

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 05.08.2023 09:01

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eab0f754943d14a4851fda56d089

## 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

2023 г.



## ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И УПРАВЛЕНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫМ СПЕКТРОМ

Методические указания  
по выполнению практических работ  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
по дисциплине «Теория электромагнитной совместимости и  
управление радиочастотным спектром»

Курск 2023

УДК 654:004.7 (075.8)

Составители: И.Е. Мухин

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
заведующий кафедрой космического приборостроения и систем связи  
*В. Г. Андронов*

**Теория электромагнитной совместимости и управление радиочастотным спектром:** методические указания по выполнению практических работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: И.Е. Мухин. – Курск, 2023. – 18 с.

Методические указания по выполнению практических работ содержат краткие теоретические сведения о методах решения прикладных задач теории электромагнитной совместимости и управления радиочастотным спектром, задания для выполнения работ, а также перечень вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Методические указания соответствуют учебному плану по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также рабочей программе дисциплины «Теория электромагнитной совместимости и управление радиочастотным спектром».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 23.08.2023. Формат 60x841/16.  
Усл. печ. л. 1,05. Уч.-изд. л. 0,95. Тираж 100 экз. Заказ 771. Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

Практическая работа № 1. Расчет суммарного коэффициента усиления антенны мешающей станции и станции реципиента .....	4
Практическая работа № 2. Определение величины защитного отношения на входе телевизионного приемника.....	8
Практическая работа № 3. Определение требуемого защитного отношения для радиоприемника при воздействии мешающего сигнала с известными параметрами .....	11
Практическая работа № 4. Определение эталонной диаграммы направленности для основной и кроссполяризации.....	13
Список литературы, рекомендуемой для подготовки к практическим занятиям.....	18

## Практическая работа № 1

### Расчет суммарного коэффициента усиления антенны мешающей станции и станции - реципиента

1 Цель работы:

- освоение методики расчёта суммарного коэффициента усиления антенны мешающей станции и станции реципиента.

2 Краткие теоретические сведения

Расчитать суммарный коэффициент усиления антенн мешающей станции и станции-реципиента в тракте распространения магистральной связи для помеховой ситуации, указанной на рисунке 1. Приняты следующие значения углов взаимодействия станций  $\varphi_t = 20^\circ$ ;  $\varphi_r = 120^\circ$  и зависимости коэффициентов усиления антенн, показанных на рисунках 2 и 3.

