**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**

**ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Д.Н.Яманов

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

ПОСОБИЕ  
к выполнению контрольной работы

*для студентов 3 курса*

*специальности 201300*

*заочного обучения*

Москва-2003

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РФ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**

**ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**Кафедра радиотехнических устройств**

**Д.Н.Яманов**

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

ПОСОБИЕ

к выполнению контрольной работы

*для студентов 3 курса*

*специальности 201300*

*заочного обучения*

**Москва - 2003**

ББК 6Ф2.19

Я 54

Рецензент д-р техн. наук,проф.А.И.Логвин

Яманов Д.Н.

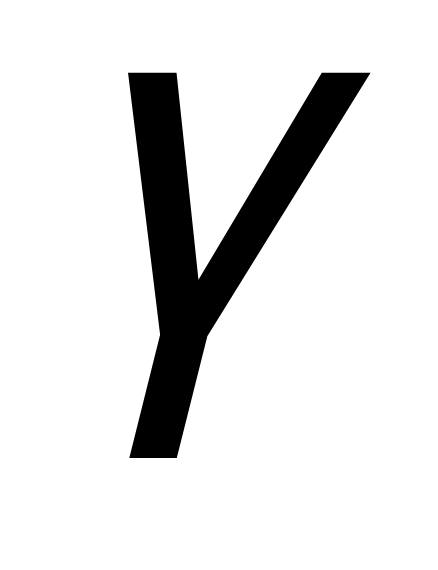
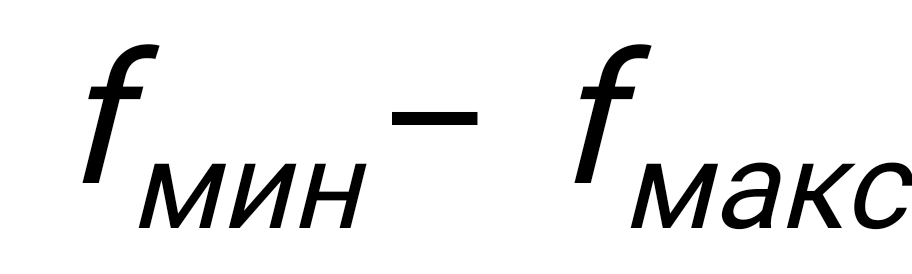
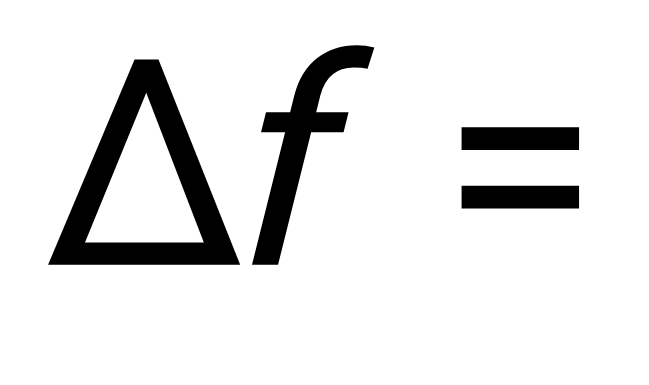
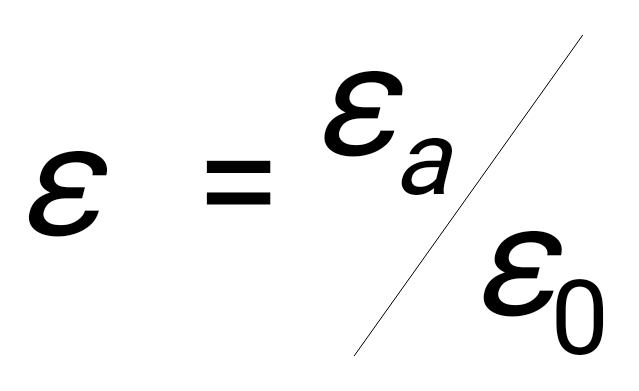
Основы электродинамики и распространение радиоволн:Пособие к выполнению контрольной работы.-М.:МГТУ ГА, 2003. - 30 с.

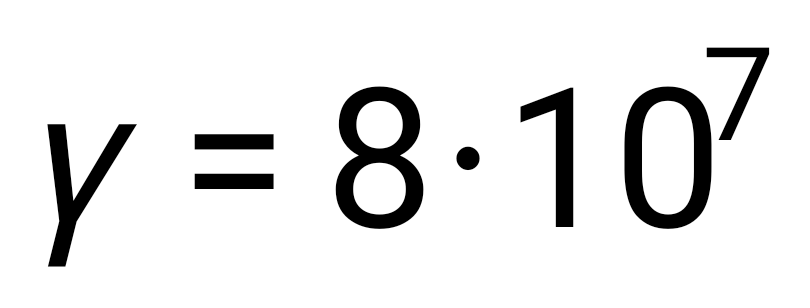
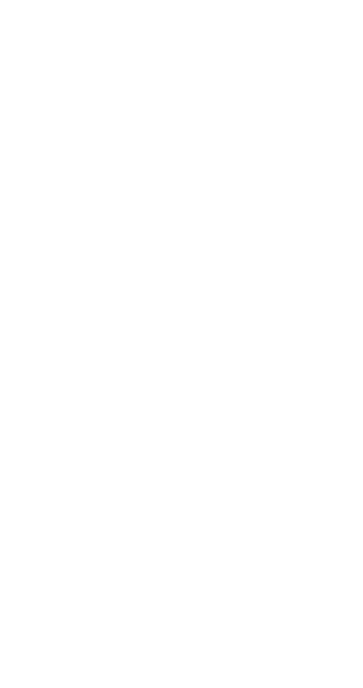
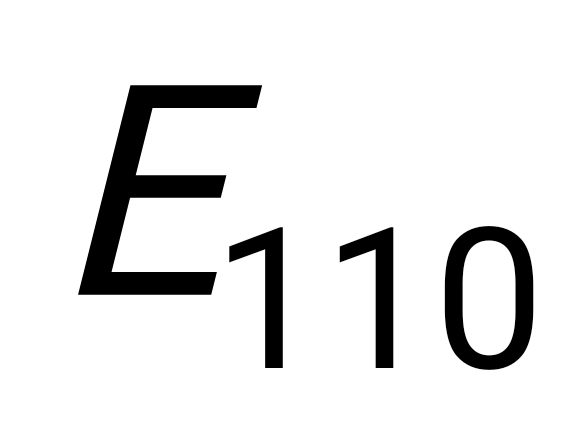
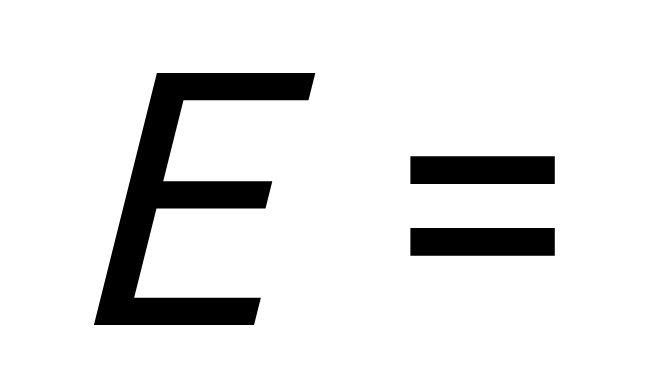
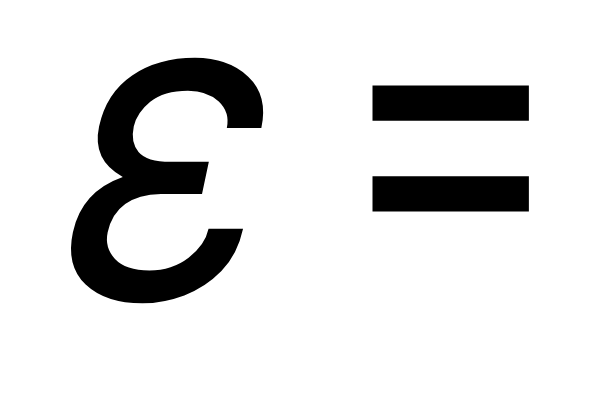
Данное пособие издается в соответствии с учебной программой для студентов 3 курса специальности 201300 заочного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры и методического совета факультета.

**ВВОДНЫЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Контрольная работа состоит из трех задач. Варианты заданий берутся из табл.1 и 2. Задание выбирается в соответствии с двумя последними цифрами студенческого билета (ХУ).

В таблицах заданы для первой задачи: вид поляризации волны, значения угла падения θ, напряженности электрического поля E, частоты ƒ, удельной объемной проводимости ; для второй задачи: форма сечения волновода и тип волны, напряженность поля E, длина линии *l*, полоса рабочих частот ; для третьей задачи: форма и тип резонатора, поле Е, относительная диэлектрическая проницаемость  и размеры a,b,d у прямоугольного резонатора или R и d у цилиндрического резонатора.

Нужные данные для расчета находятся из табл.1 и 2 следующим образом: из табл. 1 находятся данные в соответствии с предпоследней цифрой студенческого билета (Х); из табл. 2 находятся данные в соответствии с последней цифрой студенческого билета (У). Например, N 72 (Х=7,У=2) должен использовать следующие данные для первой задачи: волна горизонтальной поляризации с углом падения θ=22°, с напряженностью электрического поля E=7·10ˉ3 B/м, с частотой ƒ=70 МГц, удельной объемной проводимостью  1/Ом·м; для второй задачи: волновод прямоугольный, с волной типа H10, E=30 В/м, с длиной*l* = 1,1 м, полосой рабочих частот ∆ƒ=(3,8 ÷4)ГГц; для третьей задачи: прямоугольный резонатор, тип колебаний , 80 В/м,1,3 ,размеры сторон d=10 cм,b=10 см,a=15 см.

Расчеты по каждому пункту следует начинать с названия искомой величины. Затем выписать формулу, по которой эта величина определяется, и сделать последовательную числовую подстановку всех величин, входящих в эту формулу, в системе единиц СИ. После этого привести ответ с указанием размерности полученной величины.

Пособиями, кроме данного,при выполнении контрольной работы могут являться[1-5].

Таблица 1

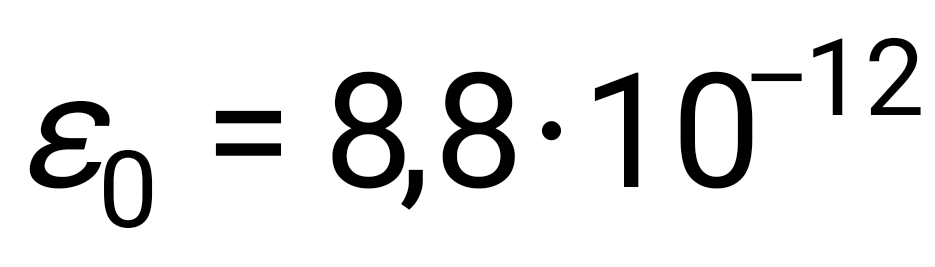
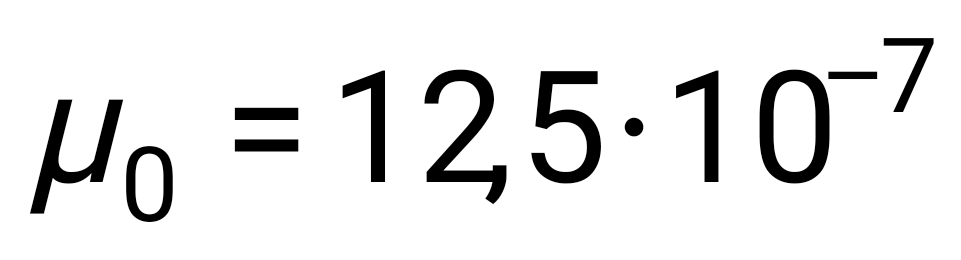
| Вариант ХУ | Задача N 1 | | Задача N 2 | | Задача N 3 | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Е,В/м | ,1/Ом⋅м | ∆ƒ,ГГц | Е,В/м | Е,В/м | R,см | d ,см | в,см | а,см |
| ОУ | 10-4 | 106 | 15,15-19 | 85 | 200 | 28 | 20 | 10 | 20 |
| 1У | 2⋅10-4 | 2⋅107 | 11 - 12 | 20 | 100 | 26 | 23 | 12 | 25 |
| 2У | 3⋅10-4 | 3⋅107 | 9 - 10 | 40 | 250 | 24 | 10 | 13 | 30 |
| ЗУ | 4⋅10-4 | 4⋅107 | 8 - 9 | 30 | 150 | 22 | 31 | 5 | 10 |
| 4У | 5⋅10-4 | 5⋅107 | 7 - 8 | 65 | 300 | 20 | 22 | 4 | 9 |
| 5У | 10-3 | 6⋅107 | 4,5-5,2 | 50 | 120 | 18 | 44 | 6 | 12 |
| 6У | 6⋅10-3 | 7⋅107 | 4,7-5 | 45 | 170 | 15 | 12 | 8 | 14 |
| 7У | 7⋅10-3 | 8⋅107 | 3,8-4 | 30 | 80 | 12 | 10 | 10 | 15 |
| 8У | 8⋅10-3 | 9⋅107 | 3,1-3,5 | 20 | 70 | 10 | 20 | 12 | 24 |
| 9У | 10-2 | 107 | 2,5-3 | 10 | 50 | 8 | 10 | 15 | 30 |

Таблица 2

| Вариант ХУ | | X0 | XI | X2 | | X3 | Х4 | X5 | Х6 | Х7 | X8 | Х9 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Задача № 1 | ƒ ,МГц | 90 | 85 | 70 | | 60 | 50 | 45 | 35 | 30 | 25 | 15 |
|  | θ° | 120 | 170 | 220 | | 270 | 320 | 370 | 420 | 470 | 570 | 630 |
|  | Поляризация | горизонтальная | | | | | | | вертикальная | | | |
| Задача  № 2 | Сечение | прямоугольное | | | | | | | круглое | | | |
|  | Тип волны | Н10 | | | | | | | Н11 | | E01 | |
|  | *l*, м | 0,8 | 1 | 1,1 | | 1,2 | 1,3 | 2 | 2,4 | 2,3 | 3 | 3,5 |
| Задача № 3 | Форма | Параллелепипед | | | | | | | Коаксиальный цилиндр | | Цилиндр | |
|  | Тип колебаний | H101 | | | E110 | | | | Т(ТЕМ) р=1 | | E010 | |
|  |  | 1,2 | 1,3 | | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2 | 2,3 |

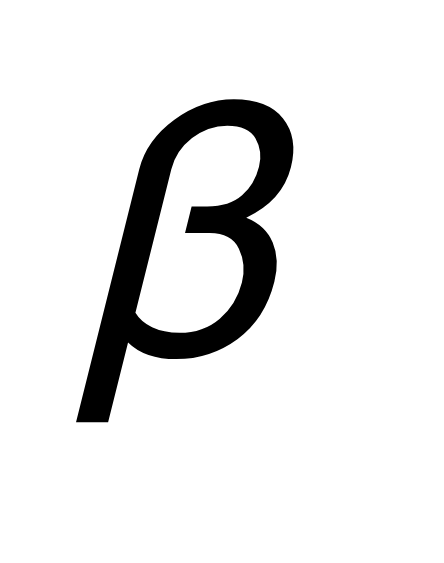
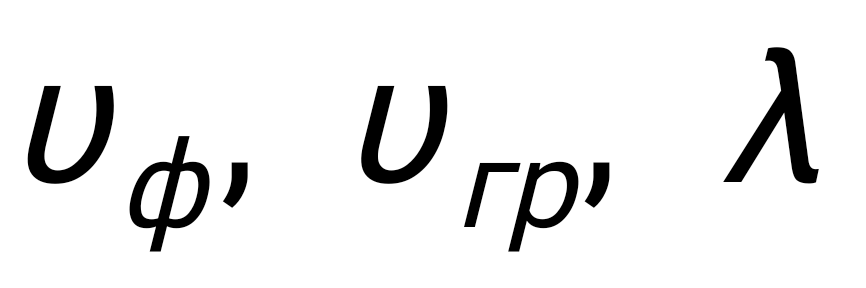
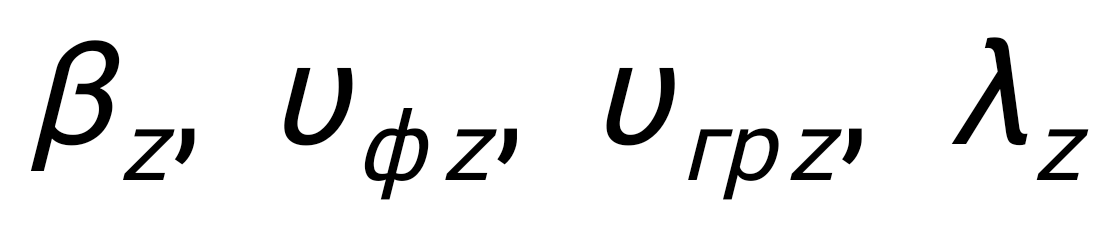
**1.ЗАДАЧА 1.ПЛОСКИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ**

1.1 Задано

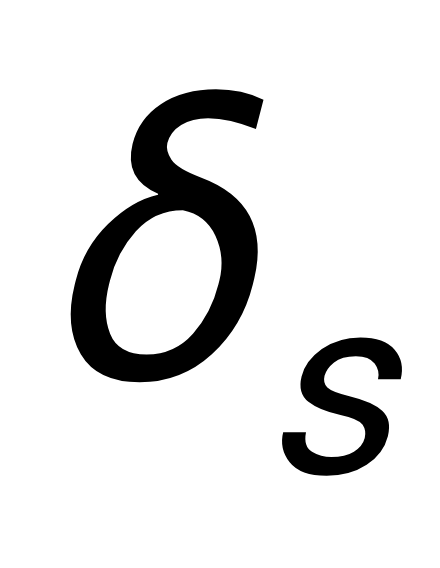
Плоская однородная волна частоты ƒ МГц заданной поляризации с E В/м падает из воздуха с Ф/м и Г/м на сверхпроводящую плоскость (рис.1).

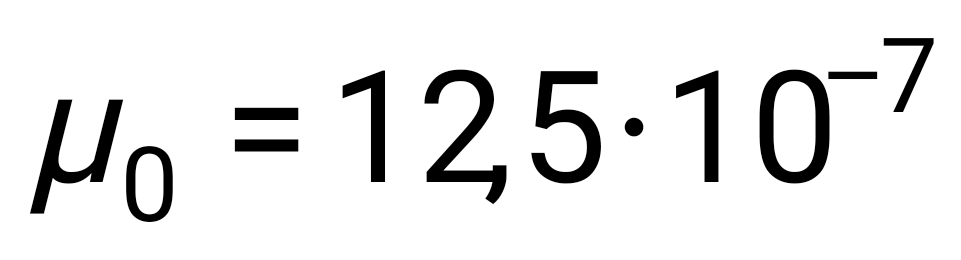
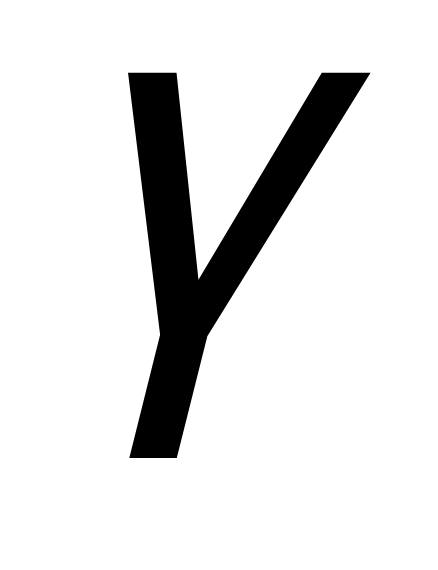
1.2 Требуется определить:

1.Нормальные HX (или Ex) и касательные Hz (или EZ)(рис.1) к границе компоненты полей падающей волны.В скобках поля для вертикальной поляризации. Учесть связь между E и H.

2.У падающей волны: коэффициент фазы, фазовую и групповую скорости и длину волны вдоль направления падения волны: , и по направлению вдоль z:  (рис. 2).

3.Модуль усредненного по времени вектора Умова-Пойнтинга падающей волны.

4.Эффективную поверхностную плотность тока  на сверхпроводящей плоскости.

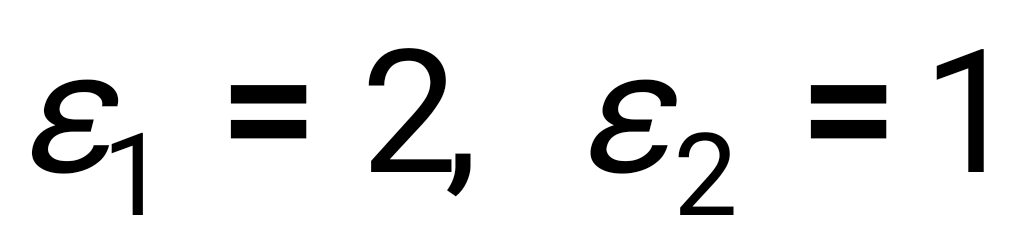
5.Удельное поверхностное сопротивление Rs отражающей поверхности при ее  Г/м,  1/Ом·м и глубину проникновения ∆°.

