



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Радиоэлектроника»

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению контрольных работ  
по дисциплине

### **«Направляющие среды электросвязи»**

Авторы

Шокова Ю. А.

Звездина М.Ю.

Ростов-на-Дону

## Аннотация

Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения по специальности 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

## Автор



к.ф.-м.н.,  
доцент кафедры  
«Радиоэлектроника»  
Шокова Ю.А.



д.ф.-м.н., доцент,  
зав. кафедрой  
«Радиоэлектроника»  
Звездина М.Ю.



## Оглавление

<b>О выполнении контрольных работ .....</b>	<b>4</b>
<b>Задача №1. Симметричные кабели электросвязи .....</b>	<b>5</b>
Варианты заданий .....	5
Задача .....	5
<b>Задача №2. Коаксиальные кабели электросвязи.....</b>	<b>9</b>
Варианты заданий .....	9
Задача .....	9
<b>Задача №3 (а, Б). Оптические кабели .....</b>	<b>13</b>
Варианты заданий .....	13
Задача 3А .....	13
Задача 3Б .....	13
<b>Справочные материалы .....</b>	<b>18</b>
Общие таблицы .....	18
Симметричные кабели связи.....	21
Коаксиальные кабели .....	22
Оптические кабели .....	22
<b>Литература.....</b>	<b>23</b>
Основная литература.....	23
Дополнительная литература.....	23

## О ВЫПОЛНЕНИИ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Учебным планом для студентов заочного обучения по направлению 11.03.02 по дисциплине «Направляющие среды электросвязи» предусмотрено выполнение одной контрольной работы, которая состоит из решения нескольких задач по вариантам на определенную тему.

Общие указания по выполнению и оформлению контрольной работы

1. Задания контрольных работ составлены по стовариантной системе.
2. Вариант задания определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки студента  $mn$ , где  $m$  - предпоследняя,  $n$  - последняя цифры.
3. Контрольное задание выполняется в отдельной ученической тетради в клетку с полями не менее 4 см или на листах формата A4 с использованием одной стороны листа. Вторая сторона листа оставляется для внесения исправлений. Все страницы нумеруются.
4. Формулировка каждой задачи и числовые исходные данные должны быть записаны в тетрадь.
5. При оформлении задачи необходимо привести расчетную формулу, обязательно пояснив условные обозначения.
6. Во всех расчетах должны применяться только единицы Международной системы СИ в русских обозначениях. Конечный результат следует представить в удобной форме с использованием кратных или дольных единиц.
7. В конце работы необходимо привести список использованной литературы с соблюдением правил его оформления, поставить дату и подпись.
8. При сдаче экзамена по дисциплине выполненные контрольные работы в письменном виде представляются экзаменатору.
9. Во время экзамена необходимо быть готовым дать пояснения по существу решения любой из задач контрольного задания»

## ЗАДАЧА №1. СИММЕТРИЧНЫЕ КАБЕЛИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

### Варианты заданий

		Предпоследняя цифра зачетки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра зачетки	0	1-1	2-5	4-3	6-1	7-5	9-3	11-1	12-5	14-3	16-1
	1	1-2	2-6	4-4	6-2	7-6	9-4	11-2	12-6	14-4	16-2
	2	1-3	3-1	4-5	6-3	8-1	9-5	11-3	13-1	14-5	16-3
	3	1-4	3-2	4-6	6-4	8-2	9-6	11-4	13-2	14-6	16-4
	4	1-5	3-3	5-1	6-5	8-3	10-1	11-5	13-3	15-1	16-5
	5	1-6	3-4	5-2	6-6	8-4	10-2	11-6	13-4	15-2	16-6
	6	2-1	3-5	5-3	7-1	8-5	10-3	12-1	13-5	15-3	17-1
	7	2-2	3-6	5-4	7-2	8-6	10-4	12-2	13-6	15-4	17-2
	8	2-3	4-1	5-5	7-3	9-1	10-5	12-3	14-1	15-5	17-3
	9	2-4	4-2	5-6	7-4	9-2	10-6	12-4	14-2	15-6	17-4

### Задача

Рассчитать значения первичных параметров передачи  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $G$  и вторичных параметров передачи  $Z_B$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$  на частотах  $A$  для участка симметричной цепи кабеля  $B$ .