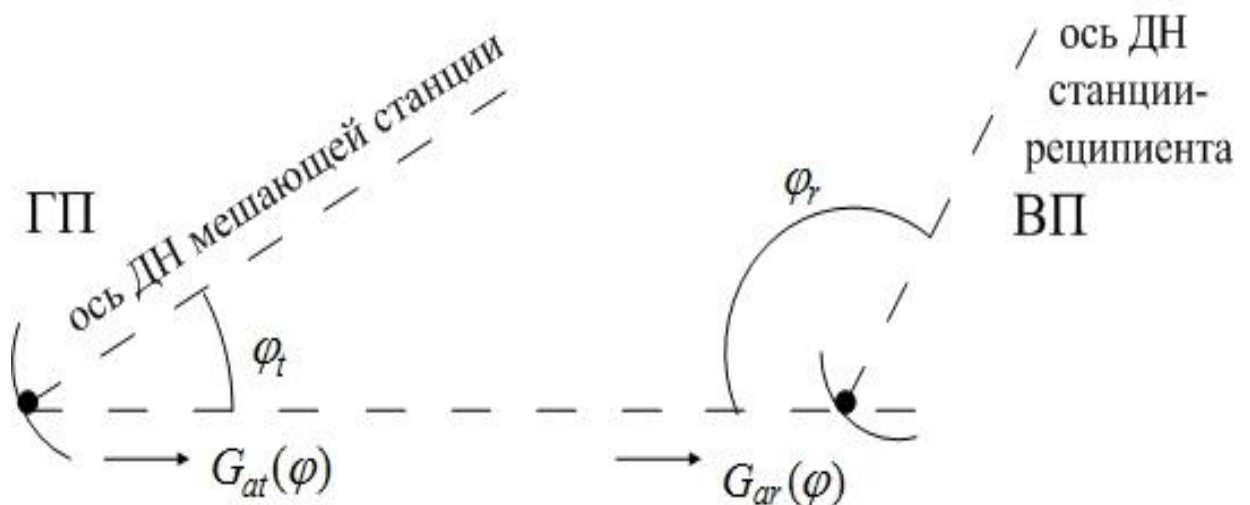


Рисунок 1 – Помеховая ситуация в тракте магистральной связи

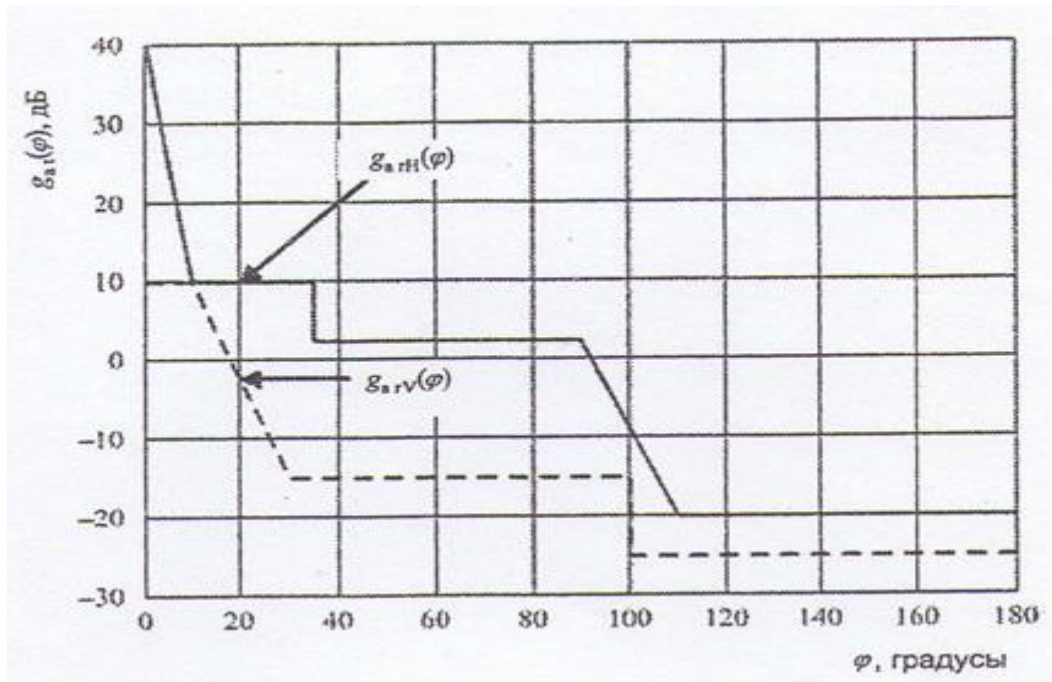


Рисунок 2 – Пример зависимости коэффициента усиления передающей антенны мешающей станции для основной и кроссполяризации