6.Полное сопротивление проводника с размерами *l*у=50см

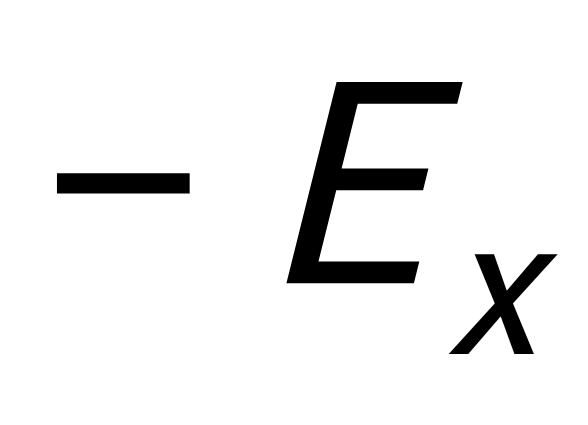
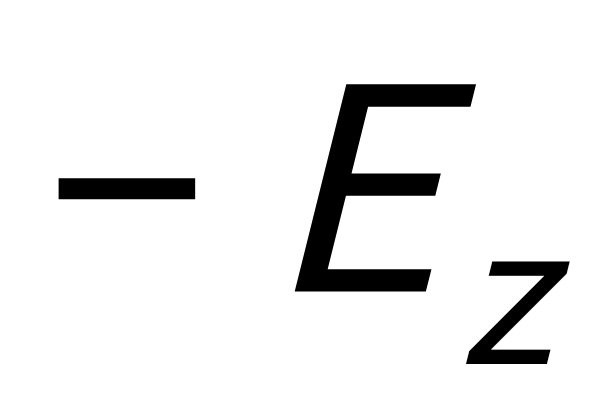
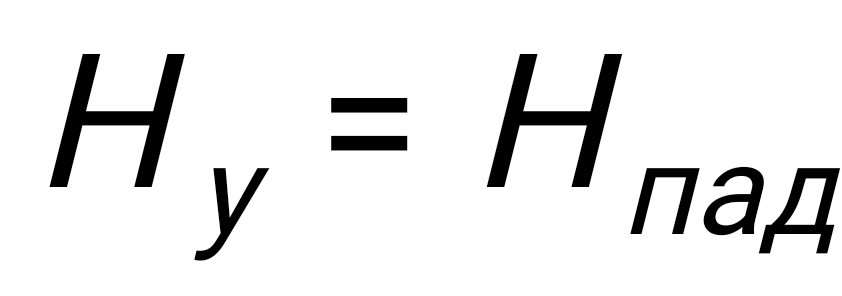
и *l*z=30см.

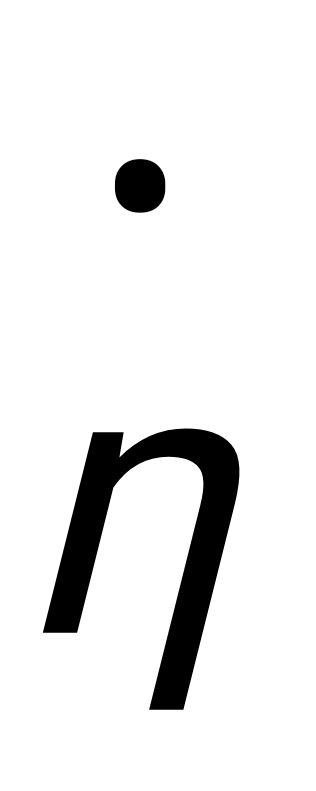
7.Удельную рt и полную мощность тепловых потерь PT на

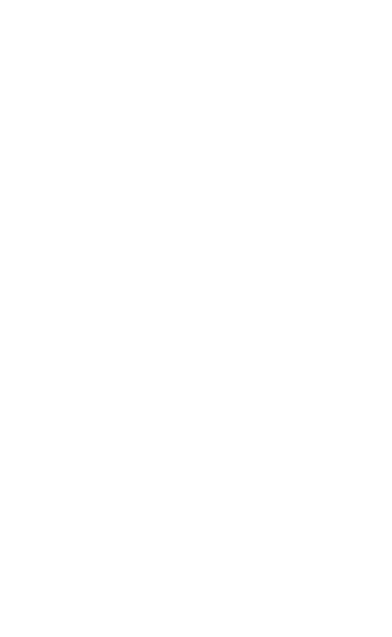
отражающей поверхности с площадью S= *l*у· *l*z.

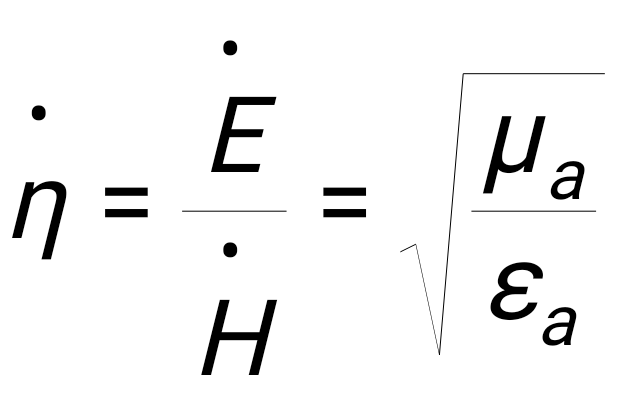
8.Написать, при какой поляризации может иметь место явление полного преломления (т.е. отсутствует отраженная волна) и при каких условиях может наступить явление полного отражения (т.е. отсутствует преломленная волна) и определить угол Брюстера и критический угол падения, если .

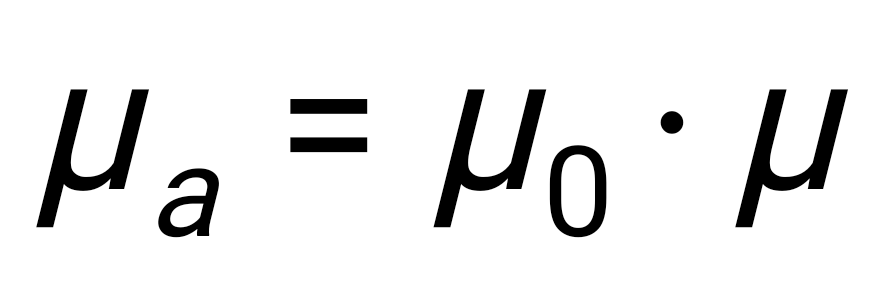
1.3.Методика решения задачи

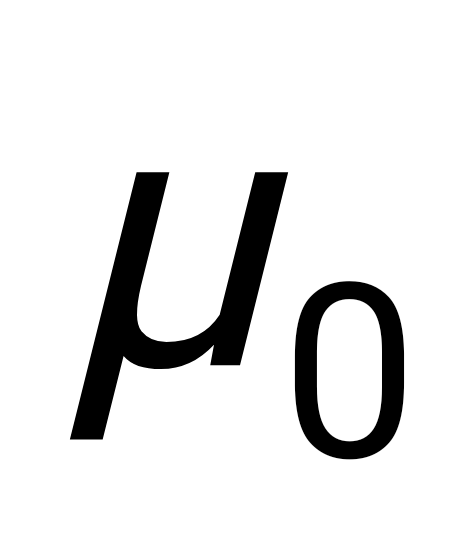
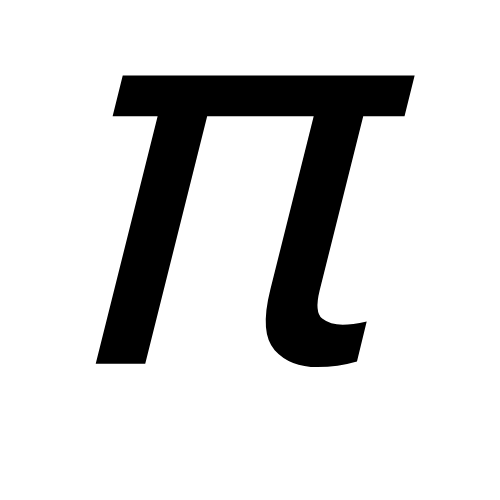
1.3.1.При вертикальной поляризации(см. рис.1) нормальная к границе компонента поля , касательные компоненты поля –и .

Электрическое и магнитное поля плоской однородной волны связаны между собой через волновое сопротивление среды 



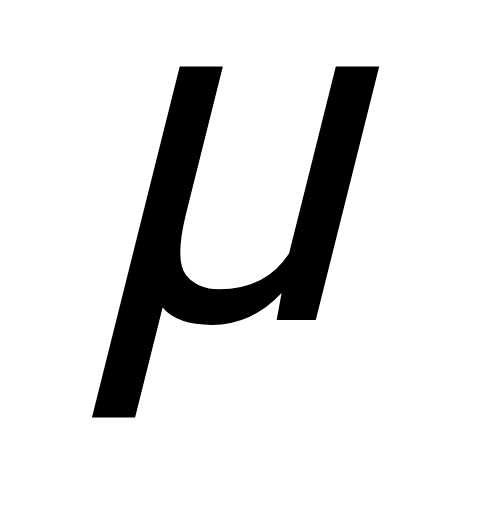
, Ом,

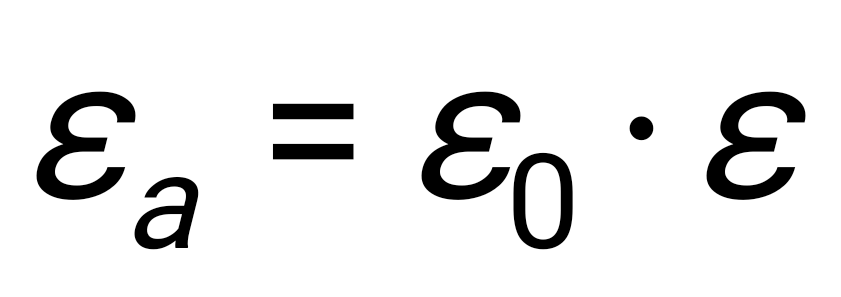
где  -абсолютная магнитная проницаемость среды;

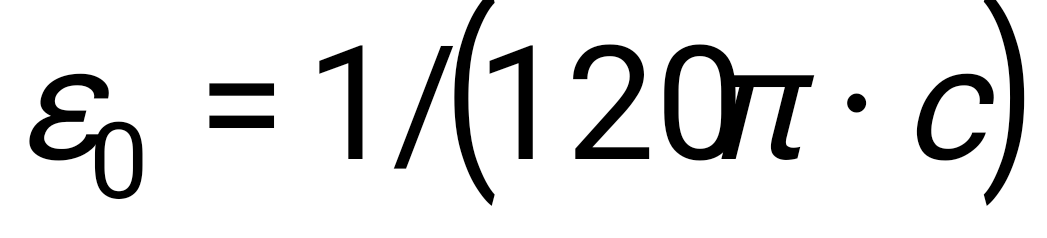
=120/с – абсолютная магнитная проницаемость вакуума

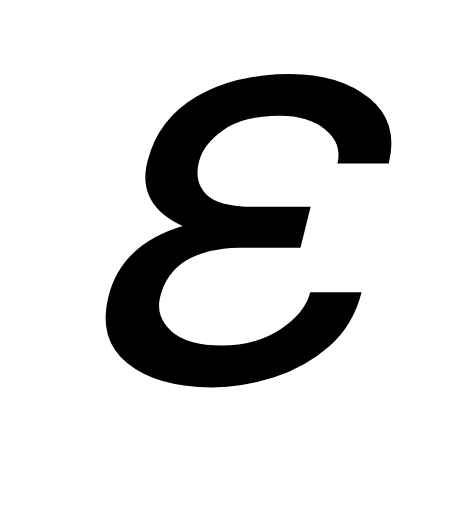
(магнитная постоянная);

с – скорость света в вакууме;

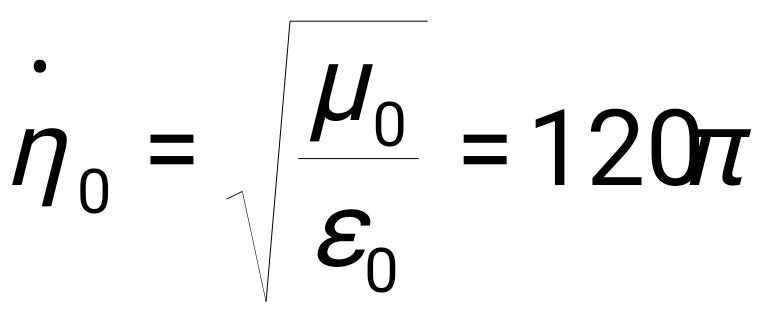
– относительная магнитная проницаемость среды;

 –абсолютная диэлектрическая проницаемость среды;

 - абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума(электрическая постоянная);

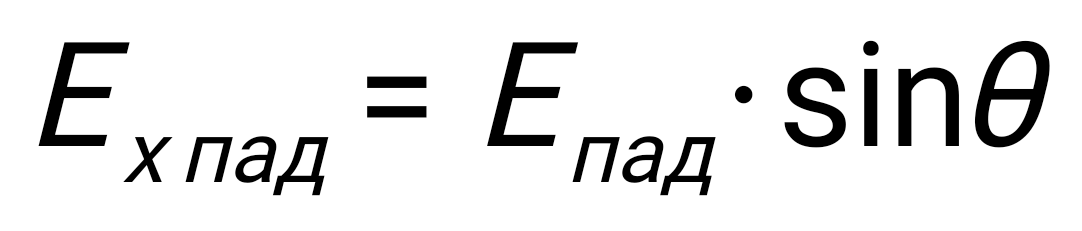
– относительная диэлектрическая проницаемость среды.

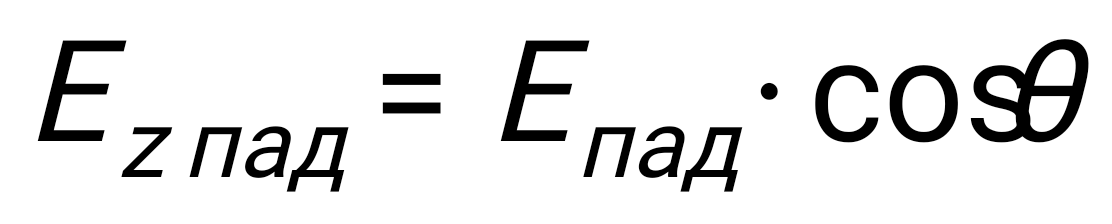
Для воздуха или вакуума это сопротивление равно

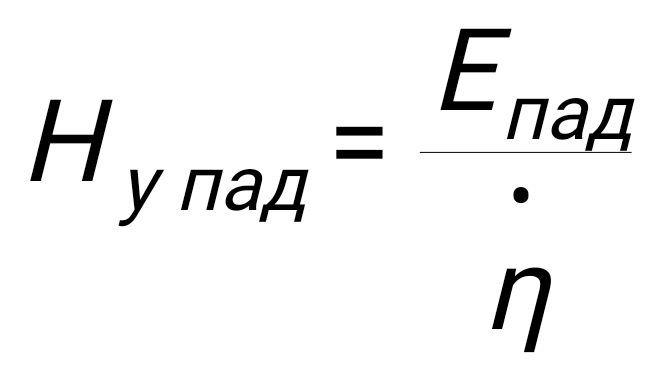
, Ом

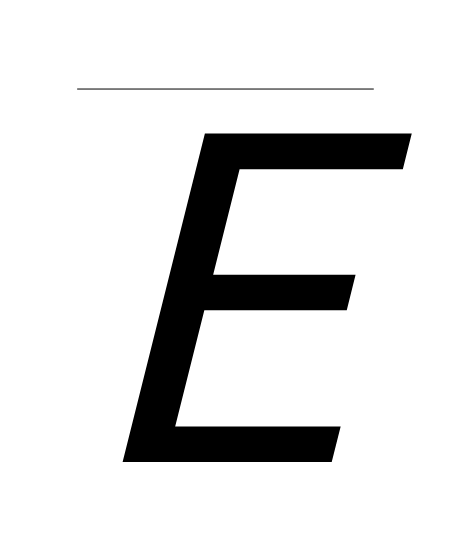
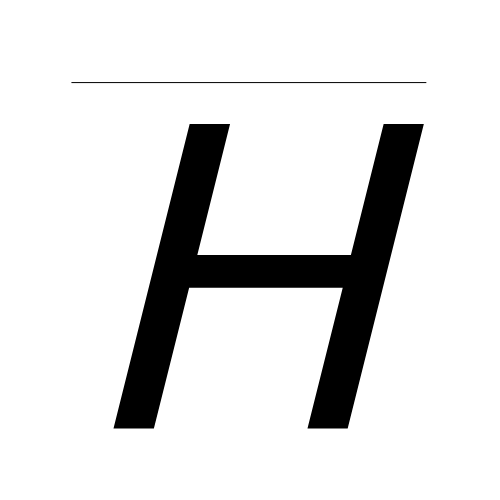
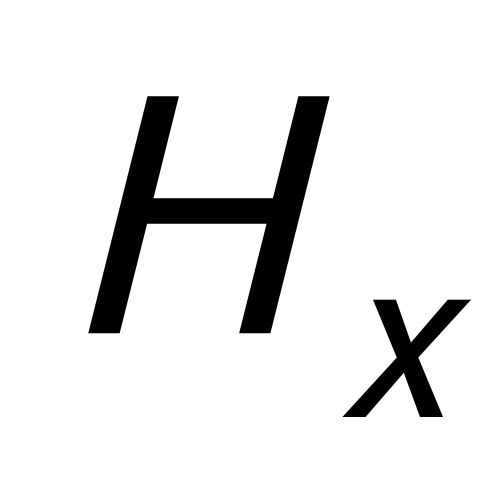
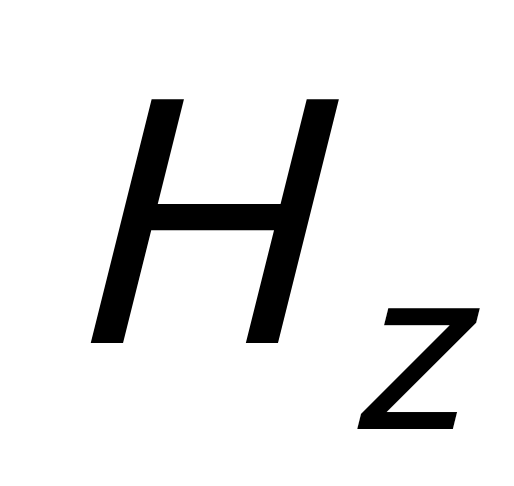
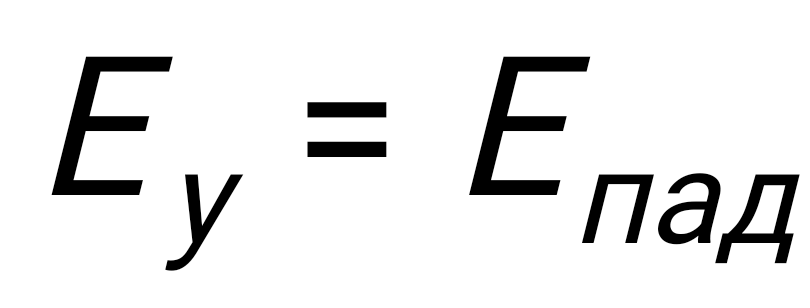
и называется волновым сопротивлением свободного пространства.

Действующие значения нормальной и касательной к границе раздела напряженности электрического поля падающей волны равны:

 ;

 ;

.