Значения  $A$  выбирается по первому номеру варианта из таблицы расчетных частот, значение  $B$  – по второму из таблицы вариантов кабелей.

### Расчетные частоты (А)

Значение	Первая частота, кГц	Вторая частота, кГц
1	10	100
2	10	200
3	10	300
4	10	500
5	10	1500
6	5	100
7	5	200
8	5	300
9	5	500

Значение	Первая частота, кГц	Вторая частота, кГц
10	5	1500
11	20	100
12	20	200
13	20	300
14	20	500
15	20	1500
16	30	100
17	30	200

### Варианты кабелей (В)

Значение	Марка кабеля
1	МКГ 4х4х1,2
2	МКГ 4х4х1,05
3	МКСГ 4х4х1,2
4	МКСГ 4х4х1,05
5	МКСАШп 4х4х1,2
6	МКСАШп 4х4х1,05

### Пример условия задачи (вариант 3-5)

Рассчитать значения первичных параметров передачи  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $G$  и вторичных параметров передачи  $Z_B$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  на частотах 10 кГц и 300 кГц для участка симметричной цепи кабеля МКСАШп 4х4х1,2.

### Основной ход решения задачи

Активное сопротивление  $R$ , Ом/км, участка симметричной цепи кабеля рассчитывается по формуле:

$$R = 2R_0 \chi \left[ 1 + F(kr) + \frac{pG(kr)(d/a)^2}{1 - H(kr)(d/a)^2} \right] + R_m.$$

Индуктивность  $L$ , Гн/км, участка симметричной цепи кабеля рассчитывается по формуле:

$$L = \chi \left[ 4 \ln \frac{a-r}{r} + \mu_r Q(kr) \right] \cdot 10^{-4}.$$

Емкость  $C$ , Ф/км, участка симметричной цепи кабеля рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{\chi \varepsilon_r 10^{-6}}{36 \ln \left[ \frac{a\psi}{r} \right]}.$$

Проводимость изоляции  $G$ , См/км, участка симметричной цепи кабеля рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{1}{R_{из}} + \omega C \operatorname{tg} \delta.$$

Волновое сопротивление  $Z_B$ , Ом, симметричной цепи кабеля на частотах от 80 Гц до 40 кГц рассчитывается по формуле:

## Направляющие среды электросвязи

$$Z_{\epsilon} = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}.$$

При расчете данного значения следует иметь в виду, что делить и извлекать корень проще из комплексного числа, представленного в виде  $z = re^{i\varphi}$ , а не в виде  $z = a + ib$ . Переход от одного представления к другому осуществляется по формулам:

$$r = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{и} \quad \varphi = \arctg \frac{b}{a}.$$

В этом случае деление комплексных чисел осуществляется по формуле

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1 e^{i\varphi_1}}{r_2 e^{i\varphi_2}} = \frac{r_1}{r_2} e^{i(\varphi_1 - \varphi_2)},$$

а извлечение корня – по формуле

$$\sqrt{z} = \sqrt{re^{i\varphi}} = \pm \sqrt{r} e^{i\frac{\varphi}{2}}.$$

Волновое сопротивление  $Z_B$ , Ом, симметричной цепи кабеля на частотах свыше 40 кГц – по формуле.

$$Z_{\epsilon} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Коэффициент затухания  $\alpha$ , Нп/км, участка симметричной цепи кабеля на частотах от 80 Гц до 40 кГц рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} - (\omega^2 LC - RG) \right]}.$$

Коэффициент затухания  $\alpha$ , Нп/км, участка симметричной цепи кабеля на частотах свыше 40 кГц – по формуле.

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Коэффициент фазы  $\beta$ , рад/км, участка симметричной цепи кабеля на частотах от 80 Гц до 40 кГц рассчитывается по формуле:

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} + (\omega^2 LC - RG) \right]}.$$

Коэффициент фазы  $\beta$ , рад/км, участка симметричной цепи кабеля на частотах свыше 40 кГц – по формуле.

$$\beta = \omega \sqrt{LC}.$$

## Направляющие среды электросвязи

Скорость распространения  $v$ , км/с, низкочастотной ( $80 \text{ Гц} < f < 40 \text{ кГц}$ ) составляющей сигнала по участку симметричной цепи кабеля рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{\omega}{\beta}.$$

Скорость распространения  $v$ , км/с, высокочастотной ( $f > 40 \text{ кГц}$ ) составляющей сигнала по участку симметричной цепи кабеля рассчитывается по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

Справочные данные для расчетов приведены в разделе «Справочные данные» («Общие таблицы», «Симметричные кабели связи»).