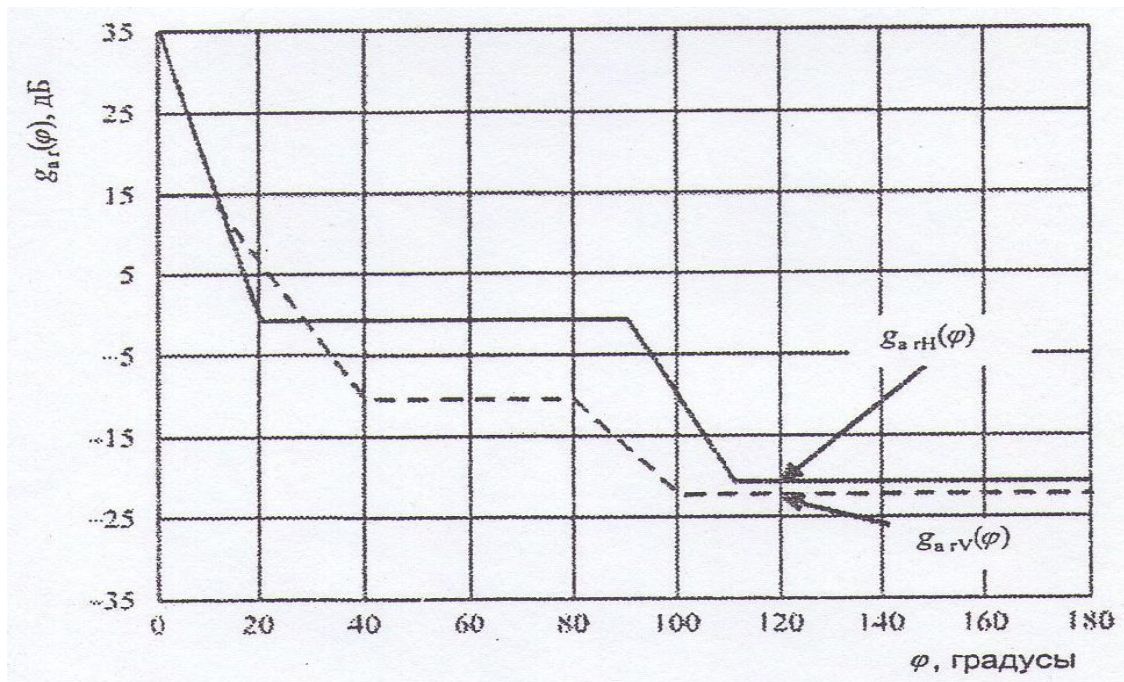


Рисунок 3 – Пример зависимости коэффициента усиления приемной антенны станции-реципиента для основной и кроссполяризации

Из рисунков 2 и 3 получены следующие показатели рассматриваемой помеховой ситуации:

1) Коэффициент усиления мешающей станции с основной (горизонтальной) поляризацией при угле  $\varphi_{at} = 20^\circ$  равен 10 дБ;

2) Коэффициент усиления антенны реципиента с основной поляризацией (вертикальной) при угле  $\varphi_r = 120^\circ$  равен - 22 дБ;

3) Коэффициент усиления антенны мешающей станции с кроссполяризацией при угле взаимодействия  $\varphi = 20^\circ$  равен - 2 дБ;

4) Коэффициент усиления антенны станции реципиента с кроссполяризацией при угле взаимодействия  $\varphi = 120^\circ$  равен - 20 дБ;

Суммарный коэффициент усиления антенн мешающей станции и станции-реципиента в тракте распространения мешающего сигнала для помеховой ситуации рассчитывается по формуле (1):

$$G_{At}(\varphi_t) + G_{Ar}(\varphi_r) = 10 \lg \left[ 10^{\frac{G_{AtH}(\varphi_t) + G_{ArV}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{AtV}(\varphi_t) + G_{ArH}(\varphi_r)}{10}} \right] \quad (1)$$

Подставив полученные значения в формулу (1), имеем:

$$G_{At}(\varphi_t) + G_{Ar}(\varphi_r) = 10 \lg \left[ 10^{\frac{10-22}{10}} + 10^{\frac{-2-20}{10}} \right] = -11,6 \text{ дБ}$$

Согласно теореме взаимности, результат взаимного вычисления коэффициента усиления не изменится при перемене передающей и приемной антенн.

Если антенны мешающей станции и станции-реципиента работают на совпадающих поляризациях, расчетное соотношение для помеховой ситуации имеет вид (2):

$$G_{At}(\varphi_t) + G_{Ar}(\varphi_r) = 10 \lg \left[ 10^{\frac{G_{AtH}(\varphi_t) + G_{ArH}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{AtV}(\varphi_t) + G_{ArV}(\varphi_r)}{10}} \right] \quad (1)$$

Для случая, аналогичного, но для совпадающих поляризаций, исходя из (2), имеем:

$$G_{At}(\varphi_t) + G_{Ar}(\varphi_r) = 10 \lg \left[ 10^{\frac{10-20}{10}} + 10^{\frac{-22-2}{10}} \right] = -9,6 \text{ дБ}$$

Последний результат говорит о том, что при совпадающих поляризациях, электромагнитная обстановка хуже.