При горизонтальной поляризации векторы  и  на рис.1 следует поменять местами. Нормальной к границе компонентой поля будет , касательными –  и :

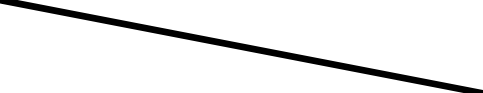
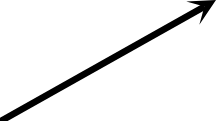
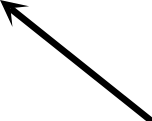
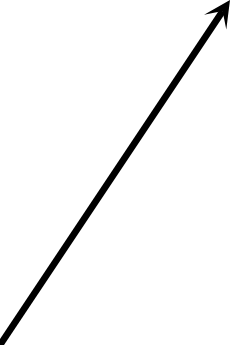
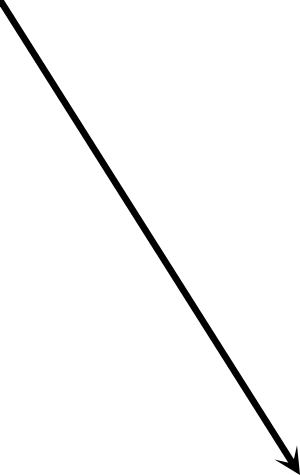
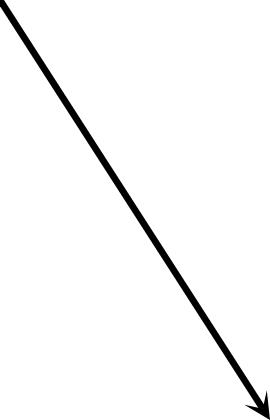
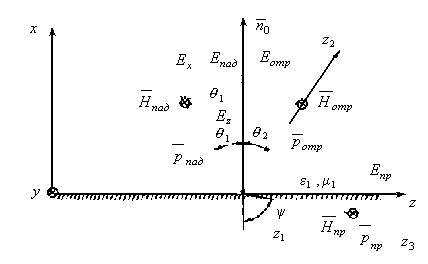


Рис.1. Отражение и преломление плоской однородной волны на плоской границе раздела двух сред при вертикальной поляризации

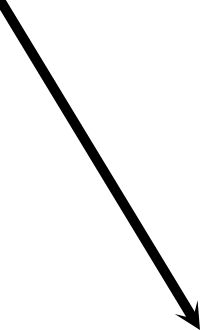
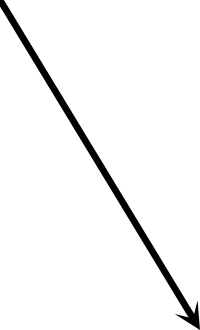
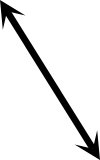
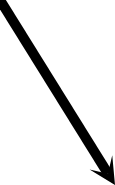
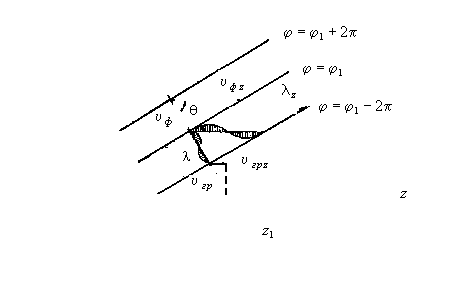
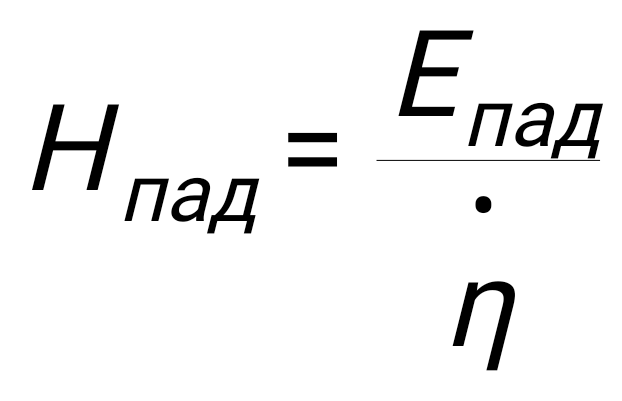
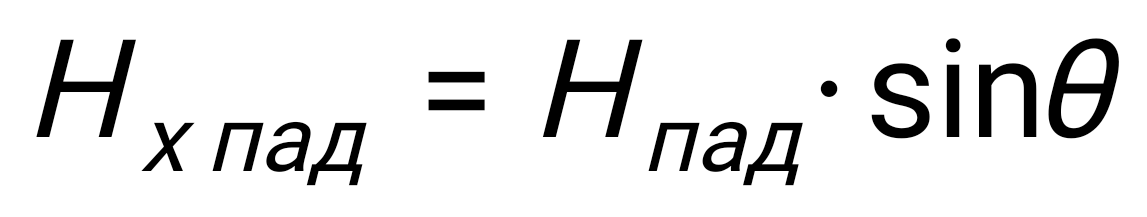
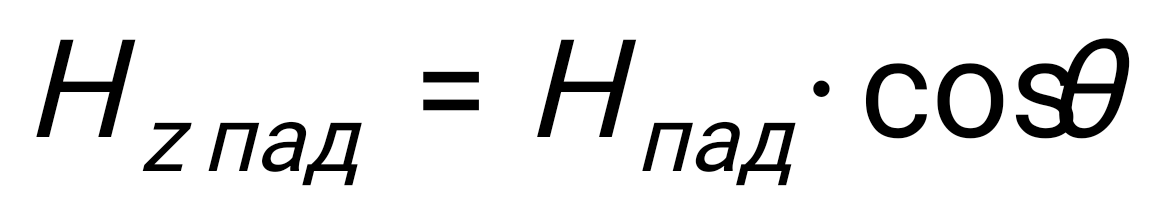


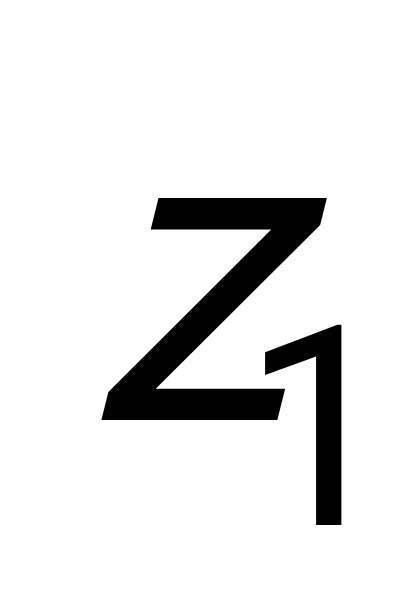
Рис.2. Фазовая, групповая скорости и длина волны

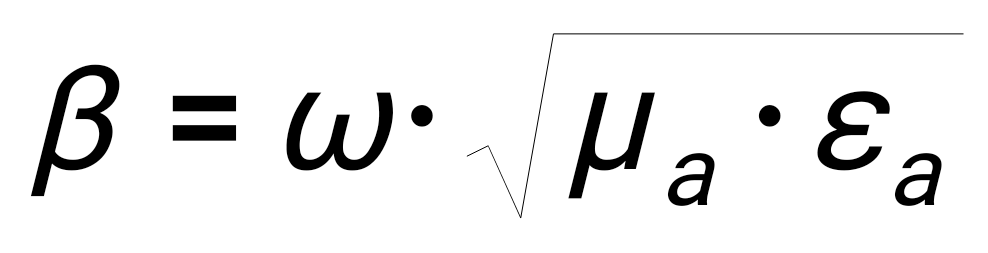
;

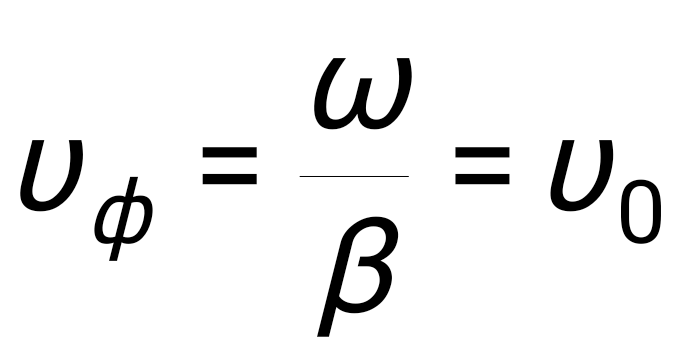
;

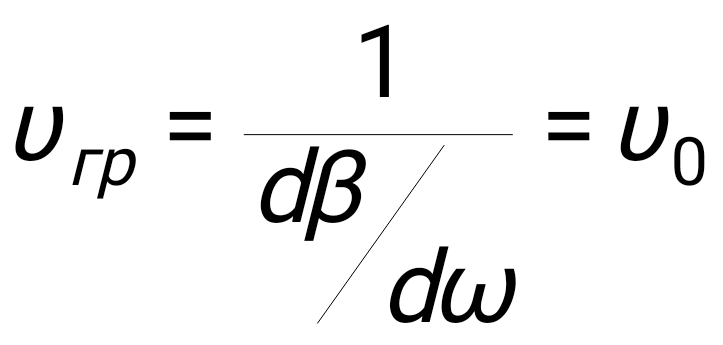
.

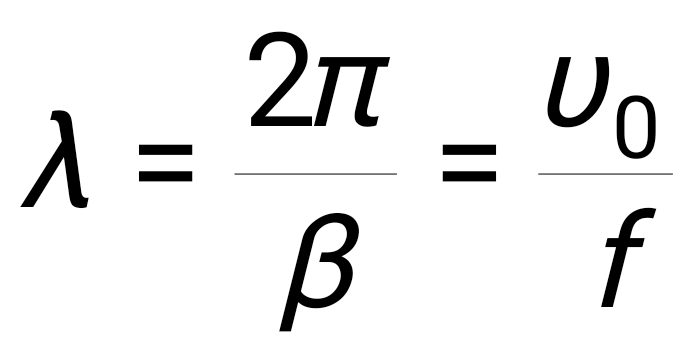
1.3.2 Коэффициент фазы, фазовая и групповая скорости,длина волны связаны друг с другом следующим образом (рис. 2):

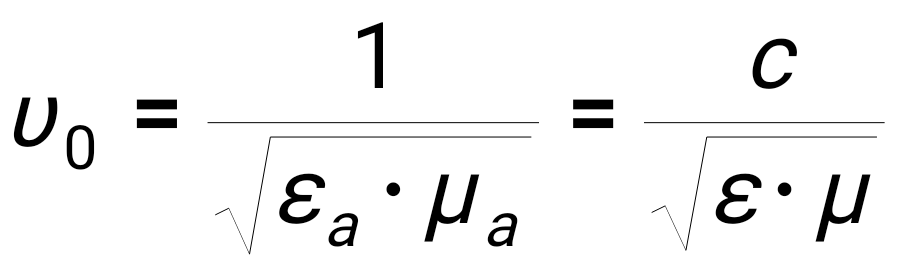
1) вдоль направления падения волны  :

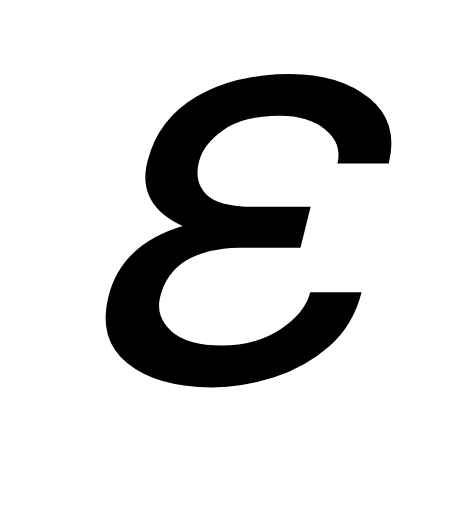
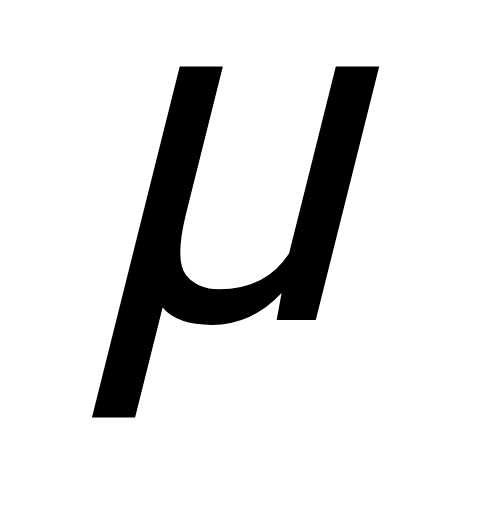
;

;

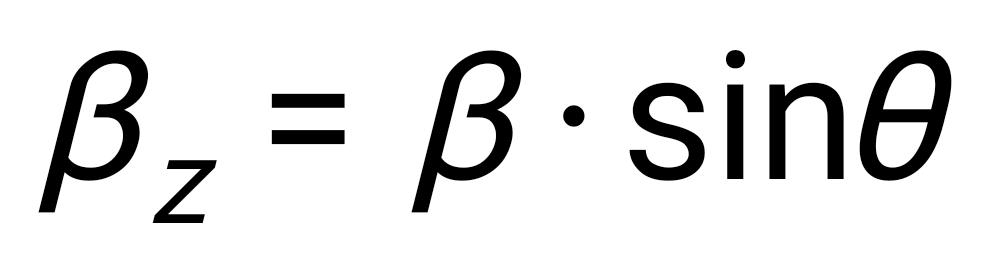
;

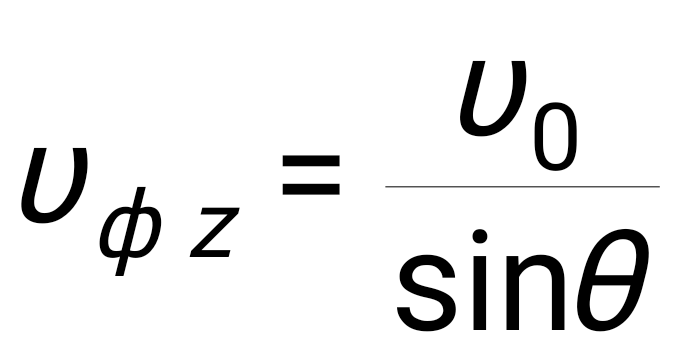
,

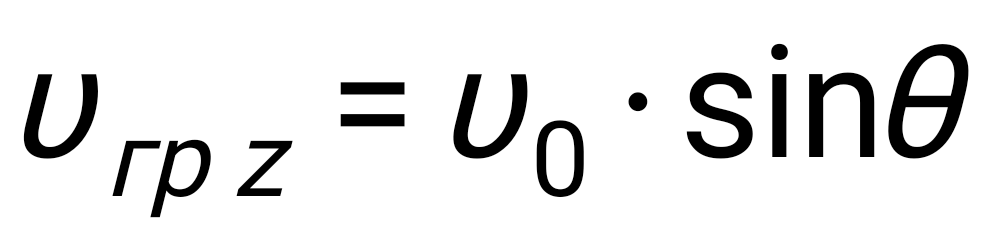
где  - скорость света в данной среде;

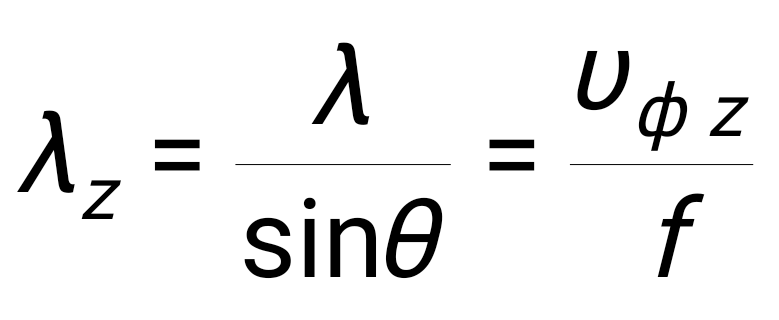
 и  для воздуха равны 1;

2) по направлению вдоль оси z

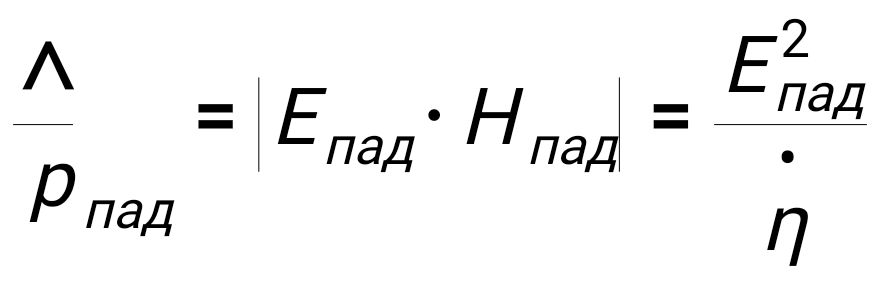
;

;

;

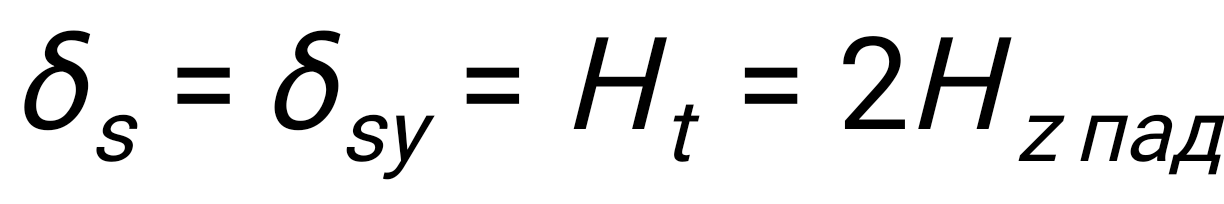
.

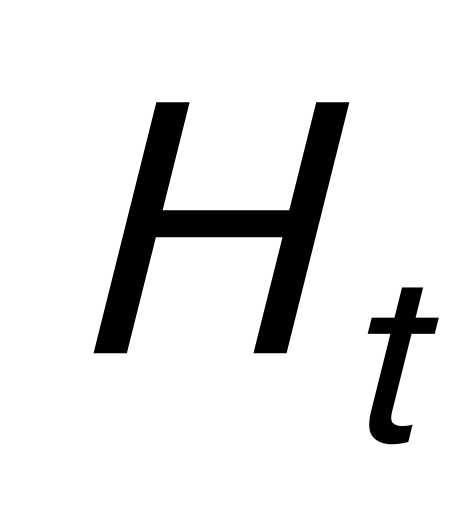
1.3.3. Модули усредненного по времени вектора Умова – Пойнтинга падающей волны при горизонтальной поляризации и при вертикальной поляризации одинаковы и равны

 .

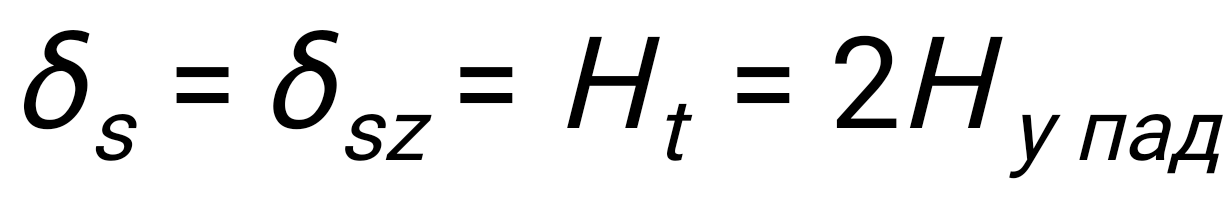
1.3.4. Эффективная поверхностная плотность тока :

1) при горизонтальной поляризации

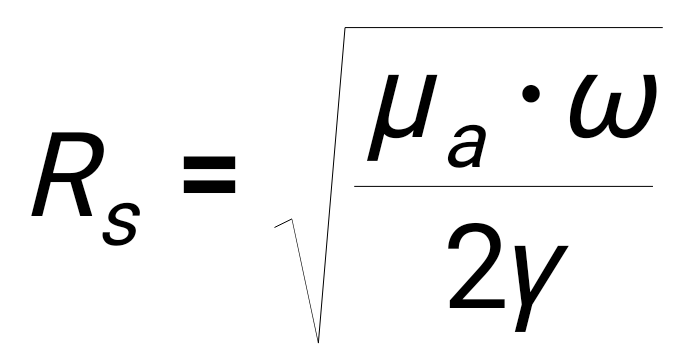
,

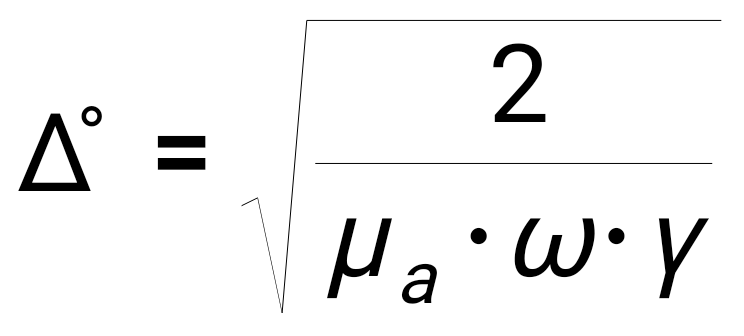
где -касательная к границе раздела компонента поля;

2) при вертикальной поляризации

.