## ЗАДАЧА №2. КОАКСИАЛЬНЫЕ КАБЕЛИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

### Варианты заданий

		Предпоследняя цифра зачетки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра зачетки	0	1-1	3-1	5-1	7-1	9-1	11-1	13-1	15-1	17-1	19-1
	1	1-2	3-2	5-2	7-2	9-2	11-2	13-2	15-2	17-2	19-2
	2	1-3	3-3	5-3	7-3	9-3	11-3	13-3	15-3	17-3	19-3
	3	1-4	3-4	5-4	7-4	9-4	11-4	13-4	15-4	17-4	19-4
	4	1-5	3-5	5-5	7-5	9-5	11-5	13-5	15-5	17-5	19-5
	5	2-1	4-1	6-1	8-1	10-1	12-1	14-1	16-1	18-1	20-1
	6	2-2	4-2	6-2	8-2	10-2	12-2	14-2	16-2	18-2	20-2
	7	2-3	4-3	6-3	8-3	10-3	12-3	14-3	16-3	18-3	20-3
	8	2-4	4-4	6-4	8-4	10-4	12-4	14-4	16-4	18-4	20-4
	9	2-5	4-5	6-5	8-5	10-5	12-5	14-5	16-5	18-5	20-5

### Задача

Рассчитать значения первичных параметров передачи  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $G$  и вторичных параметров передачи  $Z_B$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$  на частоте  $A$  для двух коаксиальных пар  $B$ .

Значения  $A$  выбирается по первому номеру варианта из таблицы расчетных частот, значение  $B$  – по второму из таблицы вариантов коаксиальных пар.

### Расчетные частоты (А)

Значение	Частота, МГц
1	0,1
2	0,5
3	1
4	1,5
5	2
6	2,5
7	3
8	3,5
9	4
10	4,5

Значение	Частота, МГц
11	5
12	5,5
13	6
14	6,5
15	7
16	7,5
17	8
18	8,5
19	9
20	9,5

### Варианты коаксиальных пар (В)

Значение	Первая пара	Вторая пара
1	1,2/4,6 кабеля МКТ-4	2,1/9,7 кабеля ВКПАШп-1
2	1,2/4,6 кабеля КМ-8/6	2,6/9,5 кабеля КМ-8/6
3	2,1/9,7 кабеля ВКПАШп-1	2,6/9,5 кабеля КМ-4
4	1,2/4,6 кабеля МКТ-4	2,6/9,5 кабеля КМ-4
5	2,1/9,7 кабеля ВКПАШп-1	2,6/9,5 кабеля КМ-8/6

### Пример условия задачи (вариант 6-4)

Рассчитать значения первичных параметров передачи  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $G$  и вторичных параметров передачи  $Z_B$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$  на частоте 2,5 МГц для коаксиальной пары 1,2/4,6 кабеля МКТ-4 и 2,6/9,5 кабеля КМ-4.

### Основной ход решения задачи

В высокочастотном диапазоне активное сопротивление  $R$  участка коаксиальной пары с медными проводниками рассчитывается по формуле:

$$R = 0,0835 \sqrt{f} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right);$$

с алюминиевыми проводниками

$$R = 0,108 \sqrt{f} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right);$$

с внутренним медным, внешним алюминиевым проводником:

$$R = \sqrt{f} \left( \frac{0,0835}{d} + \frac{0,108}{D} \right).$$

В высокочастотном диапазоне индуктивность  $L$  участка коаксиальной пары с медными проводниками рассчитывается по формуле:

$$L = \left[ \frac{133,3}{\sqrt{f}} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) + 2 \ln \left( \frac{D}{d} \right) \right] \cdot 10^{-4};$$

с алюминиевыми проводниками

$$L = \left[ \frac{172}{\sqrt{f}} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) + 2 \ln \left( \frac{D}{d} \right) \right] \cdot 10^{-4};$$