### 3 Задание на практическую работу

Рассчитайте суммарный коэффициент усиления антенны мешающей станции и станции реципиента при следующих исходных данных:

- 1) Коэффициент усиления мешающей станции с основной (горизонтальной) поляризацией при угле  $\varphi_{at} = 50^\circ$  равен 15 дБ;
- 2) Коэффициент усиления антенны реципиента с основной поляризацией (вертикальной) при угле  $\varphi_r = 70^\circ$  равен - 12 дБ;
- 3) Коэффициент усиления антенны мешающей станции с кроссполяризацией при угле взаимодействия  $\varphi = 20^\circ$  равен - 2 дБ;
- 4) Коэффициент усиления антенны станции реципиента с кроссполяризацией при угле взаимодействия  $\varphi = 110^\circ$  равен - 30 дБ;

### 4 Контрольные вопросы

- 1) Приведите расчетное соотношение для оценки помеховой ситуации антенны мешающей станции и станции-реципиента, работающих на совпадающих поляризациях.
- 2) Дайте определение понятию станции-реципиента.
- 3) Что такое кроссполяризация?

## Практическая работа № 2

### Определение величины защитного отношения на входе телевизионного приемника

Цель работы:

- освоение методики определения величины защитного отношения на входе телевизионного приемника;

#### 2 Краткие теоретические сведения

Рассмотрим методику определения величины защитного отношения на входе телевизионного приемника на конкретном примере.

Пример: определить требуемую величину защитного отношения на входе ТВ приемника, работающего в 5-м телевизионном канале, если на его вход поступает мешающий ОВЧ-ЧМ сигнал радиостанции на частоте 95 МГц.

Рассмотрим частоты каналов видео и звука в Российской Федерации (таблица 1).

Таблица 1 – Частоты каналов в РФ

№	Частота видео, МГц	Частота звука, МГц
1	49,75	56,25
2	59,25	65,75
3	77,25	83,75
4	85,25	91,75
5	93,25	99,75
6	175,25	181,75
7	183,25	189,75
8	191,25	197,75
9	199,25	205,75
10	207,25	213,75
11	215,25	221,75
12	223,25	229,75

Определим несущую частоту радиосигнала изображения в 5-м телевизионном канале. Несущая частота радиосигнала



изображения в 5-м ТВ-канале равна 93,25 МГц. Частотная расстройка между несущим (полезным ТВ) сигналом и мешающим сигналом равна:

$$95 - 93,25 = 1,75 \text{ МГц}$$

Для этого значения расстройки по графикам рисунка 4 величина защитного отношения, которое обеспечивает хорошее качество изображения, должна быть  $\geq 55$  дБ.

