное приращение эффективной шумовой температуры приёмного тракта системы, подверженной влиянию

$$\frac{\Delta T_{Л}}{T} \cdot 100$$

где  $T$  – шумовая температура спутниковой линии связи системы, подверженной влиянию

На основании проведенных расчетов сделать вывод, есть ли необходимости производить коррекцию между системами или между системами коррекция не требуется.

### Пример расчета.

Исходные данные - согласно варианта задания  
 $1 \rightarrow 3$  (Система 1 влияет на систему 2).

1. Расчет расстояния между земной станцией и геостационарным спутником

$d_1$ - наклонная дальность между ПДЗС 1 и КС 1

$$\begin{aligned} d_1 &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(11^\circ) \cdot \cos(50^\circ)} = \\ &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,982 \cdot 0,643} = 38463,33 \text{ км;} \end{aligned}$$

$d_2$ - наклонная дальность между ПДЗС 1 и КС 2.

$$\begin{aligned} d_2 &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(40^\circ) \cdot \cos(50^\circ)} = \\ &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,643 \cdot 0,766} = 39419,66 \text{ км;} \end{aligned}$$

$d_3$ - наклонная дальность между КС 1 и ПЗС 2.

$$\begin{aligned} d_3 &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(-7^\circ) \cdot \cos(79^\circ)} = \\ &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,993 \cdot 0,707} = 37964,72 \text{ км;} \end{aligned}$$

2. Топоцентрический угловой разнос между двумя КС в точке расположения ПДЗС 1:

$$\theta_t = \arccos \left[ \frac{38463,33^2 + 39419,66^2 - (84332 \sin \frac{29^\circ}{2})^2}{2 \cdot 38463,33 \cdot 39419,66} \right] = \arccos(0,853)$$

$$\theta_t = 31,43^\circ$$

3. Расчет коэффициента усиления антенны земной станции в заданном направлении

$$\frac{D_B}{\lambda_\uparrow} = \frac{D_B \cdot f_\uparrow}{c} = \frac{3 \cdot 14 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} = 140$$

Для ПДЗС 1 параметр  $\frac{D_B}{\lambda_\uparrow} > 100$ , угол  $\varphi$  – угол между направлением на КС 1 и КС 2, т.е  $\varphi = \theta_{тв}$ , тогда коэффициент усиления

$$G(\varphi)_B = 32 - 25 \lg \varphi = 32 - 25 \lg 31,43^\circ = -5,43 \text{ дБ}$$

$$\Phi_z = 15,85 (3/0,027)^{-0,6} = 0,938$$

$$0,938 < 31,43^0 < 48^0$$

Для ПЗС 2 параметр  $\frac{D_E}{\lambda_{\downarrow}} = \frac{D_E \cdot f_{\downarrow}}{c} = \frac{9 \cdot 11 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} = 330$ , угол  $\varphi$  – угол между направлением на КС 2 и КС 1, т.е  $\varphi = \theta_{ID}$ , тогда коэффициент усиления  $G(\varphi)_E = 32 - 25 \lg \varphi 31,43 = 32 - 25 \lg 31,43^0 = -5,43$  дБ

$$\Phi_z = 15,85(9/0,021)^{-0,6} = 0,417$$

$$0,417 < 31,43^0 < 48^0$$

4 Расчет увеличения шумовой температуры приемной системы на выходе приемной антенны

Для определения увеличения шумовой температуры на выходе приемной антенны КС 2: спектральная плотность мощности мешающей ПЗС 1 равна  $-34$  дБВт/Гц; коэффициент усиления антенны ПЗС 1 в направлении на КС 2 равен  $-5,43$  дБ; коэффициент усиления КС 2 равен  $28$  дБ:

$$L_0 = 20(\lg f_{ПЕР} + \lg d_2) + 32,45 = 20(\lg 14000 + \lg 39419,66) + 32,45 = 174,72 + 32,45 = 207,05, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T\delta = -34 + (-5,43) + 28 + 228,6 - 207,05 = 10,12, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T\delta = 10^{\frac{10,12}{10}} = 10,28 = 10 \text{ К}$$