с внутренним медным, внешним алюминиевым проводником:

## Направляющие среды электросвязи

$$L = \left[ \left( \frac{133,3}{\sqrt{f}d} + \frac{172}{\sqrt{f}D} \right) + 2 \ln \left( \frac{D}{d} \right) \right] \cdot 10^{-4}.$$

Емкость  $C$  участка коаксиальной пары рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot 10^{-6}}{18 \ln \left( \frac{r_b}{r_a} \right)} = \frac{\varepsilon_r \cdot 10^{-6}}{18 \ln \left( \frac{D}{d} \right)}.$$

Проводимость изоляции  $G$  участка коаксиальной пары рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{1}{R_{из}} + \omega C \operatorname{tg} \delta.$$

Волновое сопротивление  $Z_B$  участка коаксиальной пары на частотах до 2 МГц рассчитывается по формуле:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

а свыше -

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi} Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \ln \frac{D}{d}.$$

Коэффициент затухания  $\alpha$ , дБ/км, участка коаксиальной пары на частотах до 2 МГц рассчитывается по формуле:

$$\alpha = 8,69 \left[ \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right],$$

а свыше -

$$\alpha = \frac{6,05 \sqrt{f \varepsilon_r}}{\ln \frac{D}{d}} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \cdot 10^{-3} + 9,08 f \sqrt{\varepsilon_r} \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-5}.$$

Коэффициент фазы  $\beta$  участка коаксиальной пары на частотах до 2 МГц рассчитывается по формуле:

$$\beta = \omega \sqrt{LC},$$

а свыше -

$$\beta = \omega \frac{\sqrt{\varepsilon_r}}{c}.$$

Скорость распространения  $v$  электромагнитной энергии по участку коаксиальной пары на частотах до 2 МГц рассчитывается

## Направляющие среды электросвязи

по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{1}{LC}},$$

а свыше -

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}.$$

Справочные данные для расчетов приведены в разделе «Справочные данные» («Общие таблицы», «Коаксиальные кабели связи»).

## ЗАДАЧА №3 (А, Б). ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

### Варианты заданий

		Предпоследняя цифра зачетки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра зачетки	0	1-1	3-1	5-1	7-1	9-1	11-1	13-1	15-1	17-1	19-1
	1	1-2	3-2	5-2	7-2	9-2	11-2	13-2	15-2	17-2	19-2
	2	1-3	3-3	5-3	7-3	9-3	11-3	13-3	15-3	17-3	19-3
	3	1-4	3-4	5-4	7-4	9-4	11-4	13-4	15-4	17-4	19-4
	4	1-5	3-5	5-5	7-5	9-5	11-5	13-5	15-5	17-5	19-5
	5	2-1	4-1	6-1	8-1	10-1	12-1	14-1	16-1	18-1	20-1
	6	2-2	4-2	6-2	8-2	10-2	12-2	14-2	16-2	18-2	20-2
	7	2-3	4-3	6-3	8-3	10-3	12-3	14-3	16-3	18-3	20-3
	8	2-4	4-4	6-4	8-4	10-4	12-4	14-4	16-4	18-4	20-4
	9	2-5	4-5	6-5	8-5	10-5	12-5	14-5	16-5	18-5	20-5

### Задача 3А

Для оптического волокна с параметрами  $A$  рассчитать следующие значения:

- числовую апертуру;
- нормированную частоту;
- число мод, распространяющихся в оптическом волокне;
- критическую частоту и критическую длину волны для типа волны  $B$ .

Дать определения рассчитанным параметрам.

### Задача 3Б

Определить дополнительные потери при срезке оптического волокна с диаметром сердцевины 50 мкм и параметрами  $A$ , если при срезке было допущено смещение торцов типа  $C$ .

Зарисовать вид заданного смещения.