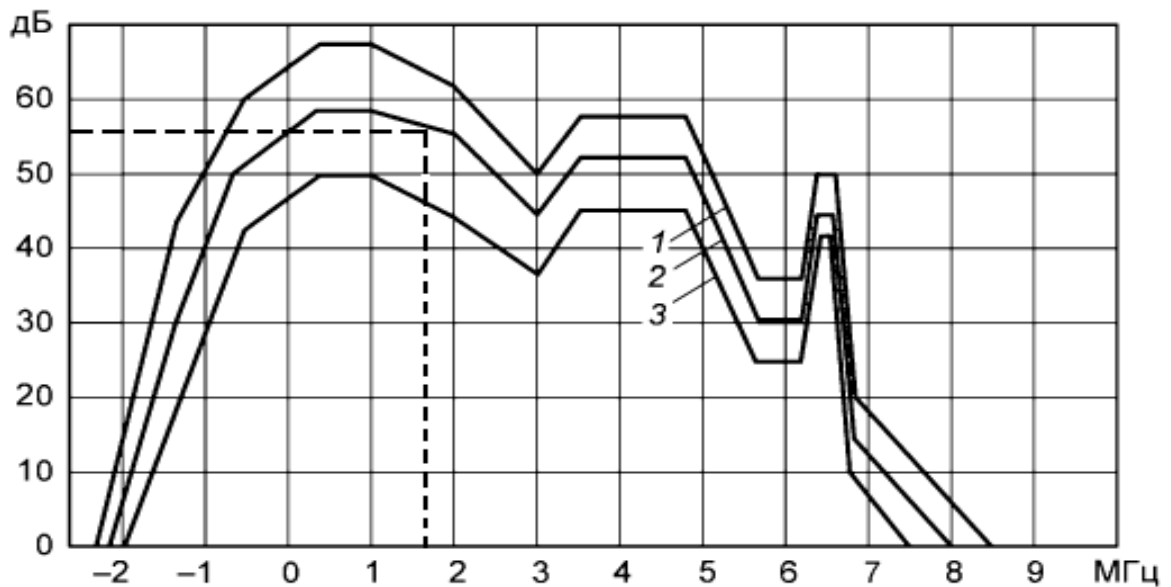


Рисунок 4 – Нормы на защитные отношения для системы SECAM К, D при помехе от гармонического колебания или ЧМ радиосигнала звука

На рисунке 4 приняты следующие обозначения:

- 1 – порог заметности;
- 2 – хорошее качество;
- 3 – удовлетворительное качество;

### 3 Задание на практическую работу

1) Определить требуемую величину защитного отношения на входе ТВ приемника, работающего в 12-м телевизионном канале, если на его вход поступает мешающий ОВЧ-ЧМ сигнал радиостанции на частоте 225 МГц.

2) Определить требуемую величину защитного отношения на входе ТВ приемника, работающего в 7-м телевизионном канале, если на его вход поступает мешающий ОВЧ-ЧМ сигнал радиостанции на частоте 190 МГц.

3) Определить требуемую величину защитного отношения на входе ТВ приемника, работающего в 1-м звуковом канале, если на его вход поступает мешающий ОВЧ-ЧМ сигнал радиостанции на частоте 55 МГц.

#### 4 Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение защитного отношения.
- 2) Как изменится алгоритм действий по определению требуемой величины защитного отношения на входе ТВ приемника, если частотная расстройка окажется отрицательной?

### Практическая работа № 3

#### Определение требуемого защитного отношения для радиоприемника при воздействии мешающего сигнала с известными параметрами

#### 1 Цель работы

- освоение методики расчета требуемого защитного отношения для радиоприемника при воздействии мешающего сигнала с известными параметрами

#### 2 Краткие теоретические сведения

Нормированная спектральная плотность мощности мешающего радиосигнала, модулированного по фазе цифровым сигналом, определяется выражением:

$$W(f) = \left( \frac{1}{\beta \cdot R} \right) \cdot \left( \frac{\sin x}{x} \right)^2, \text{ 1/Гц}$$

где  $x = \pi \cdot F$  ;

$$F = f_0 - f ;$$

$\beta = 0,5$  для модуляции 4-ФМ;

$R$  – скорость цифрового потока.

Относительная доля мощности мешающего сигнала, попадающая в полосу пропускания канала системы ОКН определяется по формуле:

$$\delta_{ОКН} = \frac{P_{мвх}}{P_{мвх}} = \Delta f_{ОКН} \cdot W(f_0)$$

Определим требуемое защитное отношение для приемника ОКН, на вход которого поступает полезный сигнал с параметрами: скорость цифрового потока  $R_1 = 64$  кбит/с, тип модуляции несущей – 4-ФМ, ширина полосы пропускания канала  $\Delta f_{ОКН} = 38$  кГц. Мешающий сигнал имеет следующие параметры: скорость цифрового потока  $R_2 = 40$  Мбит/с, тип модуляции несущей – 4-ФМ. Несущие частоты полезного и мешающего сигналов совпадают.