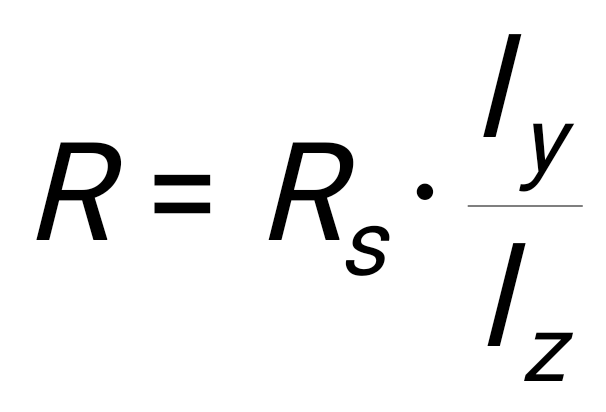
1.3.5. Удельное поверхностное сопротивление отражающей поверхности и глубина проникновения:

;

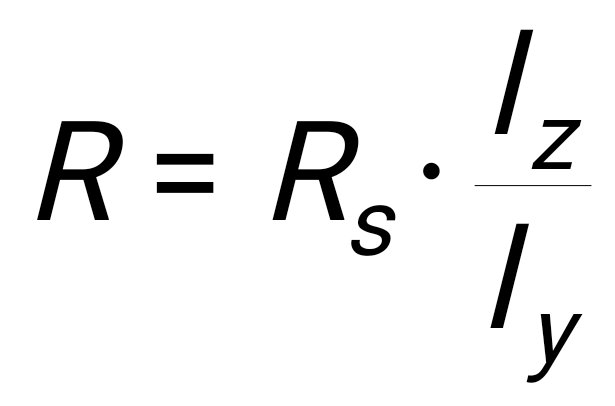
.

1.3.6. Полное сопротивление проводника:

1) при горизонтальной поляризации

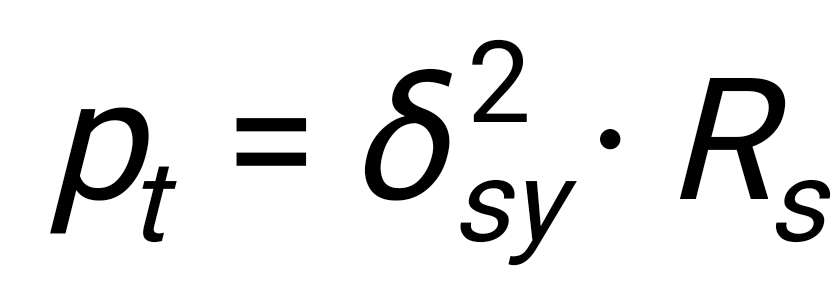
;

2) при вертикальной поляризации:

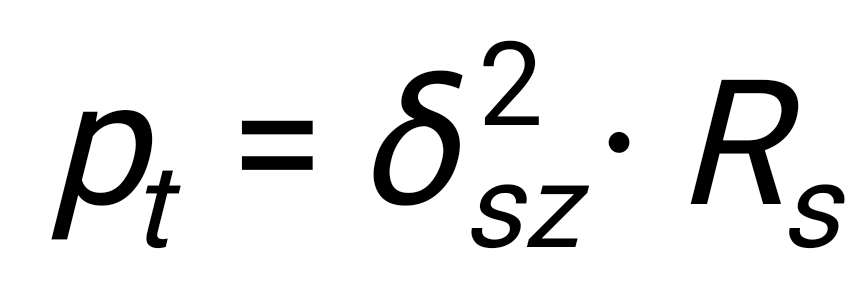
.

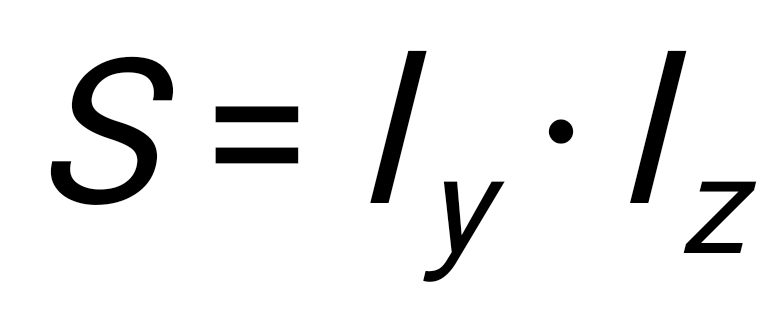
1.3.7. Удельная мощность тепловых потерь:

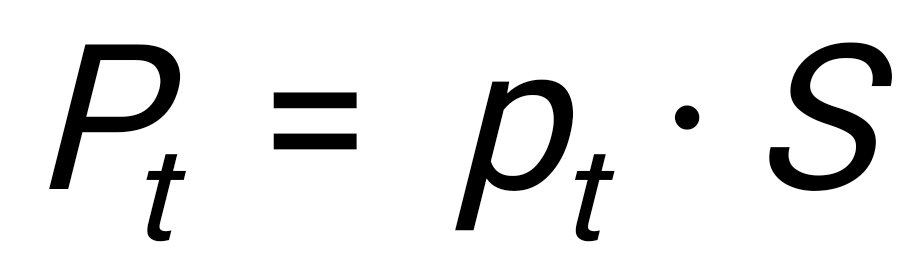
1) при горизонтальной поляризации

;

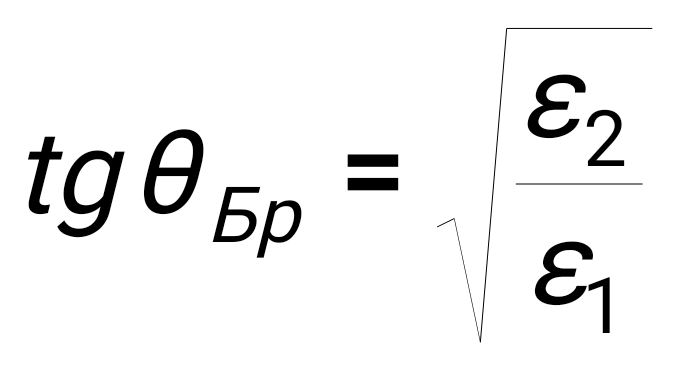
2) при вертикальной поляризации

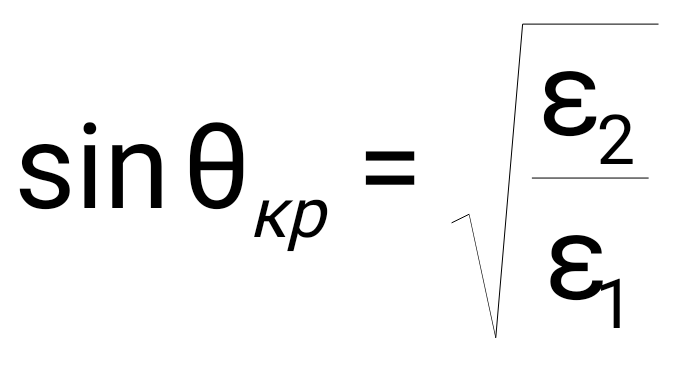
.

Полная мощность тепловых потерь на отражающей поверхности с площадью 

.

1.3.8. Угол Брюстера и критический угол падения:

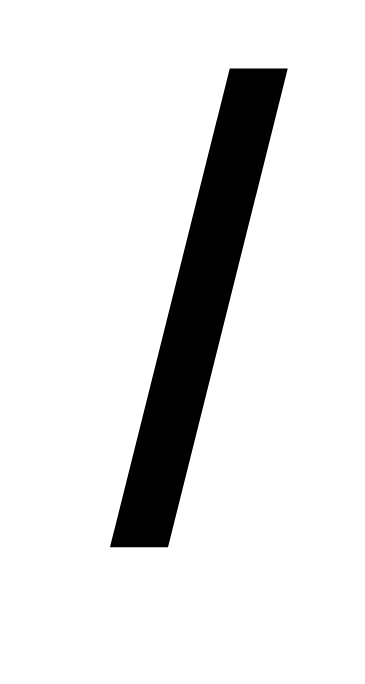
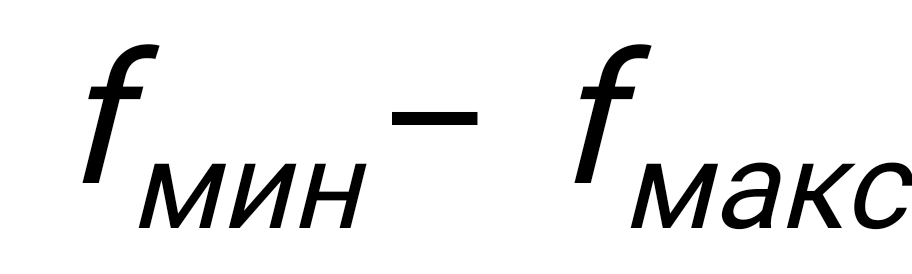
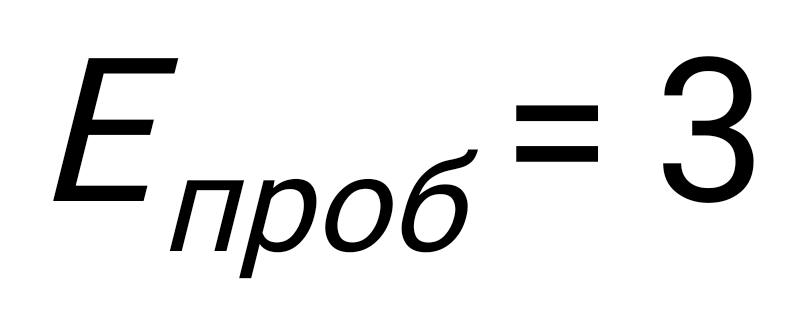
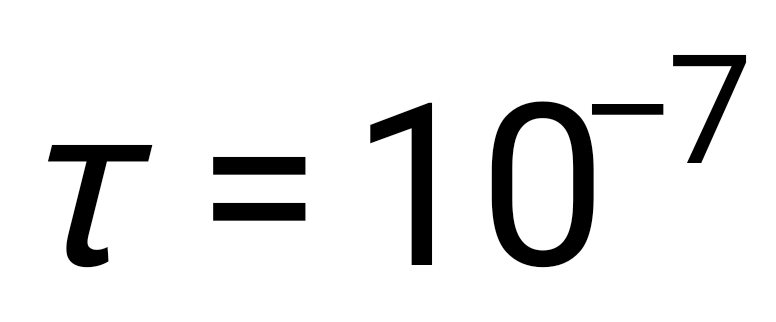
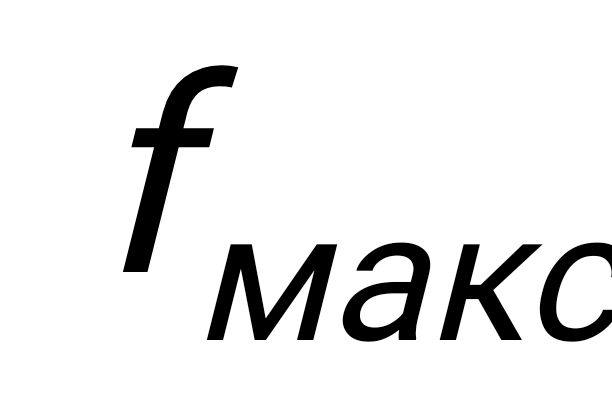
;

 .

**2.ЗАДАЧА 2. ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА**

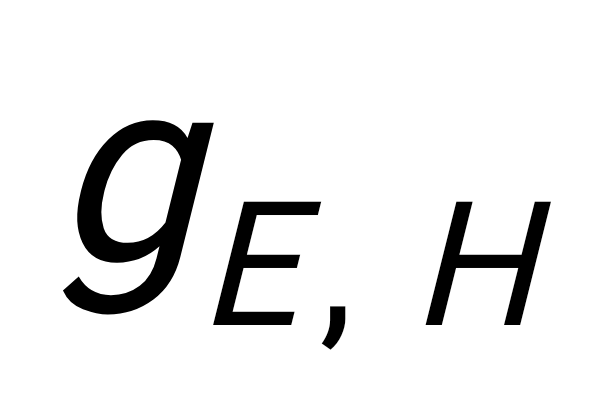
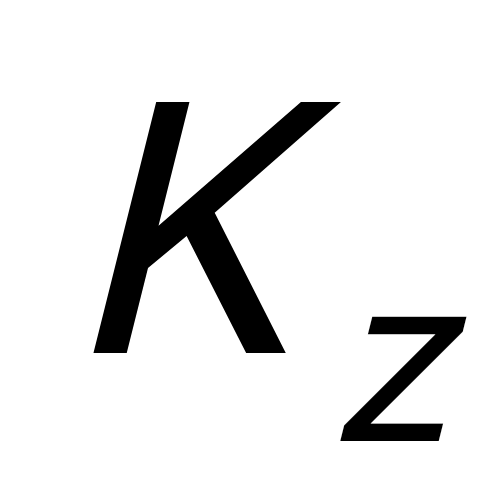
2.1 Задано

При расчетах необходимо пользоваться только системой единиц СИ.

В таблице вариантов задач заданы: форма поперечного сечения волновода и тип волны в нем, максимальная амплитуда напряженности электрического поля, длина линии передачи , полоса рабочих частот . Волновод заполнен воздухом, удельная объемная проводимость стенок такая же, как и в задаче 1, пробивная напряженность кВ/мм, КБВ = 0,8. Для расчета допустимой длины линии - длительность импульса с, частота заполнения .

2.2.Требуется выполнить следующее:

1.Выбрать поперечные размеры прямоугольного волновода по заданным рабочим частотам и по минимальной частоте у круглого волновода.Стандарт на волноводы приведен в табл. 3.

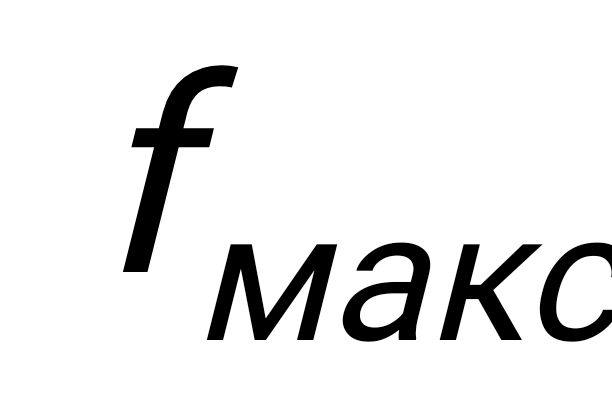
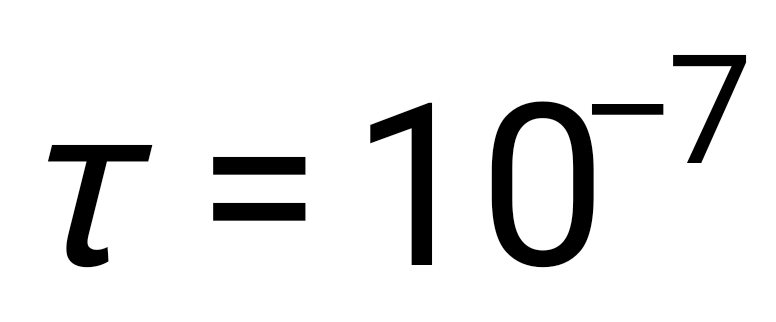
2.Найти значения Kx, Ky, Kz (прямоугольный волновод) и , (круглый волновод) – на ср.

3.Используя найденные в п.2 значения K, записать выражения для полей заданного типа волны.

4.Найти поперечные размеры волновода при работе с высшими типами волн (при заданной рабочей волне H10 – найти размеры для волны H20; при работе с волной H11 в круглом волноводе найти диаметр под волну E01, а при работе с высшей волной E01, найти диаметр для волны H11). Показать, в каком случае поперечные размеры получаются меньше – при работе с основной или с высшей волной.

5.Найти критическую частоту и критическую длину волны заданного типа.

6.Найти длину волны в волноводе, фазовую и групповую скорости на средней длине волны.

7.Найти максимально допустимую длину волновода, при которой не наблюдалось бы заметных искажений формы сигнала при работе короткими импульсами высокой частоты  и длительностью с.

8.Рассчитать предельную мощность в волноводе на средней частоте при выбранных его стандартных размерах. Найти пробивную мощность при КСВ = 1,2, максимально допустимую мощность и сравнить ее с рабочей мощностью.

9.Найти коэффициент затухания на средней частоте.

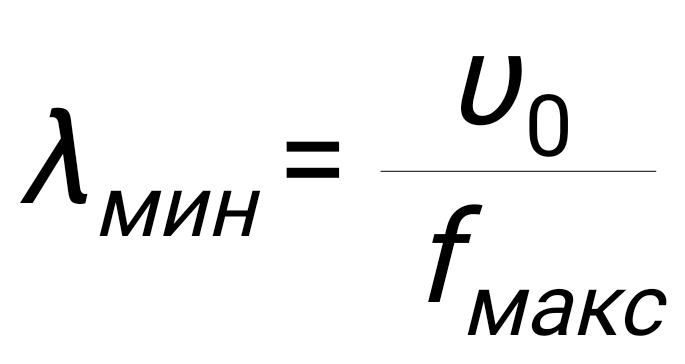
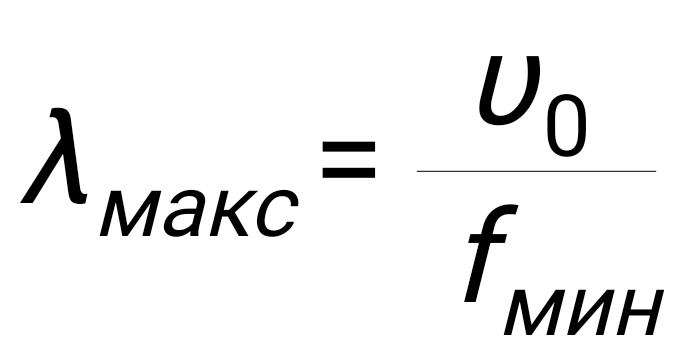
10.Найти отношение амплитуд поля (при x = const и y = const) и мощностей на расстоянии *l* м при рассчитанной величине коэффициента затухания.

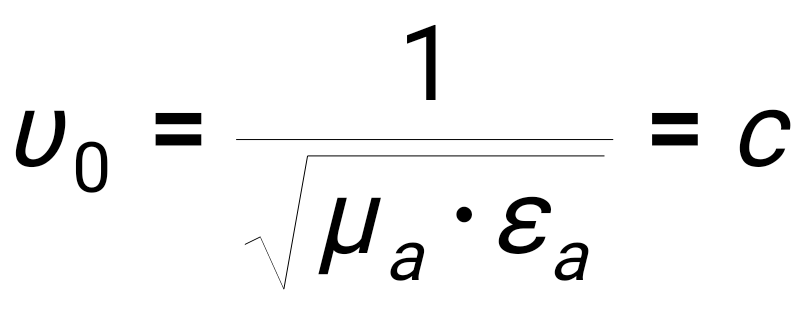
11.Определить, на каком расстоянии амплитуды поля волн H20 в прямоугольном и H01 в круглом волноводах (исходя из задания), находящихся в закритическом режиме, уменьшаются не менее чем в сто раз, если частота равна средней частоте диапазона (надо предварительно найти кр волны H20 или H01).

12.Найти КПД несогласованной с нагрузкой линии передачи при длине линии *l* и КБВ = 0,8.

2.3. Методика решения задачи

2.3.1. Предварительно найдем длины волн рабочего диапазона:

; ,

где  - так как волновод заполнен воздухом.

Условия для выбора размеров прямоугольного волновода для волны H10:

0,9  мин  а  0,6  макс ; b  а  2.

Условия для выбора диаметра круглого волновода с волной H11:

0,77  мин  D  0,6  макс, D = 2R.

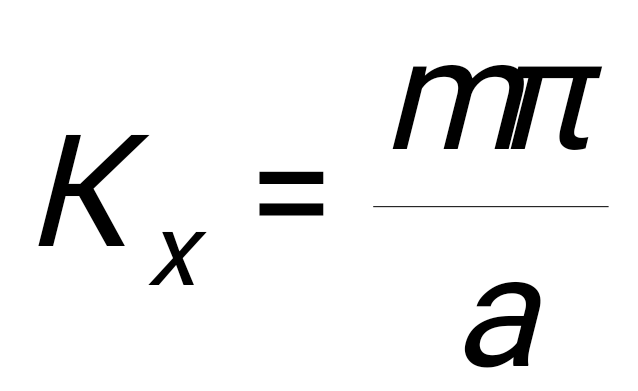
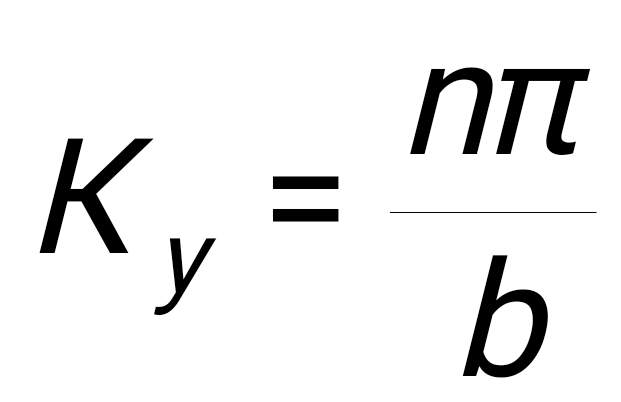
Условия для выбора диаметра круглого волновода с волной E01:

0,96  мин  D  0,76  макс.