### Известные параметры оптического волокна (А)

Вариант	$n_1$	$n_2$	$\Delta$
1	-	1,490	0,01
2	1,510	-	0,01
3	-	1,495	0,01
Вариант	$n_1$	$n_2$	$\Delta$

### Направляющие среды электросвязи

4	1,505	-	0,01
5	-	1,489	0,01
6	-	1,490	0,011
7	1,510	-	0,011
8	-	1,495	0,011
9	1,505	-	0,011
10	-	1,489	0,011
11	-	1,490	0,012
12	1,510	-	0,012
13	-	1,495	0,012
14	1,505	-	0,012
15	-	1,489	0,012
16	-	1,490	0,009
17	1,510	-	0,009
18	-	1,495	0,009
19	1,505	-	0,009
20	-	1,489	0,009

Прочерк – означает, что данный параметр неизвестен.

### Исследуемая мода (В)

Вариант	1	2	3	4	5
Мода	$E_{01}$	$HE_{12}$	$H_{01}$	$HE_{21}$	$EH_{11}$

### Смещение при сращивании (C=A)

Вариант	тип смещения	величина смещения
1	радиальное	5 мкм
2	угловое	3°
3	осевое	15 мкм
4	радиальное	10 мкм
5	угловое	7°
6	осевое	17 мкм
7	радиальное	7 мкм
8	угловое	2°
9	осевое	12 мкм
10	радиальное	3 мкм
11	угловое	4°
Вариант	тип смещения	величина смещения

## Направляющие среды электросвязи

12	осевое	19 мкм
13	радиальное	8 мкм
14	угловое	6°
15	осевое	20 мкм
16	радиальное	15 мкм
17	угловое	8°
18	осевое	14 мкм
19	радиальное	2 мкм
20	угловое	1°

### Пример условий задач (вариант 4-4)

А. Для оптического волокна с параметрами  $n_2=1,489$  и  $\Delta=0,01$  рассчитать следующие значения:

- числовую апертуру;
- нормированную частоту;
- число мод, распространяющихся в оптическом волокне;
- критическую частоту и критическую длину волны для типа волны  $HE_{21}$ .

Дать определения рассчитанным параметрам.

Б. Определить дополнительные потери при срезке оптического волокна с диаметром сердцевины 50 мкм и параметрами  $n_2=1,489$  и  $\Delta=0,01$ , если при срезке было допущено угловое смещение торцов на  $7^\circ$ .

### Основной ход решения задачи 3А

Неизвестный по условиям задачи параметр оптического волокна вычисляется, исходя из формулы:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}.$$

При этом следует сначала вывести соотношение для расчета неизвестного параметра, а затем провести расчет по полученной формуле.

Числовая апертура оптического волокна рассчитывается по формуле:

$$NA = \sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Нормированная частота оптического волокна рассчитывается по формуле:

## Направляющие среды электросвязи

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Число мод, распространяющихся в оптическом волокне, рассчитывается по формулам:

$$N = \frac{1}{2} \left( \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2 \text{ в ступенчатом волокне;}$$

$$N = \frac{1}{4} \left( \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2 \text{ в градиентном волокне.}$$

При получении нецелого  $N$  производится округление до целого в меньшую сторону.

Критическая частота, Гц, для некоторого типа волны рассчитывается по формуле:

$$f_o = \frac{P_{nm} \cdot c}{\pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}.$$

Критическая длина волны, мкм, для некоторого типа волны рассчитывается по формуле:

$$\lambda_o = \frac{\pi d}{P_{nm} \cdot n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Справочные данные для расчетов приведены в разделе "Справочные данные" («Оптические кабели»).

### Основной ход решения задачи 3Б

Дополнительное затухание, дБ, при срезке оптического волокна с радиальным смещением торцов рассчитывается по формуле:

$$A_\delta = 10 \lg \frac{d}{d - \delta}.$$

Дополнительное затухание, дБ, при срезке оптического волокна с угловым смещением торцов рассчитывается по формуле:

$$A_\theta = 10 \lg \frac{\theta_A}{\theta_A - \theta}.$$

Дополнительное затухание при срезке оптического волокна с осевым смещением торцов рассчитывается по формуле:

$$A_s = 10 \lg \frac{2d}{2d - S \operatorname{tg} \theta_A}.$$



## Направляющие среды электросвязи

Справочные данные для расчетов приведены в разделе «Справочные данные» («Оптические кабели»).

## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### Общие таблицы

Таблица 1 – Свойства металлов

	Медь	Алюминий	Сталь	Свинец
Удельное сопротивление при $t=20^{\circ}\text{C}$ , Ом мм <sup>2</sup> /м	0,0175	0,0295	0,138	0,221
Плотность, г/см <sup>3</sup>	8,9	2,7	7,8	11,4

Таблица 2 – Дополнительные сведения о металлах

Материал	$k = \sqrt{\omega \mu_a \sigma}$ , мм <sup>-1</sup>	$kr$	$\sigma$ , м/(Ом мм <sup>2</sup> )
Медь	$0,021 \sqrt{f[\Gamma\text{ц}]}$	$0,0105 d \sqrt{f[\Gamma\text{ц}]}$	57,00
Алюминий	$0,0164 \sqrt{f[\Gamma\text{ц}]}$	$0,082 d \sqrt{f[\Gamma\text{ц}]}$	34,36
Сталь	$0,075 \sqrt{f[\Gamma\text{ц}]}$	$0,0375 d \sqrt{f[\Gamma\text{ц}]}$	7,23

Таблица 3 – Значения коэффициентов  $F$ ,  $G$ ,  $H$ ,  $Q$  в зависимости от значения  $kr$

$kr$	$F(kr)$	$G(kr)$	$H(kr)$	$Q(kr)$
0	0	0	0,0417	1
0,1	0	0	0,0417	1
0,2	0	0	0,0417	1
0,3	0	0	0,0417	1
0,4	0	0	0,0417	1
0,5	0	0,001	0,042	1
0,6	0,001	0,002	0,044	1
0,7	0,001	0,004	0,045	0,999
0,8	0,002	0,006	0,046	0,999
0,9	0,003	0,01	0,049	0,998
1	0,005	0,015	0,053	0,997
1,1	0,008	0,022	0,058	0,996
1,2	0,011	0,031	0,064	0,995
1,3	0,015	0,041	0,072	0,993
1,4	0,02	0,054	0,08	0,99
1,5	0,026	0,069	0,092	0,987
1,6	0,033	0,086	0,106	0,983
1,7	0,042	0,106	0,122	0,979
1,8	0,052	0,127	0,137	0,974
1,9	0,064	0,149	0,154	0,968

## Направляющие среды электросвязи

$kr$	$F(kr)$	$G(kr)$	$H(kr)$	$Q(kr)$
2	0,078	0,172	0,169	0,961
2,1	0,094	0,196	0,187	0,953
2,2	0,111	0,221	0,206	0,945
2,3	0,131	0,246	0,224	0,935
2,4	0,152	0,271	0,242	0,925
2,5	0,175	0,295	0,263	0,913
2,6	0,201	0,318	0,28	0,901
2,7	0,228	0,341	0,298	0,888
2,8	0,256	0,363	0,316	0,874
2,9	0,286	0,384	0,333	0,86
3	0,318	0,405	0,348	0,845
3,1	0,351	0,425	0,362	0,83
3,2	0,385	0,444	0,376	0,814
3,3	0,42	0,463	0,388	0,798
3,4	0,456	0,481	0,4	0,782
3,5	0,492	0,499	0,41	0,766
3,6	0,529	0,516	0,42	0,749
3,7	0,566	0,533	0,43	0,733
3,8	0,603	0,55	0,44	0,717
3,9	0,64	0,567	0,45	0,702
4	0,678	0,584	0,46	0,688
4,1	0,715	0,601	0,466	0,671
4,2	0,752	0,618	0,474	0,657
4,3	0,789	0,635	0,484	0,643
4,4	0,862	0,652	0,49	0,629
4,5	0,863	0,669	0,497	0,616
4,6	0,899	0,686	0,505	0,603
4,7	0,935	0,703	0,51	0,59
4,8	0,971	0,72	0,516	0,579
4,9	1,007	0,738	0,524	0,567
5	1,043	0,755	0,53	0,556
5,1	1,078	0,772	0,535	0,545
5,2	1,114	0,79	0,54	0,535
5,3	1,149	0,808	0,545	0,525
5,4	1,184	0,826	0,55	0,516
5,5	1,219	0,843	0,554	0,507
5,6	1,254	0,861	0,558	0,498
5,7	1,289	0,879	0,562	0,489
5,8	1,324	0,896	0,566	0,481