Для решения вышеописанной задачи первоначально определяем нормированную спектральную плотность мощности

мешающего сигнала на средней частоте полезного сигнала по формуле:

$$W(f_0) = \frac{1}{\beta \cdot R_2} = \frac{1}{0,5 \cdot 40 \cdot 10^6}; 1/\text{Гц}$$

Относительная доля мощности мешающего сигнала, попадающая в полосу пропускания канала системы ОКН составляет:

$$\delta_{\text{ОКН}} = \frac{3,8 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 40 \cdot 10^6} = 1,9 \cdot 10^{-3}$$

Мощность широкополосной помехи на выходе узкополосного канального фильтра приемника системы ОКН ослабляется в:

$$\frac{1}{\delta_{\text{ОКН}}} = \frac{10^3}{1,9} \approx 526,3 \text{ раза или } 27,2 \text{ дБ}$$

по сравнению с мощностью на входе.

Требуемое защитное отношение в этом случае определяется по формуле:

$$q_{\text{мдоп}} = 30,6 + 10 \lg \left( \frac{\Delta f_{\text{ОКН}}}{\beta \cdot R_2} \right)$$

Подставив необходимые данные в формулу, получим:

$$q_{\text{мдоп}} = 30,6 - 27,2 = 3,4 \text{ дБ}$$

### 3 Задание на практическую работу

Определить требуемое защитное отношение для приемника ОКН, на вход которого поступает полезный сигнал с параметрами: скорость цифрового потока  $R_1 = 100$  кбит/с, тип модуляции несущей – 4-ФМ, ширина полосы пропускания канала  $\Delta f_{\text{ОКН}} = 56$  кГц. Мешающий сигнал имеет следующие параметры: скорость цифрового потока  $R_2 = 70$  Мбит/с, тип модуляции несущей – 8-ФМ. Несущие частоты полезного и мешающего сигналов совпадают.

### 4 Контрольные вопросы

1) Дайте определение нормированной спектральной плотности мощности.

2) Как изменится алгоритм действий по определению требуемой величины защитного отношения для приемника ОКН, если частоты полезного и мешающего сигналов не совпадут?

## Практическая работа № 4

### Определение эталонной диаграммы направленности для основной и кроссполяризации

1 Цель работы:

- получение навыков расчета эталонной диаграммы направленности для основной и кроссполяризации.

2 Краткие теоретические сведения

Рассмотрим пример. Требуется определить эталонную диаграмму направленности для основной и кроссполяризации. Диаметр антенны 60 см; назначение – радиовещательная спутниковая служба (РСС), рабочая частота – 11,7 ГГц. Коэффициент использования поверхности КИП = 0,65.

Решение.

1) По заданной рабочей частоте рассчитывается значение длины волны в см:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{11,7 \cdot 10^9} = 0,0256 \text{ м} = 2,56 \text{ см}$$

2) Определяется соотношение:

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{60}{2,56} = 23,4$$

3) Проверяется соотношение

$$\frac{d}{\lambda} > 11$$

4) Общая эталонная диаграмма направленности приемной земной станции (ЗС) радиовещательной спутниковой системы в полосе частот 11,7 – 12,75 ГГц описывается выражениями (5) и (6), справедливыми для  $\frac{d}{\lambda} > 11$ .

Для основной поляризации выражение имеет вид:

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -2,5 \cdot 10^{-3} \left( \frac{d_a \cdot \varphi}{\lambda^2} \right), & \text{при } 0 \leq \varphi \leq \varphi_m; \\ G_{A1} - G_{A\max}, & \text{при } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_2; \\ 29 - 25 \lg \varphi - G_{A\max}, & \text{при } \varphi_2 \leq \varphi < \varphi_0; \\ -5 - G_{A\max}, & \text{при } \varphi_6 \leq \varphi < 70^\circ; \\ -G_{A\max}, & \text{при } 70^\circ \leq \varphi < 180^\circ; \end{cases}$$

$$\text{где } \varphi_m = \frac{\lambda}{d_a} \sqrt{\frac{G_{A\max} - G_{A1}}{0,0025}};$$

$$G_{A\max} = 10 \lg \left[ k_{\text{КПП}} \cdot \left( \frac{\pi \cdot d_a}{\lambda} \right)^2 \right];$$

$$G_{A1} = 29 - 25 \lg \varphi_2;$$

$$\varphi_2 = 95 \cdot \frac{\lambda}{d_a};$$

$$\varphi_6 = 10^{(34/25)};$$

$k_{\text{КПП}}$  – КИП антенны.