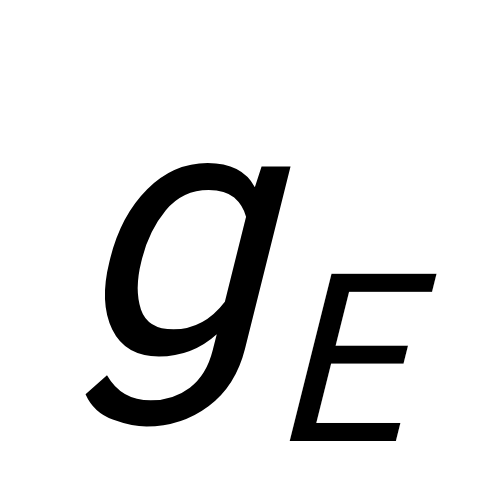
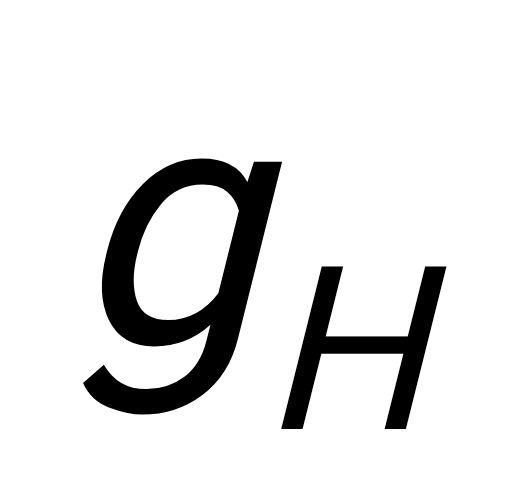
Удовлетворяющие этим условиям стандартные волноводы выбираются из табл 3.

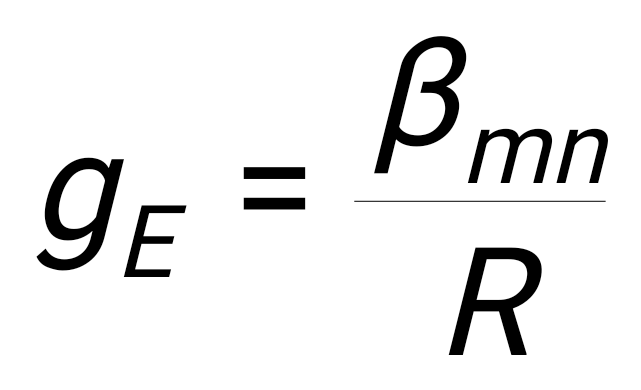
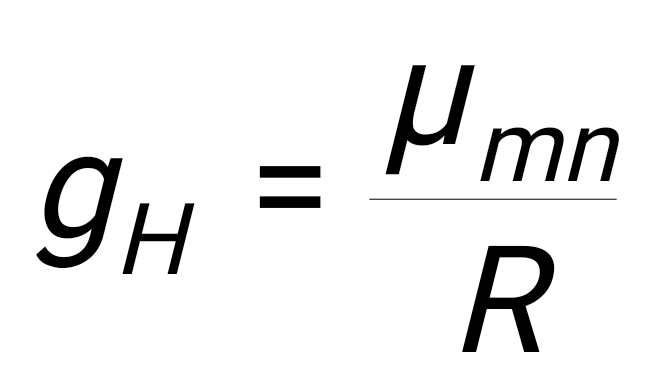
Если в качестве рабочей волны задана не основная волна, а например, волна Е01 в круглом волноводе, то не всегда удается подобрать стандартный волновод, и тогда размеры следует оставлять те, которые получены из расчета.

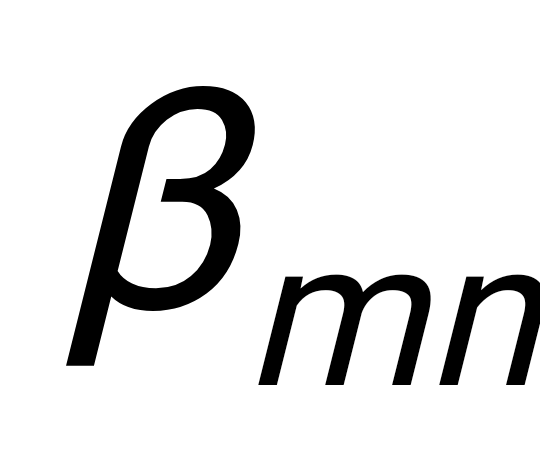
2.3.2. Для прямоугольного волновода значения Кx и Кy равны:

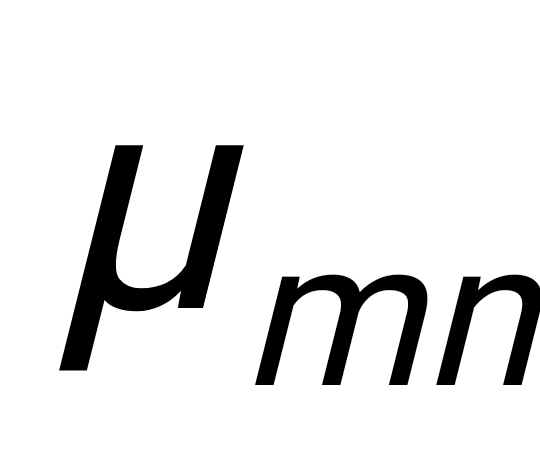
; ,

где m, n – индексы, которые ставятся около названия волны (Нmn и Emn, где m = 0,1,2,3…; n = 0,1,2,3…).

Для круглого волновода значения  и  равны:

; , где m = 0,1,2,3…; n = 0,1,2,3…;

 - корни функции Бесселя 1 – го рода.

 – корни производной функции Бесселя.

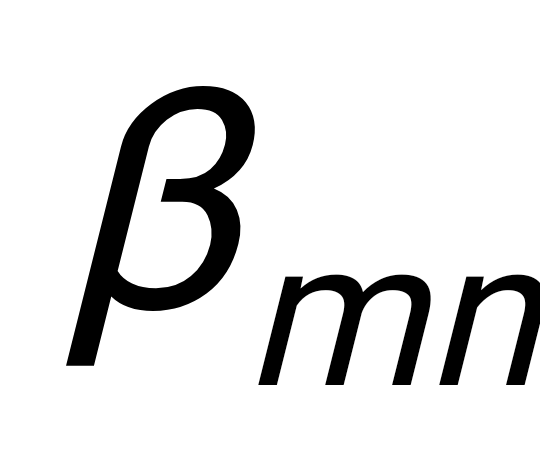
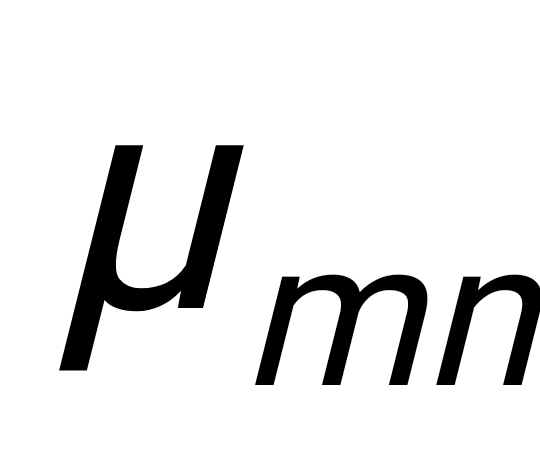
Ниже приводятся таблицы некоторых корней функции Бесселя 1 – го рода  и корней производной функции Бесселя  (табл. 4 и 5).

Таблица 4

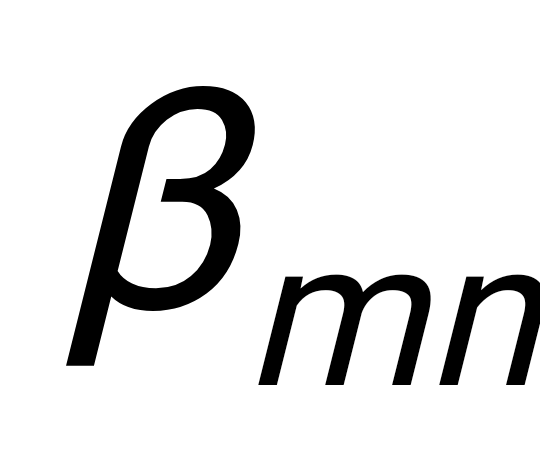
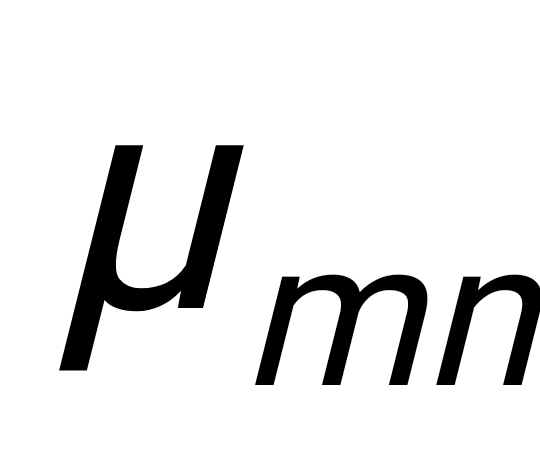
Корни  функции Бесселя

Таблица 5

Корни  производной функции Бесселя

| n  m | 1 | 2 | | 3 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 0  1  2 | 2,405  3,83  5,136 | 5,52  7,016  8,417 | 8,65  10,173  11,62 | |

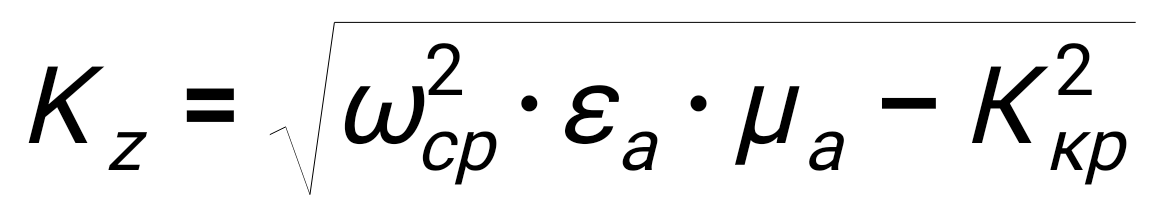
| n  m | 1 | 2 | | 3 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 0  1  2 | 3,83  1,841  3,054 | 7,016  5,331  6,706 | 10,173  8,530  9,969 | |

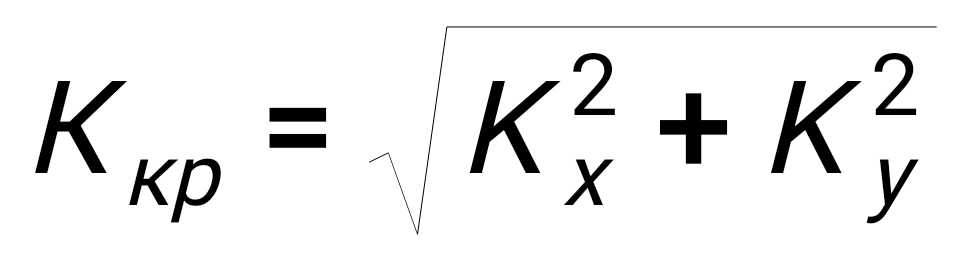
Таблица 3

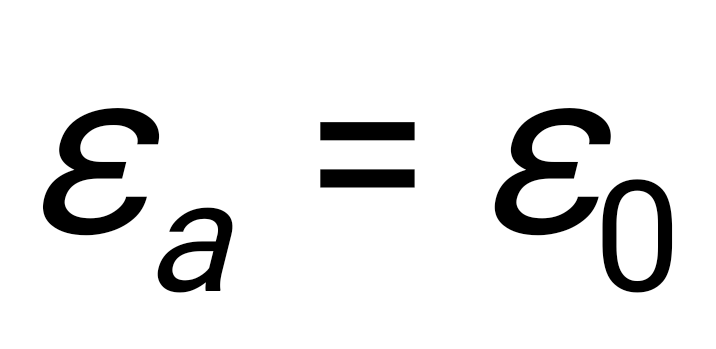
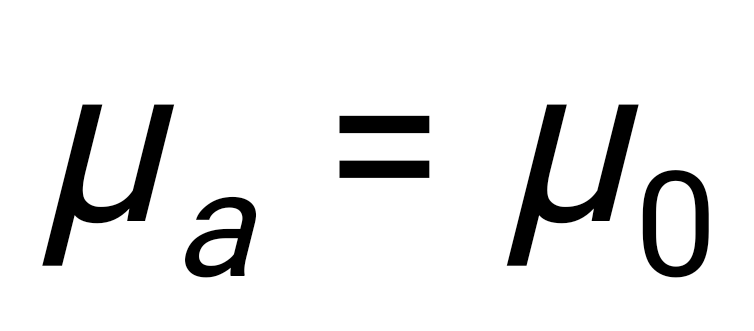
| Прямоугольные волноводы | | | | | Круглые волноводы | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение  типа  волновода | Диапазон  частот для основного типа волны, ГГц | | Внутренние  размеры | | Обо- зна-чение типа волновода | Диа-  метр,  мм | Критические частоты(ГГц) для  волн типа | | |
| Н11 | Е01 | Н21 |
| от | до | ширина  а, мм | высота  b, мм |
| R26  R32  R40  R48  R70  R84  R100  R120  R140  R180 | 2,17  2,60  3,22  3,94  5,38  6,57  8,2  9,84  11,9  14,5 | 3,30  3,95  4,90  5,99  8,17  9,99  12,5  15,0  18,0  22,0 | 86,3  72,14  58,17  47,55  34,85  28,5  22,86  19,05  15,0  12,954 | 43,18  34,04  29,08  22,149  15,8  12,62  10,16  9,52  7,9  6,477 | C25  C30  C35  C40  C48  C65  C76  C89  C104  C165 | 83,62  71,42  61,04  51,99  44,45  32,54  27,78  23,825  20,244  12,7 | 2,1  2,46  2,88  3,38  3,95  5,4  6,32  7,37  8,68  13,8 | 2,74  3,21  3,76  4,41  5,16  7,05  8,26  9,63  11,3  18,1 | 3,49  4,08  4,77  5,61  6,56  8,96  10,5  12,2  14,4  22,9 |

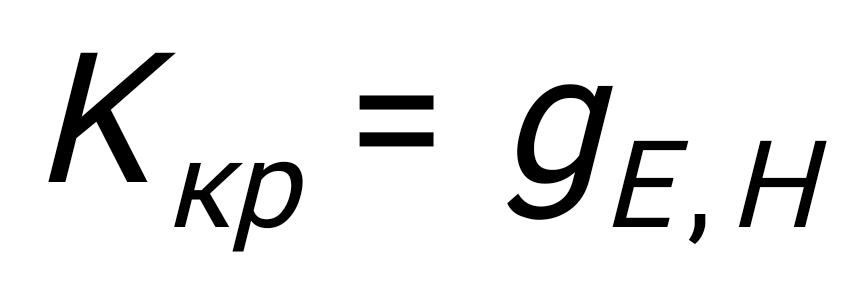
Технические данные прямоугольных и круглых волноводов (стандарт, принятый Международной электротехнической комиссей (МЭК))

Коэффициент фазы в волноводе

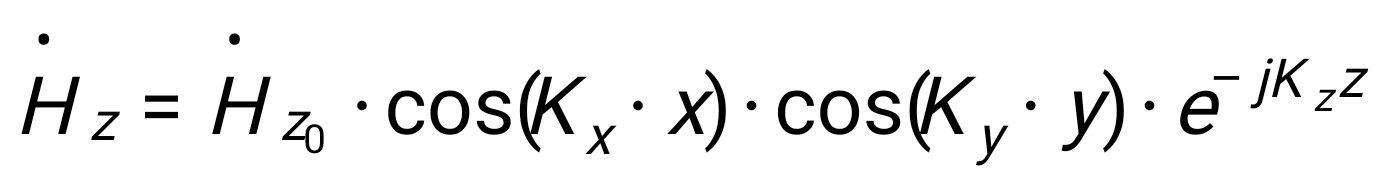
 ,

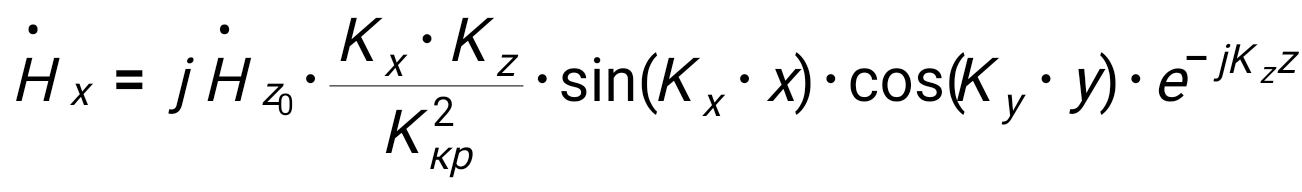
где  - для прямоугольного волновода;

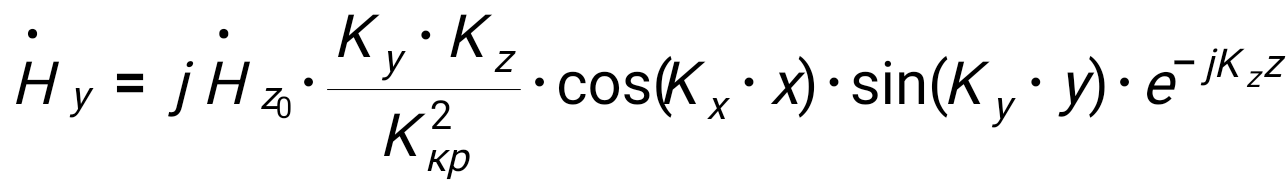
 и  – если диэлектриком служит воздух;

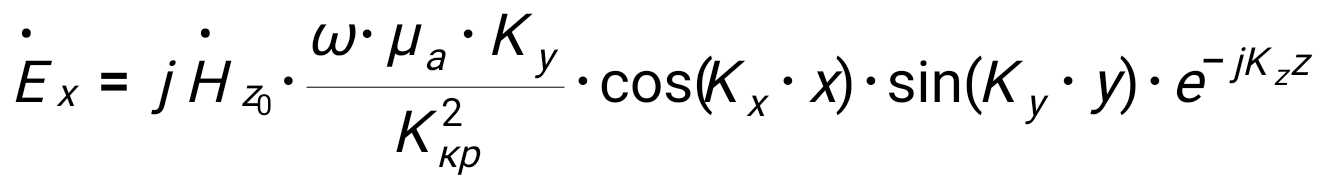
 – для круглого волновода.