Для определения увеличения шумовой температуры на выходе приемной антенны ЗС 2: спектральная плотность мощности мешающей КС 1 равна  $26$  дБВт/Гц; коэффициент усиления антенны КС 1 равен  $-50$  дБ; коэффициент усиления ПЗС 2 в направлении на мешающую КС 1 равен  $-5,43$  дБ:

$$Lg = 20(\lg f_{ПР} + \lg d_3) + 32,45 = 20(\lg 11000 + \lg 37964,72) + 32,45 = 204,84, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T_3 = -50 + (-5,43) + 26 + 228,6 - 204,84 = -5,67, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T_3 = 10^{\frac{-5,67}{10}} = 0,27, \text{ К.}$$

Приращение эквивалентной шумовой температуры линии

$$\Delta T_{Л} = 0,27 + 0,032 \cdot 10 = 0,59, \text{ К,}$$

Относительное приращение эффективной шумовой температуры приёмного тракта системы

$$\frac{0,59}{90} \cdot 100\% = 0,66\% < 6\%$$

## Форма отчетности по лабораторной работе

По результатам выполнения лабораторной работы в отчете нужно представить:

- ФИО студента и номер зачетной книжки .....
- данные для расчета, взятые из таблицы исходных данных по форме, представленной ниже:

Параметры КС		
Система	.....	.....
Координаты	.....	.....
Диапазон $f$ , ГГц	.....	.....
Коэффициент усиления антенны $G$ , дБ		
- Прием	.....	.....
- Передача	.....	.....
Спектральная плотность мощности $S$ , дБВт/Гц	.....	.....
Коэффициент шума приемника $K_{ш}$	.....	.....
Шумовая температура антенны $T_A$ , К	.....	.....
КПД АФТ	.....	.....
Шумовая температура СЛ $T_{ЭЛ}$ , К	.....	.....
Параметры ЗС		
Система	.....	.....
Координаты	.....	.....
Диапазон $f$ , ГГц	.....	.....
Диаметр антенны $D_A$ , м	.....	.....
Эффективная полоса частот $\Delta f_{ш}$ , МГц	.....	.....
Отношение сигнал/шум $P_c/P_{ш}$ , дБ	.....	.....
Спектральная плотность мощности $S$ , дБВт/Гц	.....	.....
КПД АФТ	.....	.....

а) Ход проведения расчетов.

б) Результаты выполнения лабораторной работы, занесенные в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

Топоцентрический угловой разнос	.....
Увеличение шумовой температуры на выходе приемной антенны КС	.....
Увеличение шумовой температуры на выходе приемной антенны ЗС	.....
Относительное приращение эффективной шумовой температуры приёмного тракта системы, подверженной влиянию	.....
Вывод о необходимости коррекции между системами	.....

По результатам выполнения лабораторной работы в отчете нужно представить:

- ФИО студента и номер зачетной книжки .....
- данные для расчета, взятые из таблицы исходных данных по форме, представленной ниже:

Параметры КС		
Система	.....	.....
Координаты	.....	.....
Диапазон $f$ , ГГц	.....	.....
Коэффициент усиления антенны $G$ , дБ	- Прием	.....
	- Передача	.....
Спектральная плотность мощности $S$ , дБВт/Гц	.....	.....
Коэффициент шума приемника $K_{\text{ш}}$	.....	.....
Шумовая температура антенны $T_A$ , К	.....	.....
КПД АФТ	.....	.....
Шумовая температура СЛ $T_{\text{эл}}$ , К	.....	.....
Параметры ЗС		
Система	.....	.....
Координаты	.....	.....
Диапазон $f$ , ГГц	.....	.....
Диаметр антенны $D_A$ , м	.....	.....
Эффективная полоса частот $\Delta f_{\text{ш}}$ , МГц	.....	.....
Отношение сигнал/шум $P_c/P_{\text{ш}}$ , дБ	.....	.....
Спектральная плотность мощности $S$ , дБВт/Гц	.....	.....
КПД АФТ	.....	.....

а) Ход проведения расчетов.

б) Результаты выполнения лабораторной работы, занесенные в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

Мощность передатчика КС	.....
Коэффициент усиления антенны КС	.....
Мощность передатчика ЗС	.....
Коэффициент усиления антенны ЗС	.....