Для кроссполяризации выражение имеет вид:

$$F^2(\varphi) = \begin{cases} -25, & \text{при } 0 \leq \varphi < \varphi_{0,5}; \\ -25 + 8 \left( \frac{\varphi - 0,25 \cdot \varphi_{0,5}}{0,19 \cdot \varphi_{0,5}} \right) - G_{A\max}, & \text{при } 0,25 \varphi_{0,5} \leq \varphi < 0,44 \varphi_{0,5}; \\ -17, & \text{при } 0,44 \varphi_{0,5} \leq \varphi < \varphi_{0,5}; \\ -17 + c \left| \frac{\varphi - \varphi_{0,5}}{\varphi_1 - \varphi_{0,5}} \right| - G_{A\max}, & \text{при } \varphi_{0,5} \leq \varphi < \varphi_1; \\ 21 - 25 \lg \varphi - G_{A\max}, & \text{при } \varphi_1 \leq \varphi < \varphi_2; \\ -5 - G_{A\max}, & \text{при } \varphi_2 \leq \varphi < 70^\circ; \\ -G_{A\max}, & \text{при } 70^\circ \leq \varphi < 180^\circ; \end{cases}$$

где  $\varphi_{0,5} = 2 \frac{\lambda}{d} \sqrt{\frac{3}{0,0025}}$  – ширина ДН;

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{0,5}}{2} \sqrt{10,1875}, \quad \varphi_2 = 10;$$

$$c = 21 - 25 \lg(\varphi_1) - (G_{A\max} - 17).$$

Рассчитанные значения для основной поляризации:

$$\lambda = 2,5 \text{ см}; \quad \frac{d_a}{\lambda} = 23,4; \quad G_{A\max} = 35,5 \text{ дБ};$$

$$\varphi_m = 3,98^\circ; \quad \varphi_2 = 4,06^\circ; \quad G_{A1} = 13,78 \text{ дБ};$$

$$\varphi_b = 10^{(34/25)} = 22,91^\circ;$$

Для кроссполяризации:

$$\varphi_{0,5} = 2,96^\circ; \quad \varphi_1 = 4,73^\circ;$$

$$\varphi_2 = 10,96^\circ; \quad c = -14,36 \text{ дБ}.$$

Диаграмма направленности для основной и кроссполяризации приведена на рисунке 5. Диаграммы построены по вышеприведенным формулам.