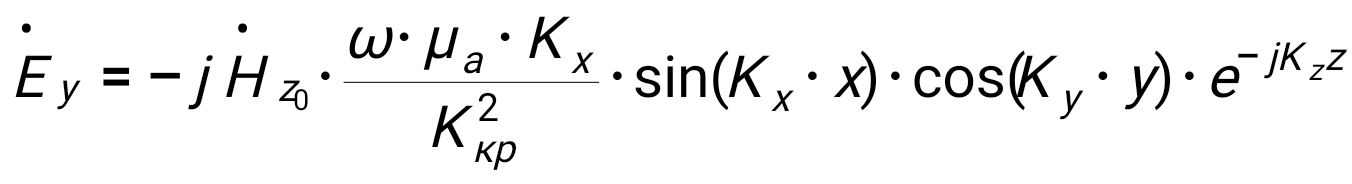
2.3.3. Для прямоугольного волновода из решения уравнений Максвелла с выполнением граничных условий на идеально проводящих стенках получаются решения для комплексных амплитуд поля волн типа Нmn:

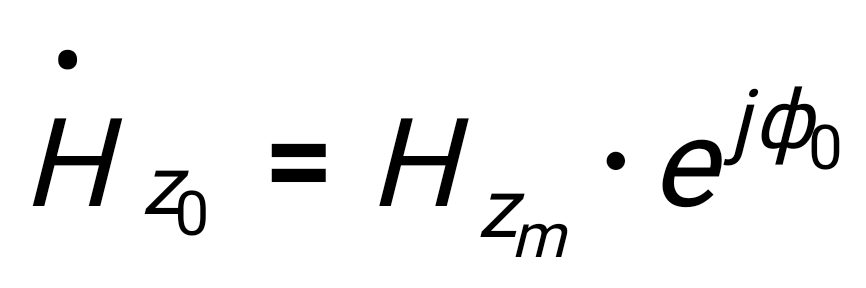
;

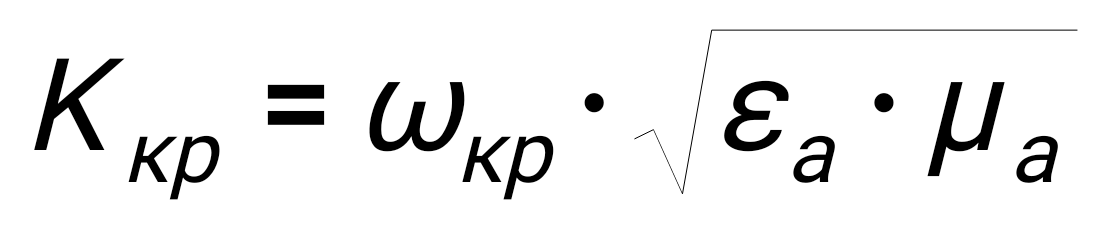
;

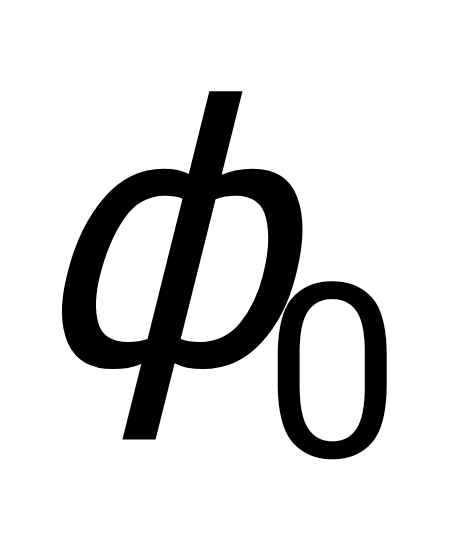
;

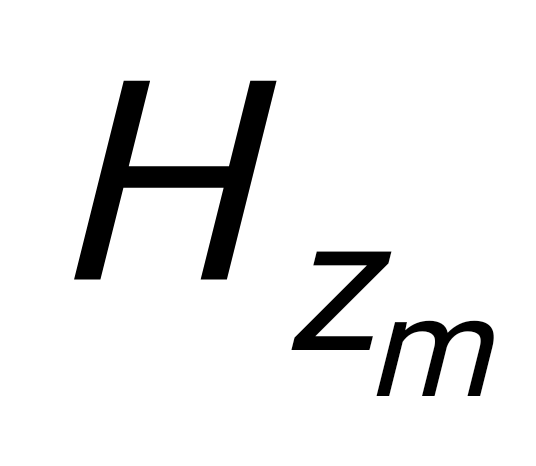
;

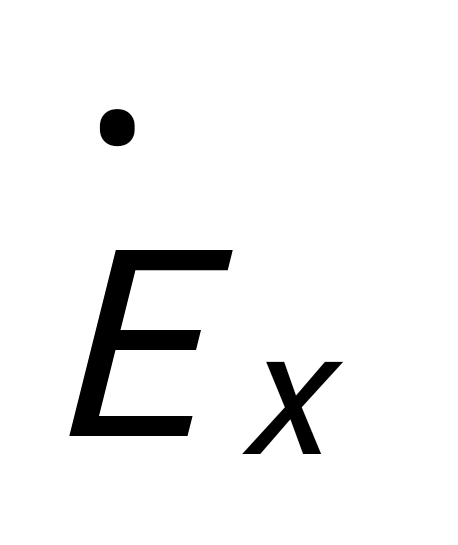
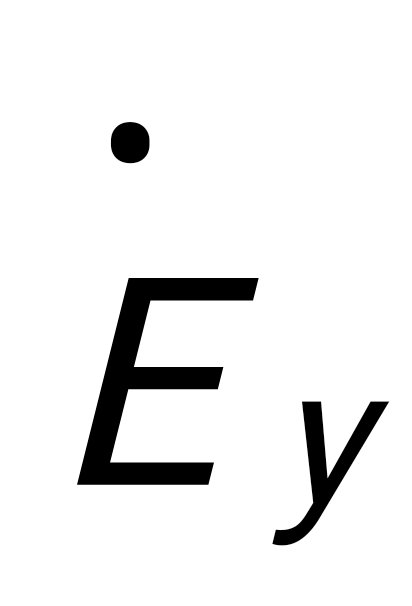
,

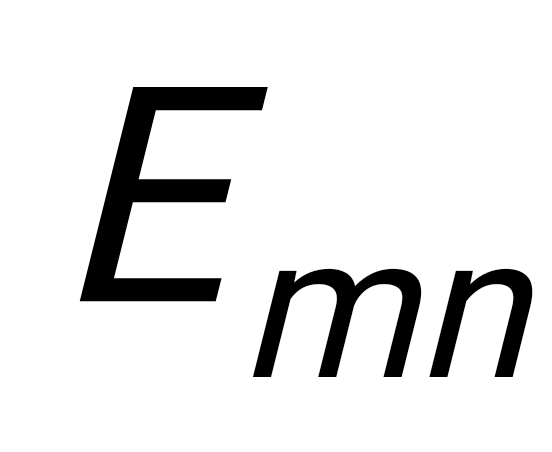
где ;

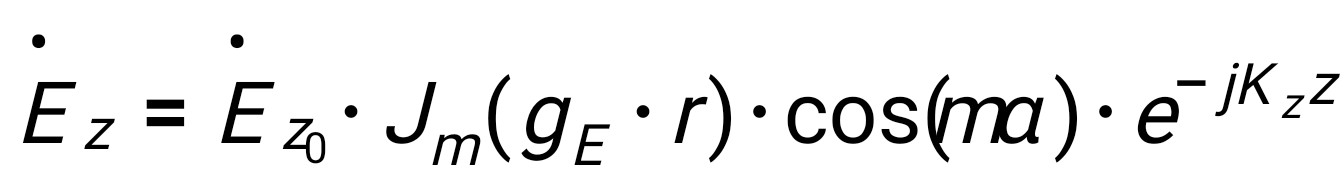
;

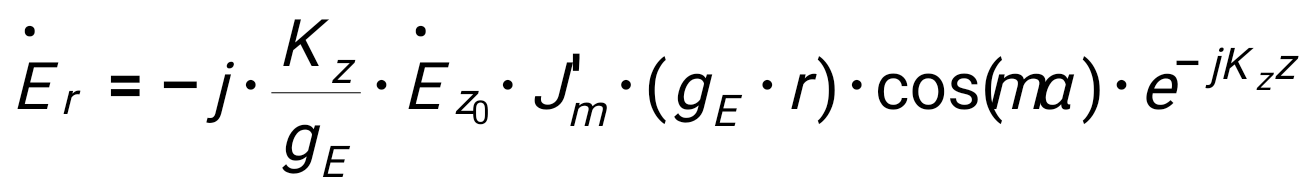
– начальная фаза напряженности магнитного поля, рад;

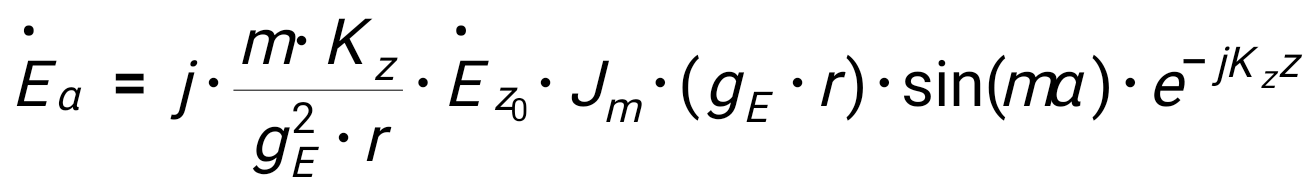
– действительная амплитуда напряженности продольного магнитного поля, А/м;

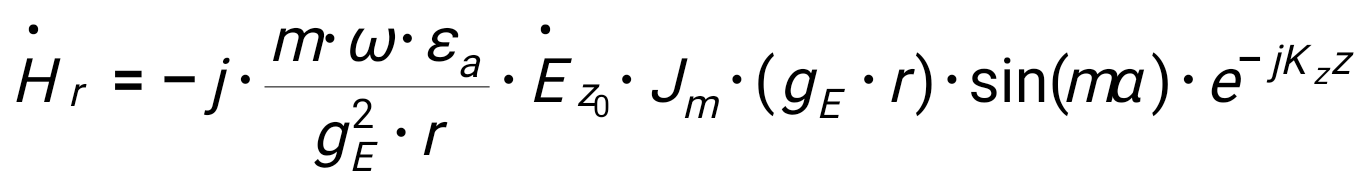
,–комплексные амплитуды напряженности электрического поля, В/м.

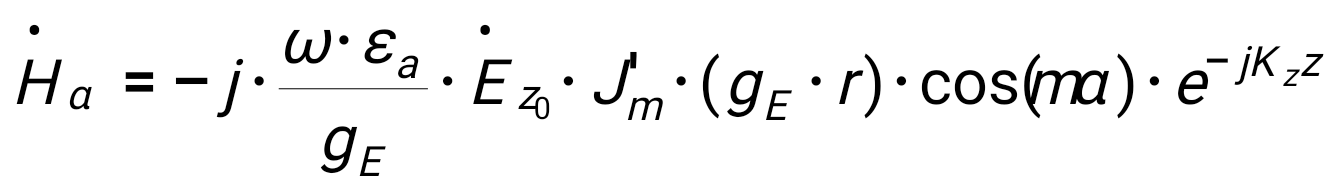
В круглом волноводе с радиусом R поле волн типа :

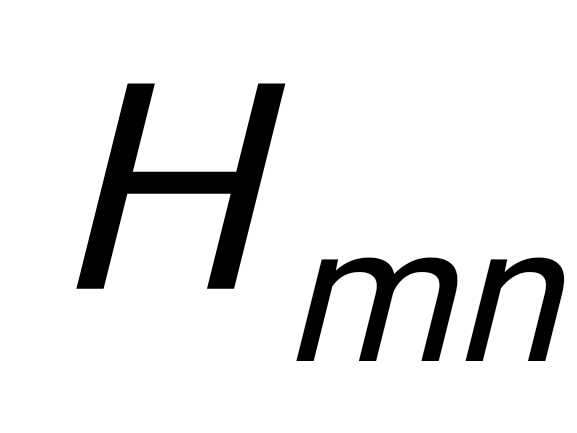
;

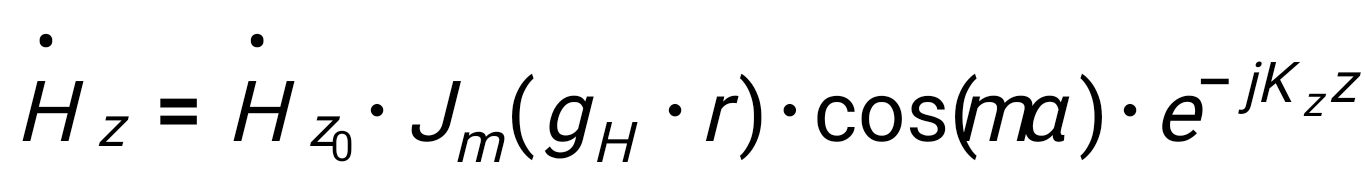
;

;

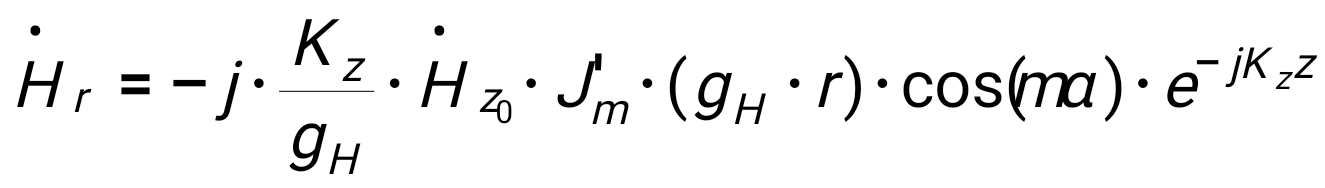
;

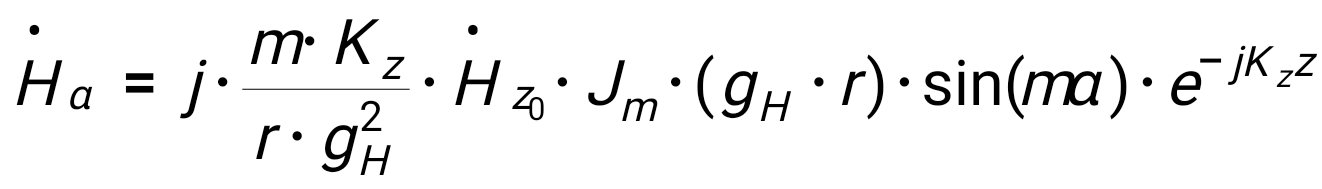


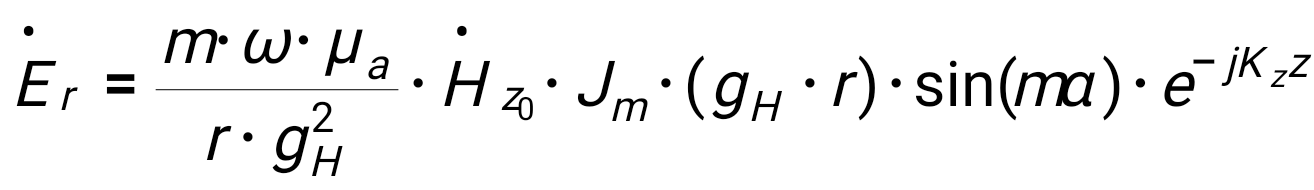
и для волн типа :

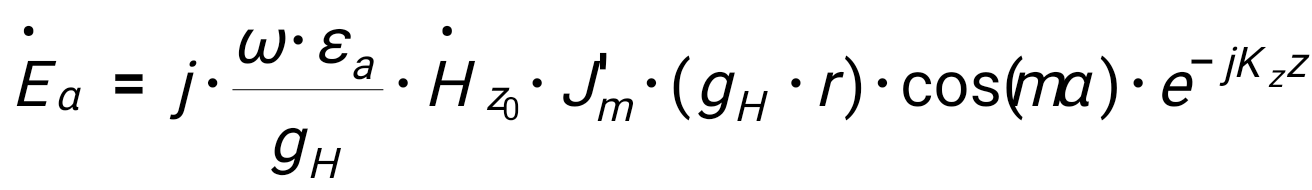
;

.

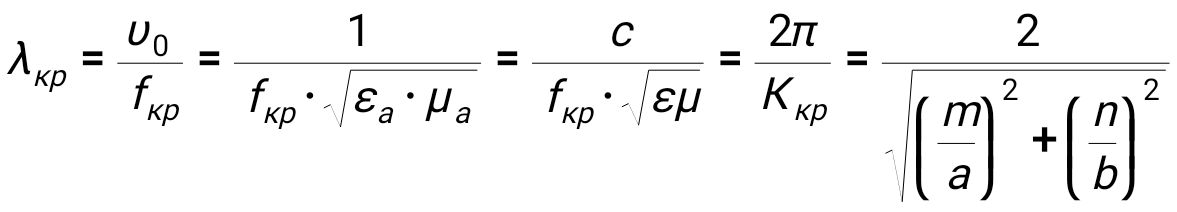
;

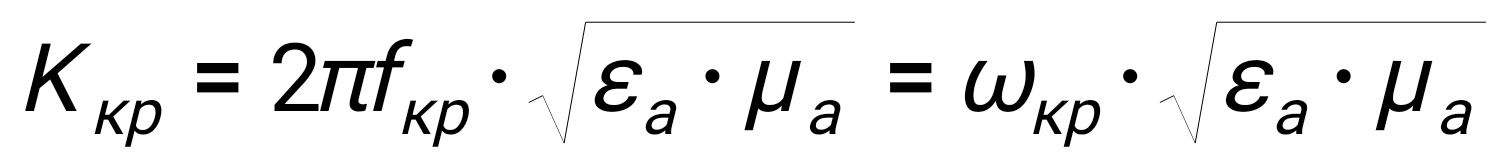
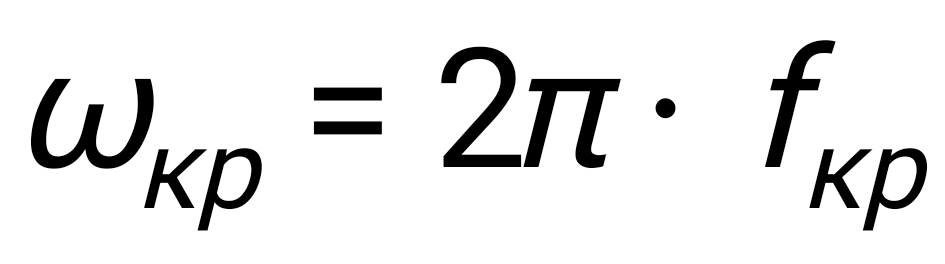
;

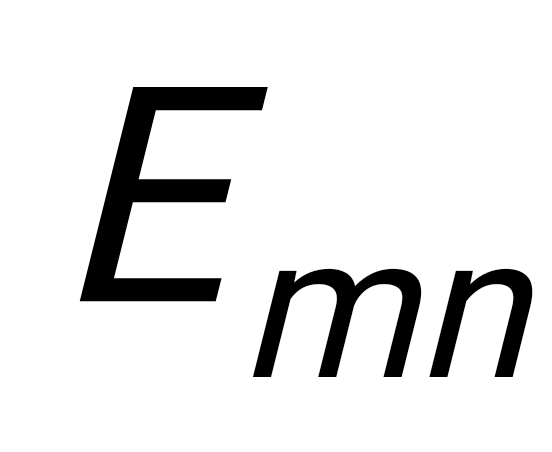
;

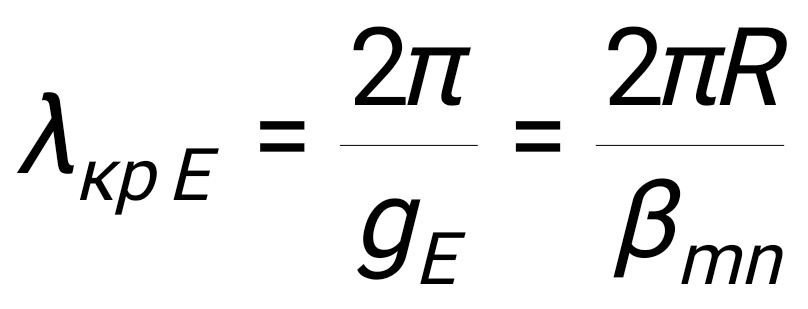
.

2.3.4. Критическая длина волны в прямоугольном волноводе

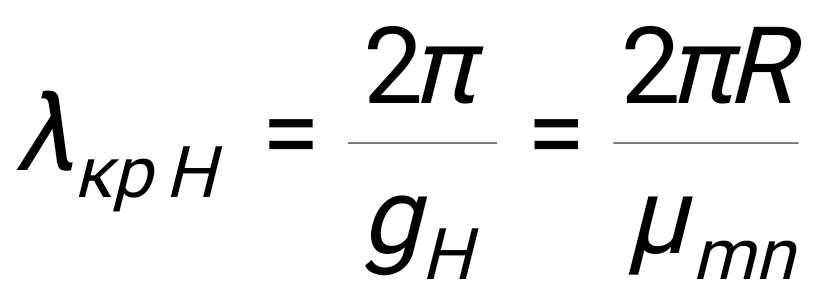
 ,

где , .

Критические длины волн в круглом волноводе типа 

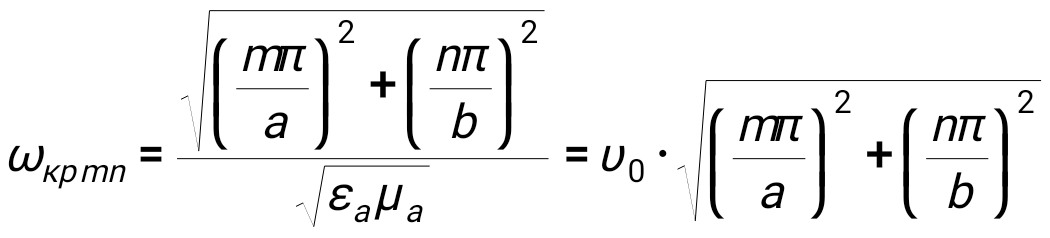


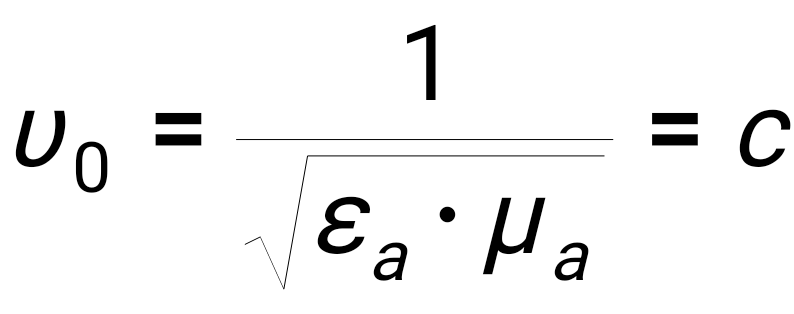
и волн типа Нmn

.