## Направляющие среды электросвязи

$kr$	$F(kr)$	$G(kr)$	$H(kr)$	$Q(kr)$
5,9	1,359	0,914	0,571	0,473
6	1,394	0,932	0,575	0,465
6,1	1,429	0,959	0,579	0,458
6,2	1,463	0,967	0,582	0,451
6,3	1,498	0,985	0,586	0,443
6,4	1,533	1,003	0,59	0,436
6,5	1,568	1,02	0,593	0,43
6,6	1,603	1,038	0,596	0,424
6,7	1,638	1,055	0,599	0,418
6,8	1,673	1,073	0,602	0,412
6,9	1,708	1,091	0,605	0,406
7	1,743	1,109	0,608	0,4
7,1	1,778	1,126	0,611	0,394
7,2	1,813	1,144	0,614	0,389
7,3	1,848	1,162	0,617	0,384
7,4	1,884	1,18	0,62	0,379
7,5	1,919	1,198	0,622	0,374
7,6	1,954	1,216	0,624	0,369
7,7	1,989	1,233	0,627	0,364
7,8	2,024	1,251	0,63	0,36
7,9	2,059	1,269	0,632	0,355
8	2,094	1,287	0,634	0,351
8,1	2,129	1,304	0,637	0,347
8,2	2,165	1,322	0,64	0,343
8,3	2,2	1,339	0,642	0,339
8,4	2,235	1,357	0,644	0,335
8,5	2,27	1,375	0,646	0,331
8,6	2,306	1,393	0,647	0,327
8,7	2,341	1,41	0,649	0,323
8,8	2,376	1,428	0,651	0,32
8,9	2,411	1,446	0,653	0,316
9	2,446	1,464	0,655	0,313
9,1	2,481	1,481	0,657	0,309
9,2	2,517	1,499	0,658	0,306
9,3	2,552	1,516	0,66	0,302
9,4	2,587	1,534	0,662	0,299
9,5	2,622	1,552	0,664	0,296
9,6	2,658	1,57	0,666	0,293
9,7	2,693	1,587	0,667	0,29

## Направляющие среды электросвязи

$kr$	$F(kr)$	$G(kr)$	$H(kr)$	$Q(kr)$
9,8	2,728	1,605	0,668	0,287
9,9	2,763	1,623	0,669	0,284
10	2,799	1,641	0,67	0,282
$>10$	$\frac{\sqrt{2} kr - 3}{4}$	$\frac{\sqrt{2} kr - 1}{8}$	$\frac{1}{4} \left[ \frac{3\sqrt{2} kr - 5}{\sqrt{2} kr - 1} - \frac{2\sqrt{2}}{kr} \right]$	$\frac{2\sqrt{2}}{kr}$

## Симметричные кабели связи

Таблица 1 - Сопротивление дополнительных потерь  $R_{м 200,}$  Ом/км

Число четверок в кабеле	Потери в повивах смежных четверок для повивов			Потри от свинцовой оболочки для повивов			Потери от алюминиевой оболочки для повивов		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0			22			8,1		
4	7,5			14			5,2		
1+6	8	7,5		1,5	5,5		0,6	2	
1+6+12	8	7,5	7,5	0	0	1	0	0	0,4

Таблица 2 – Характеристики изоляции сложной структуры

Тип изоляции	$\epsilon_s$	$\text{tg} \delta \cdot 10^{-4}$ при частоте, кГц			
		10	100	250	550
Кордельно-бумажная	1,3-1,4	55	113	160	280
Кордельно-стирофлексная	1,2-1,3	3	7	12	20
Полиэтиленовая (сплошная)	1,9-2,1	2	6	8	14
Пористо-полиэтиленовая	1,4-1,5	3	8	12	20
Баллонно-полиэтиленовая	1,2-1,3	2	6	8	12

Таблица 3 – Конструкция симметричных кабелей связи

Тип кабеля	Конструктивные особенности
МКГ	Магистральный; изоляция кордельно-трубчатая, бумажная: диаметр бумажного корделя 0,81 мм, 2 ленты кабельной бумаги К-17 толщиной 0,17 мм; коэффициент укрутки 1,02; оболочка кабеля свинцовая
МКСГ	Магистральный, кордельно-трубчатая стирофлексная: диаметр корделя 0,8 мм, толщина стирофлексной ленты 0,05 мм; коэффициент укрутки 1,02; оболочка кабеля свинцовая
МКСАШп	Магистральный, изоляция кордельно-трубчатая стирофлексная: диаметр корделя 0,8 мм, толщина стирофлексной ленты 0,05 мм; коэффициент укрутки 1,02; оболочка кабеля алюминиевая