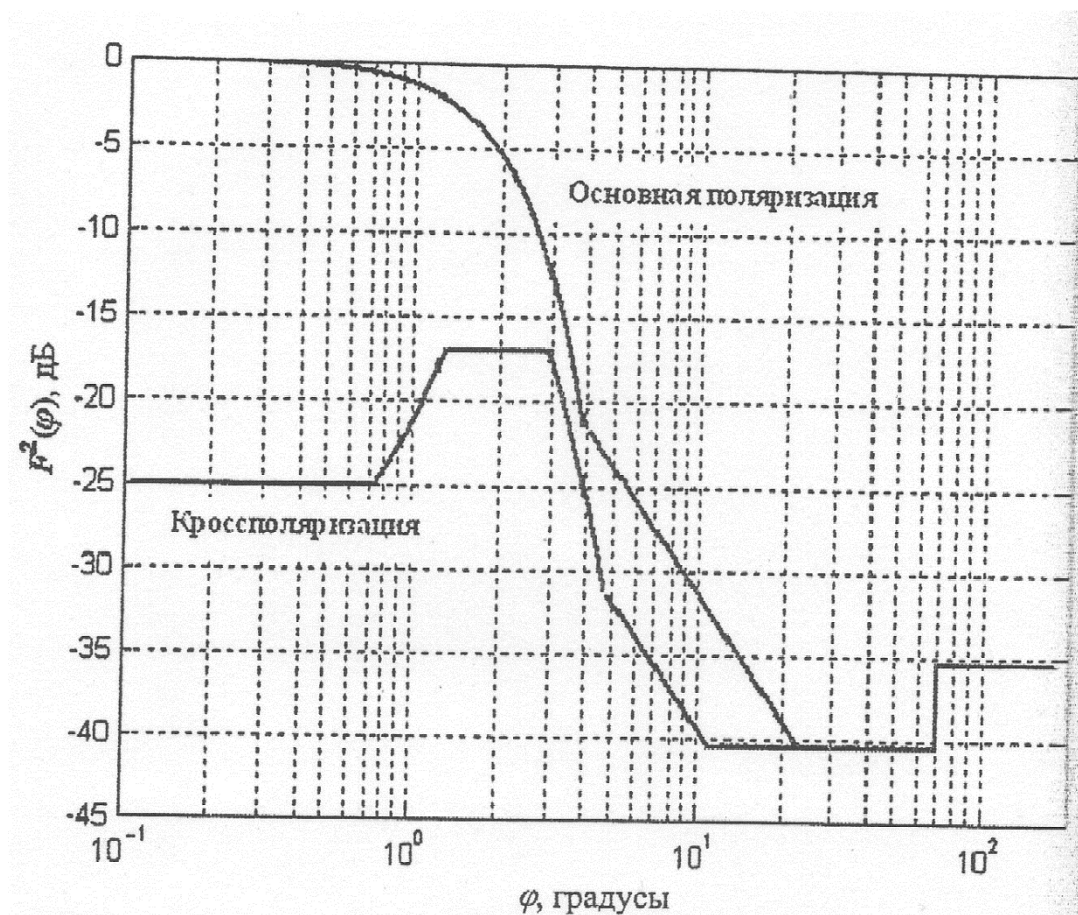


Рисунок 5 – Эталонная ДНА антенны диаметром 60 см приемной ЗС РСС на частоте 11,7 ГГц

### 3 Задание на практическую работу

Определите и изобразите подобно рисунку 5 эталонную диаграмму направленности для основной и кроссполяризации. Диаметр антенны 90 см; назначение – радиовещательная спутниковая служба (РСС), рабочая частота – 14 ГГц. Коэффициент использования поверхности КИП = 0,8.



#### 4 Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение коэффициенту использования поверхности.
- 2) Что показывает и от каких величин зависит диаграмма направленности антенны?
- 3) Что такое кроссполяризация?

**Список литературы, рекомендуемой для подготовки  
к практическим занятиям**

1. Закарюкин, В. П. Электромагнитная совместимость и средства защиты: учебное пособие / В. П. Закарюкин, М. Л. Дмитриева, А. В. Крюков; под общ. ред. В. П. Закарюкина. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 248 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598053> (дата обращения: 15.05.2023). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.

2. Куликова, Л. В. Основы электромагнитной совместимости: учебник / Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников. – Изд. 4-е, стер. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 405 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=600138> (дата обращения: 15.05.2023). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.

3. Кисель, Н. Н. Теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем: учебное пособие / Н. Н. Кисель; Южный федеральный университет, Инженерно-технологическая академия. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2016. – 174 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493064> (дата обращения: 18.05.2023). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.

4. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / А. Ф. Шаталов, И. Воротников, М. Мастепаненко [и др.]; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2014. – 63 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277482> (дата обращения: 15.05.2023). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.

5. Овсянников, А. Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебник: [16+] / А. Г. Овсянников, Р. К. Борисов; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 196 с.: ил., табл. – (Учебники НГТУ). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575557> (дата обращения: 18.05.2023). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.