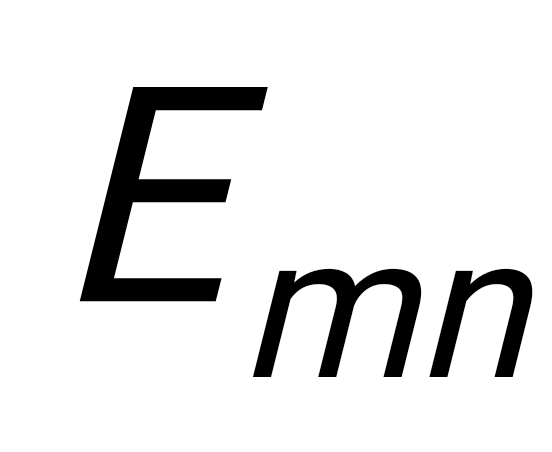
Приведенные выше выражения для кр позволяют найти поперечные размеры прямоугольного волновода и диаметр (D = 2R) круглого волновода при работе с высшими типами волн.

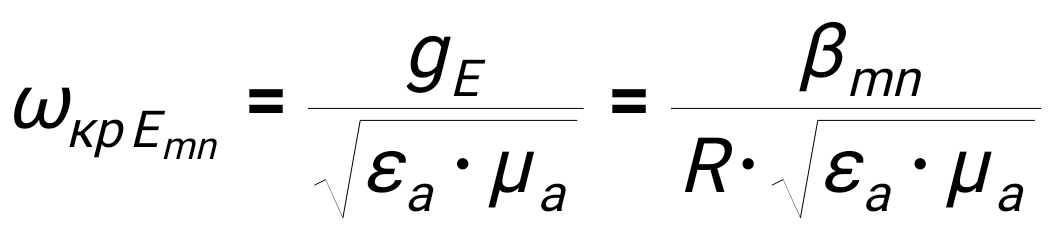
2.3.5. В прямоугольном волноводе критические частоты волн типа Н и Е с одинаковыми сочетаниями индексов m и n одинаковы и равны

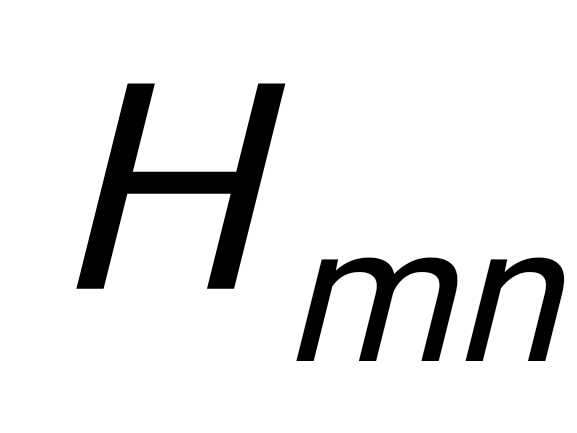
,

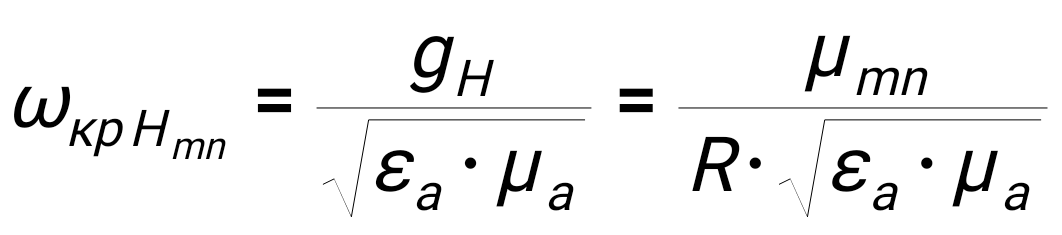
где  –так как волновод заполнен воздухом.

В круглом волноводе критические частоты имеют разные значения у волн типа Н и Е даже с одинаковыми индексами.

Для волн типа 

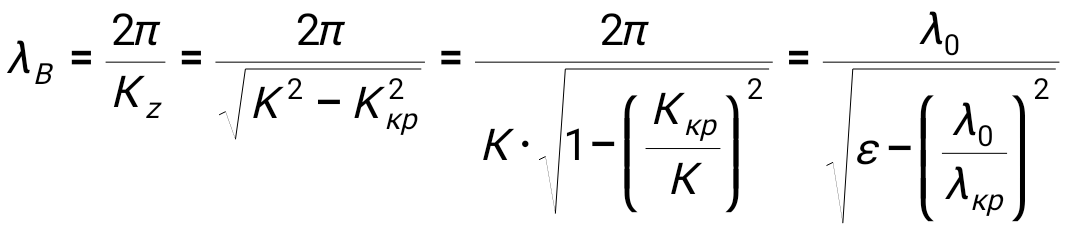
.

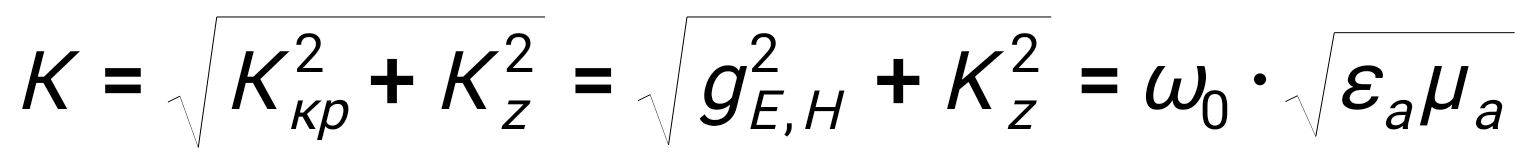
Для волн типа 

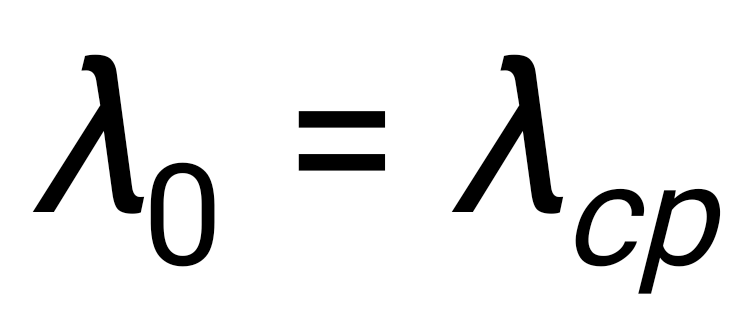
.

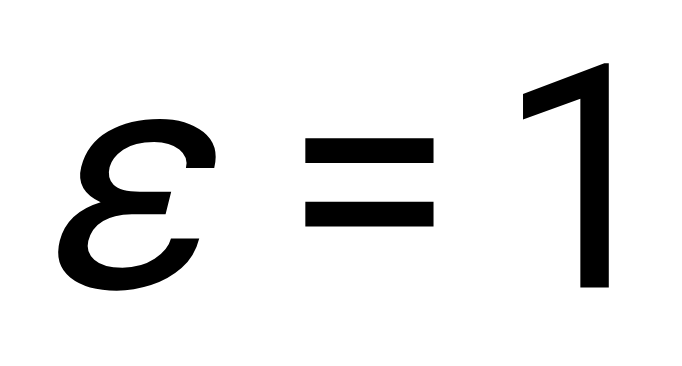
2.3.6. Длина волны в волноводе, фазовая и групповая скорости вычисляются для прямоугольного и круглого волноводов по одинаковым формулам, но при соответствующих

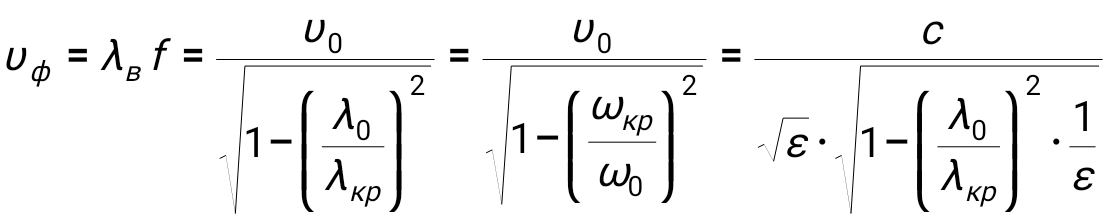
кр :

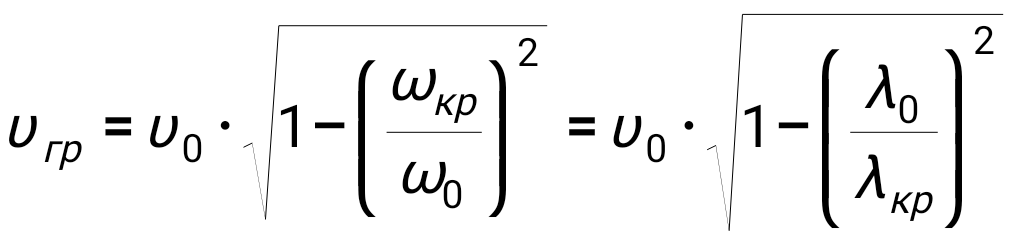
,

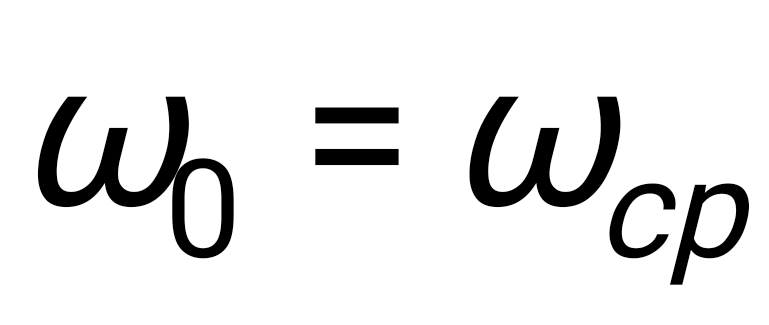
где ;

– в соответствии с заданием ;

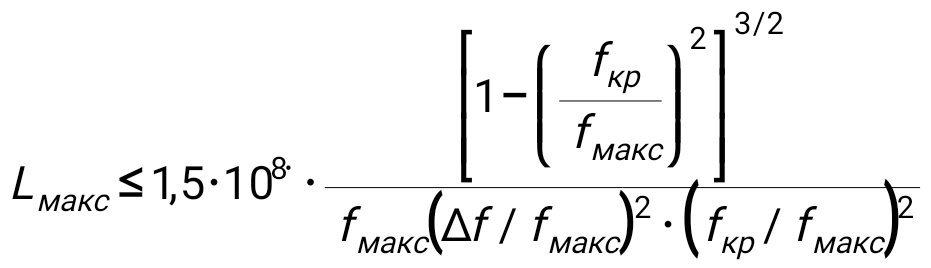
 - в волноводе, заполненном воздухом;

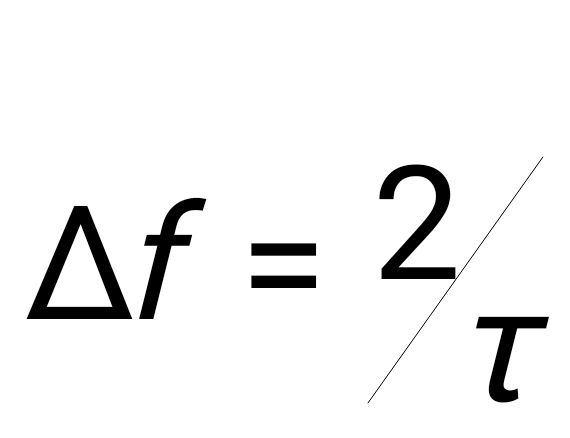
;

,

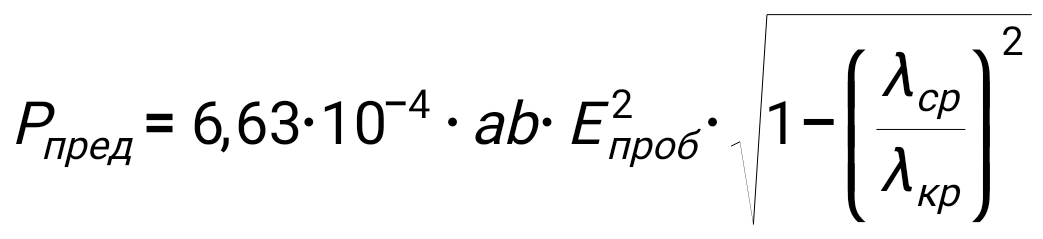
где .

2.3.7. Максимально допустимая длина волновода, при которой искажения еще невелики

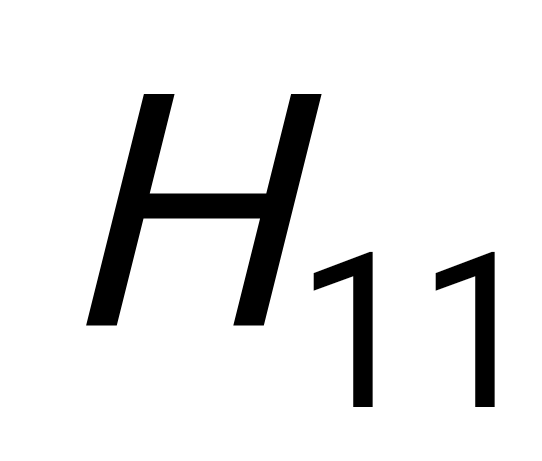
 ,

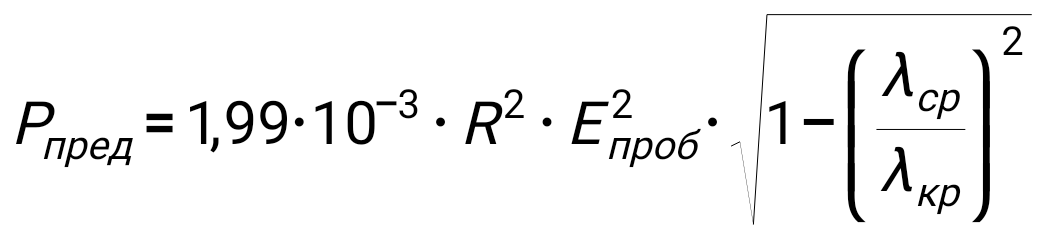
где - разность двух крайних частот спектра.

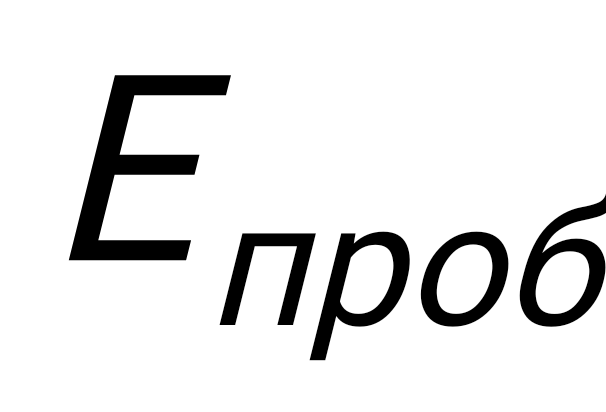
2.3.8. Предельная мощность в прямоугольном волноводе на средней частоте и волне типа Н10 и Н20

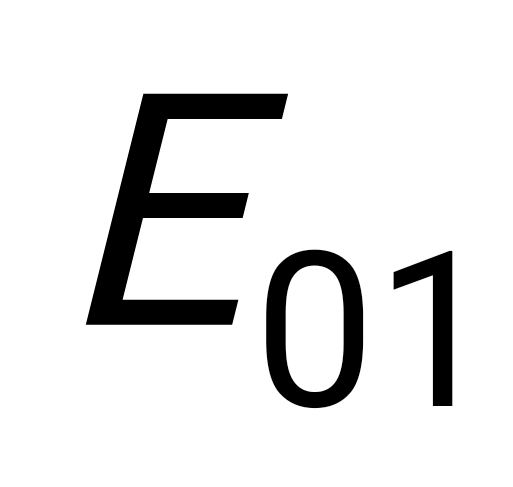
.

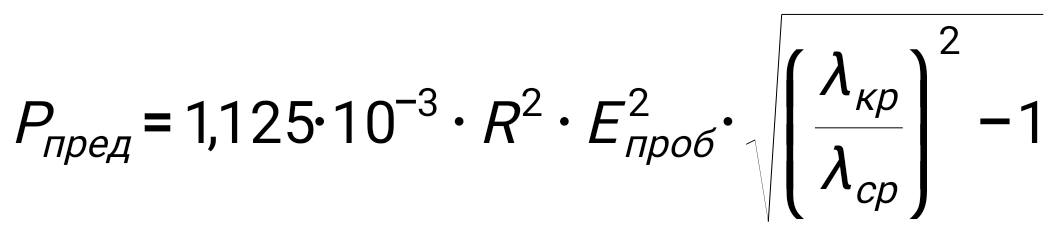
Предельная мощность в круглом волноводе:

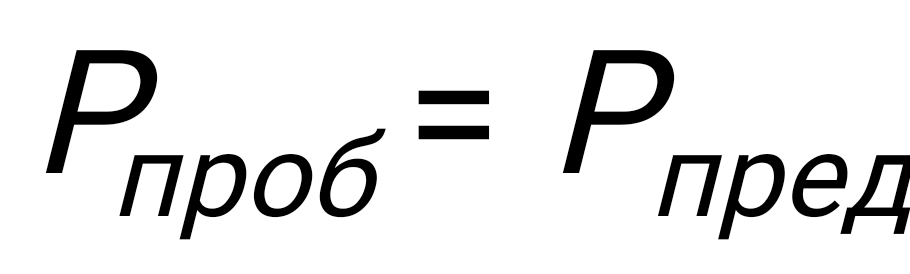
1) с волной типа 

,

где  в В/м;

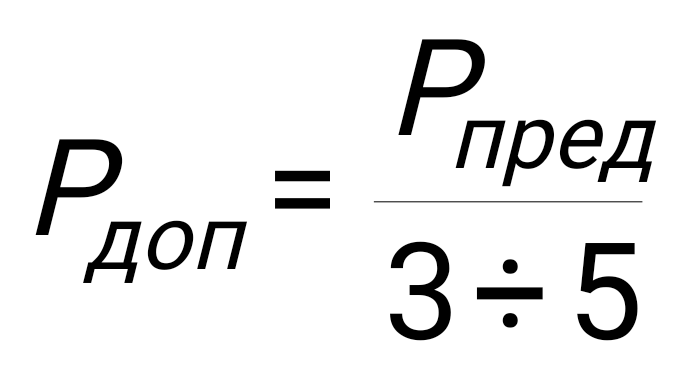
2) с волной 

.

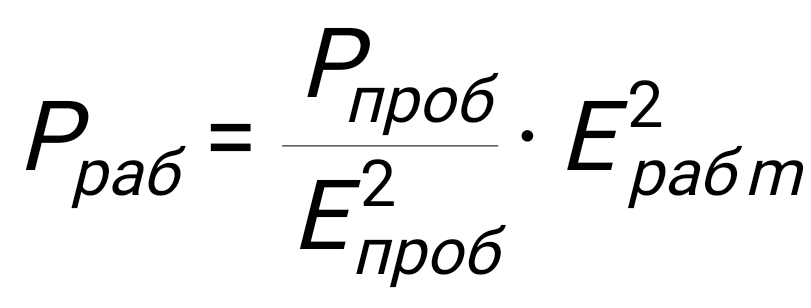
Пробивная мощность  / КСВ ,

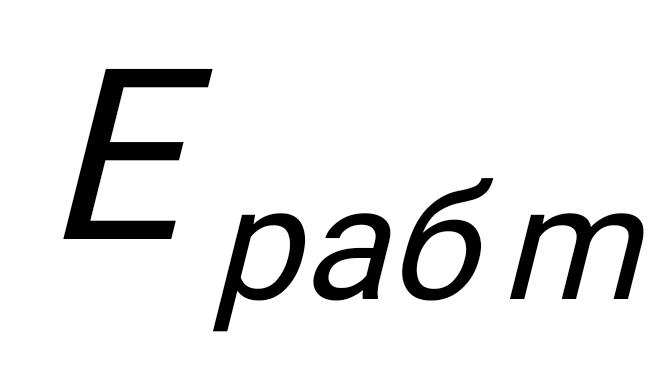
где КСВ – коэффициент стоячей волны.