## Направляющие среды электросвязи

### Коаксиальные кабели

Таблица 1 – Характеристики изоляции сложной структуры

Тип ка- беля	Тип изоляции	$\epsilon$	$V_d/V_v$	$\lg \delta_{\Sigma} 10^{-4}$ при $f$ [МГц]			
2,6/9,5	Полиэтиленовая шайба	1,13	8,9	0,5	0,5	10	60
2,6/9,5	Полиэтиленовая спираль	1,1	6	0,4	0,7	0,5	0,6
1,2/4,6	Балонно-полиэтиленовая	1,22	9	1,2	1,3	1,5	-
2,1/9,7	Пористо-полиэтиленовая	1,5	50	2	3	3	-
5/18	Кордельно-стирофлексная	1,19	12	0,7	0,8	1	1,2

Таблица 2 – Конструкция коаксиальных кабелей связи

Тип кабеля	Конструктивные особенности
МКТ-4	Магистральный, малогабаритный коаксиальный; проводники медные, толщина внешнего проводника 0,1 мм; изоляция воздушно-полиэтиленовая, баллонного типа; экран из двух стальных лент толщиной по 0,1 мм.
ВКПАШп-1	Зоновый, однокоаксиальный; внутренний проводник медный; внешний – алюминиевый; толщина внешнего проводника 0,8 мм; изоляция сплошная, из пористого полиэтилена; внешний проводник является экраном.
КМ-4	Магистральный, средний; проводники медные, толщина внешнего проводника 0,26 мм; изоляция шайбовая: толщина полиэтиленовых шайб 2,2 мм, расстояние между шайбами 25 мм; экран из двух стальных лент толщиной 0,15 мм.
КМ-8/6	Магистральный, комбинированный: <u>Пара 2,6/9,5</u> : медные проводники, толщина внешнего - 0,26 мм; изоляция шайбовая: толщина полиэтиленовых шайб 2,2 мм, расстояние между шайбами 25 мм; экран из двух стальных лент толщиной 0,15 мм. <u>Пара 1,2/4,6</u> : медные проводники, толщина внешнего - 0,1 мм; изоляция воздушно-полиэтиленовая, баллонного типа; экран из двух стальных лент толщиной по 0,1 мм.

### Оптические кабели

Таблица 1 - Значения корней функций Бесселя для различных типов волн

n	Значение $P_{nm}$ при m			Тип направляемой моды
	1	2	3	
0	2,405	5,520	8,654	Е, Н
1	0,000	3,832	7,016	НЕ
1	3,832	7,016	10,174	ЕН
2	5,136	8,417	11,620	ЕН
2	2,443	5,535	8,661	НЕ

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература

1. Шокова Ю.А., Звездина М.Ю. Направляющие среды электросвязи. Лекционный курс [Электронный ресурс] // Ростов н/Д: ДГТУ, 2016. 88 с. URL: <http://de.donstu.ru/CDOSite/Pages/Kafedra.aspx?idk=455968>
2. Шокова Ю.А., Звездина М.Ю. Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине «Направляющие среды электросвязи» [Электронный ресурс] // Ростов н/Д: ДГТУ, 2016. 22 с. URL: <http://de.donstu.ru/CDOSite/Pages/Kafedra.aspx?idk=455968>

### Дополнительная литература

1. Ксенофонтов С.Н. Направляющие системы электросвязи: сборник задач. М.: Горячая линия- Телеком, 2010. 268 с.
2. Направляющие системы электросвязи. Том 1. Теория передачи и влияния / В.А. Андреев [и др.] М.: Горячая линия-Телеком, 2011. 425 с.
3. Ефанов В.И. Электрические и волоконно-оптические линии связи» [Электронный ресурс] // Томск: ТГУ СУР, 2012. 149 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/14032.html>.
4. Родина О.И. Волоконно-оптические линии связи [Электронный ресурс] // М.: Горячая линия- Телеком, 2012. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/11980.html>.