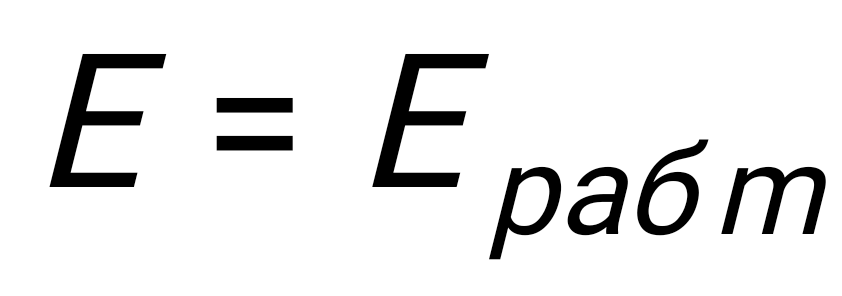
Максимально допустимая мощность

.

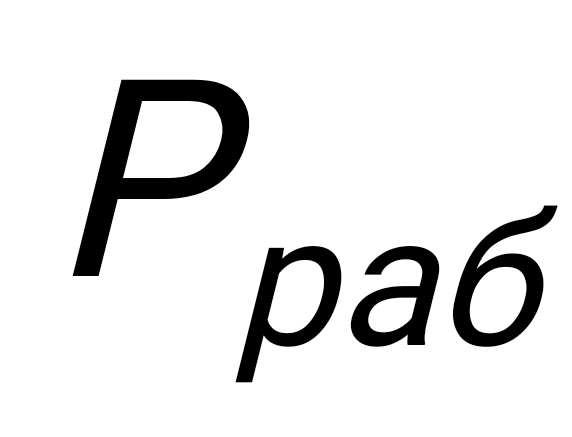
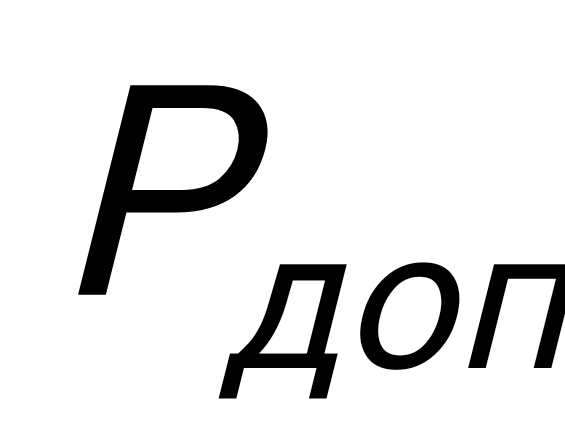
Рабочая мощность (мощность, проходящая по волноводу)

,

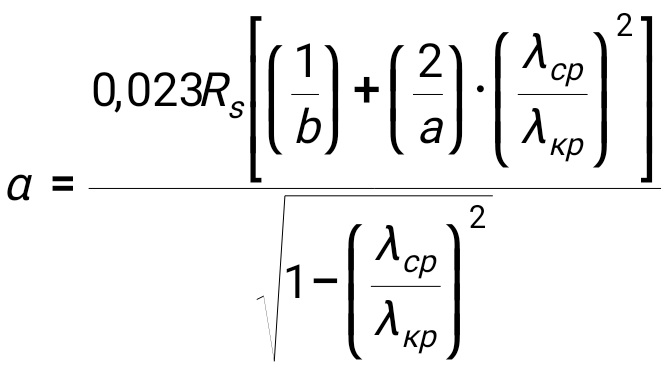
где – амплитуда максимального значения электрического поля.

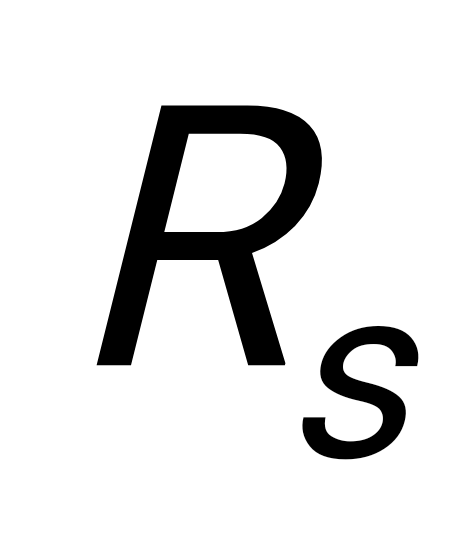
В задании именно это максимальное значение поля  и задано.

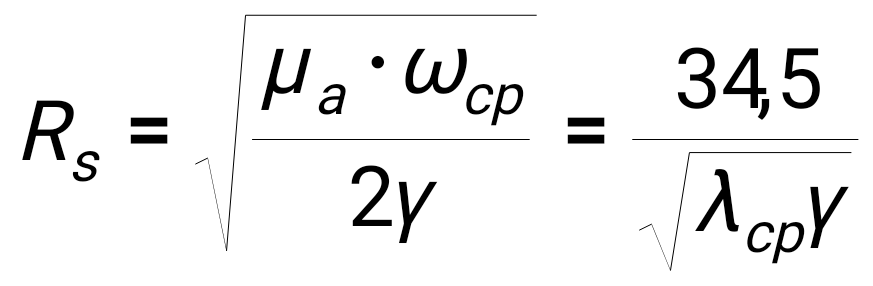
Должно выполняться условие

 << .

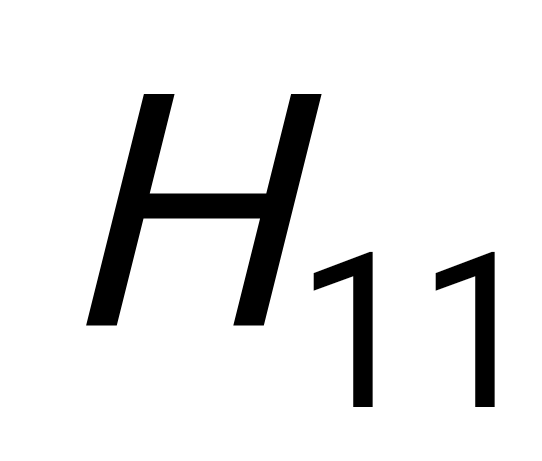
2.3.9 Коэффициент затухания волн типа Н10 и Н20 в прямоугольном волноводе при воздушном заполнении равен

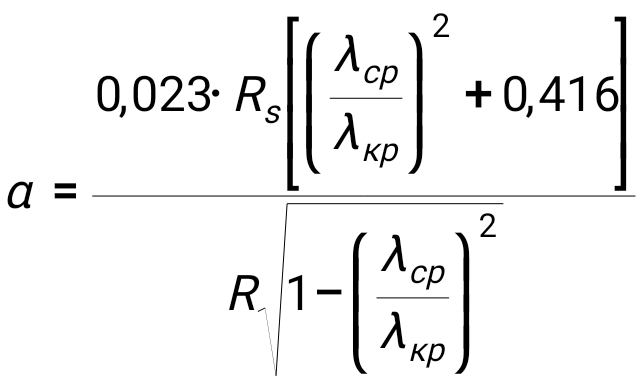
 , дБ/м ,

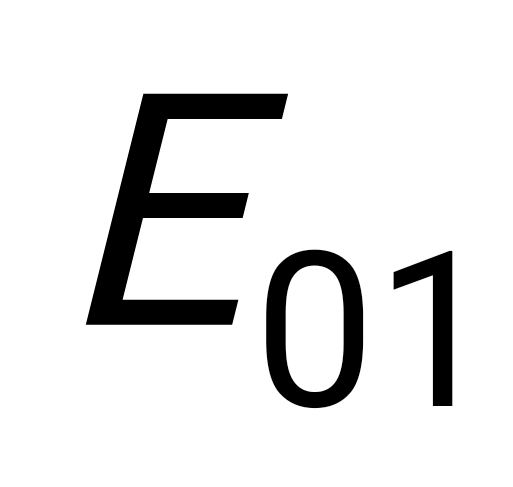
где – удельное поверхностное сопротивление

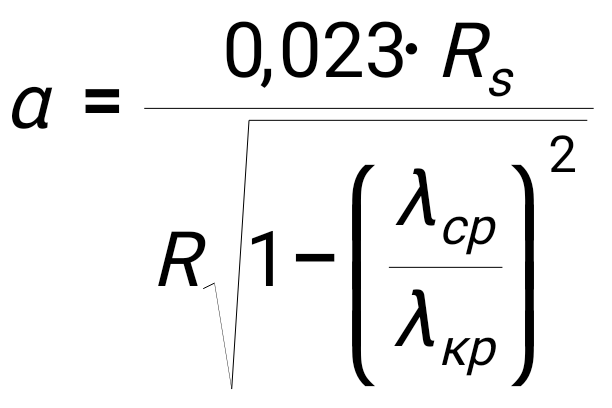
 ,

где γ - удельная объемная проводимость стенок ( такая же, как в задаче 1).

Коэффициенты затухания в круглом волноводе равны у волн 

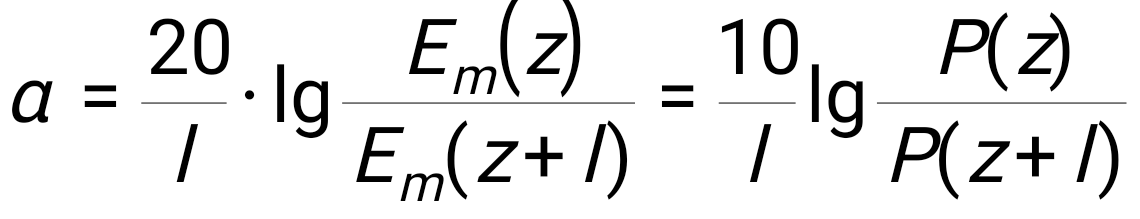
 , дБ/м ,

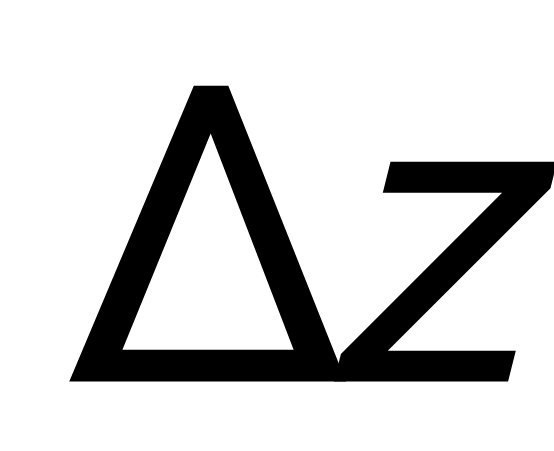
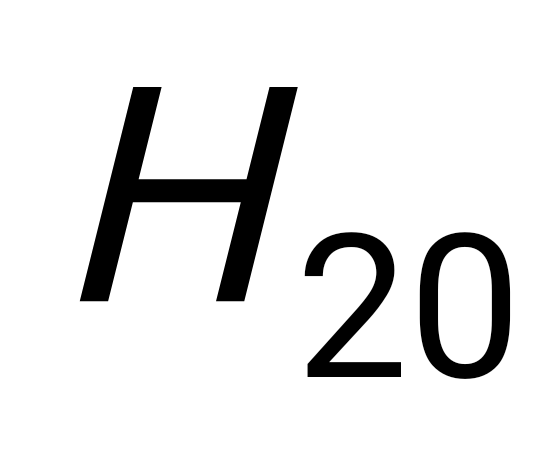
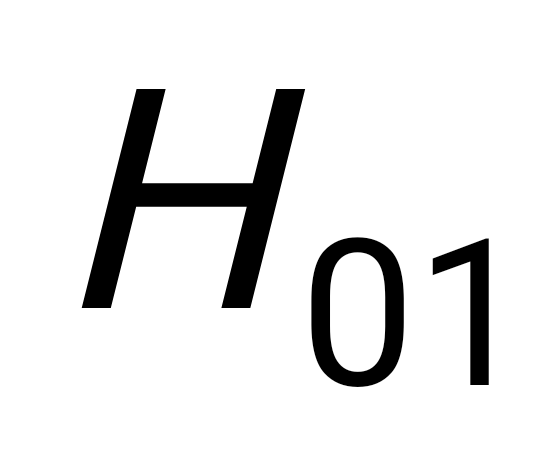
и у волн 

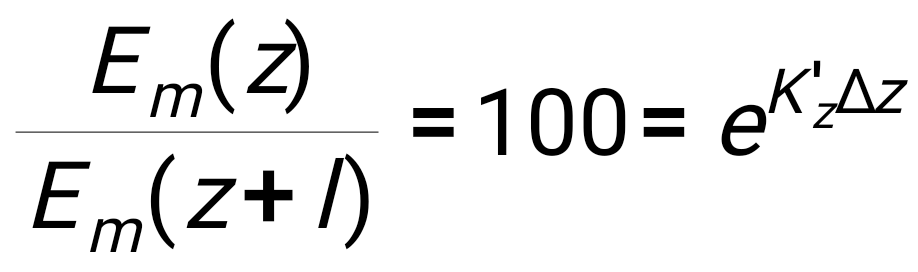
 , дБ/м ,

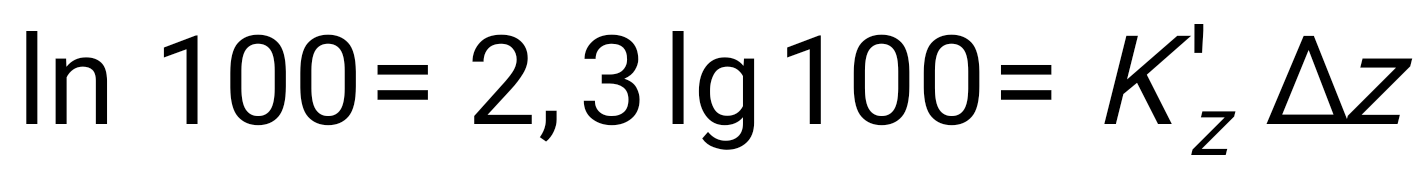
где R – внутренний радиус волновода.

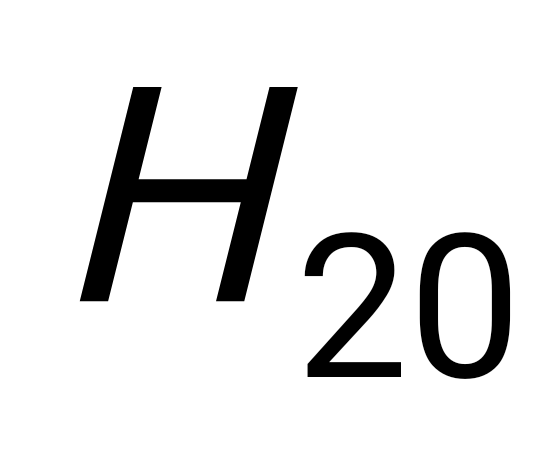
2.3.10 Отношение амплитуд поля и отношение мощностей можно найти из следующей формулы

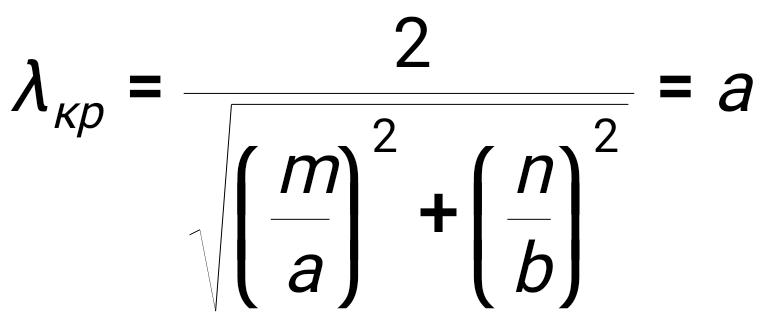
 , дБ/м.

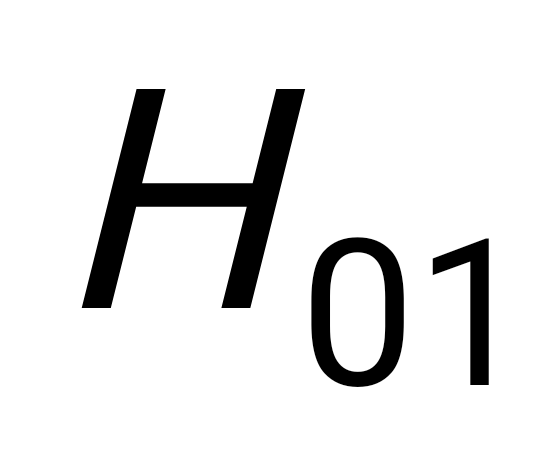
2.3.11 Расстояние , на котором поле волны (или ), находящейся в закритическом режиме, уменьшается в 100 раз на средней частоте диапазона, находится так :

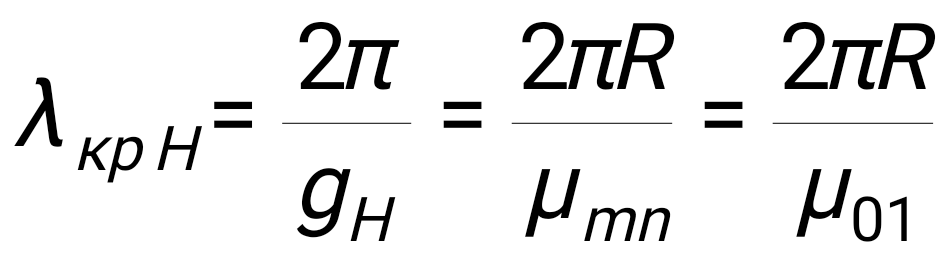
 ;

.

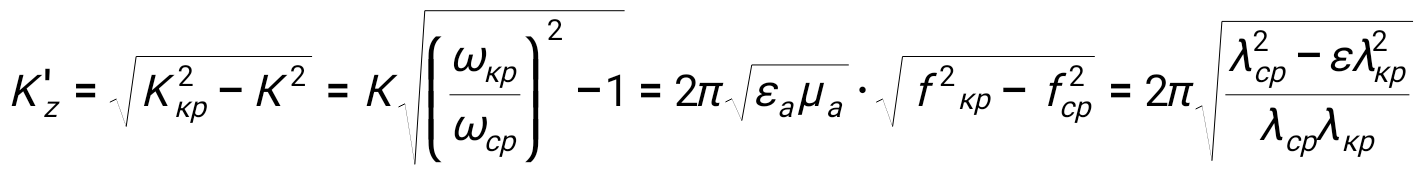
Критическая длина волны типа  при выбранных размерах прямоугольного волновода

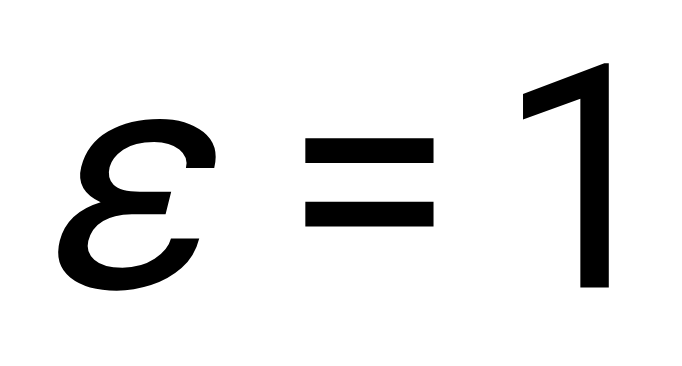
.

Критическая длина волны типа  в круглом волноводе

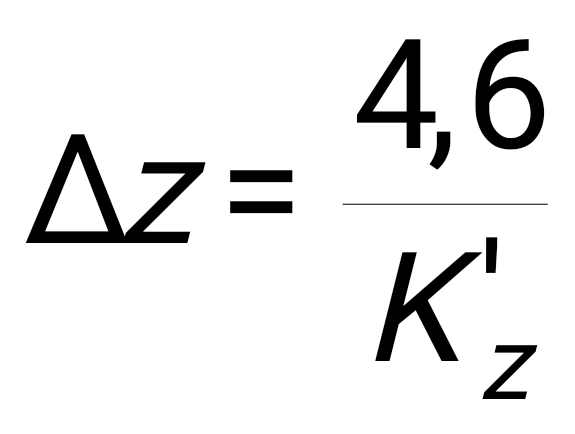
 .

Коэффициент закритического затухания

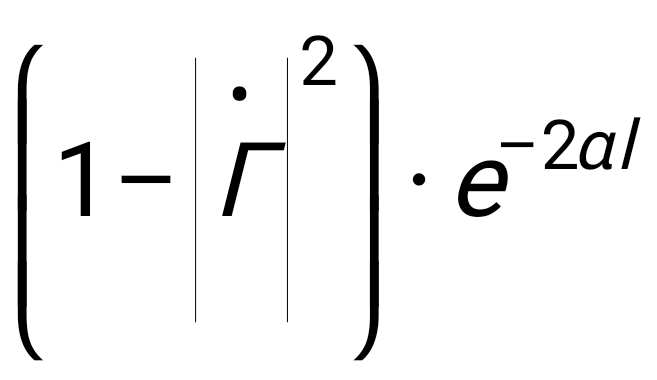
,

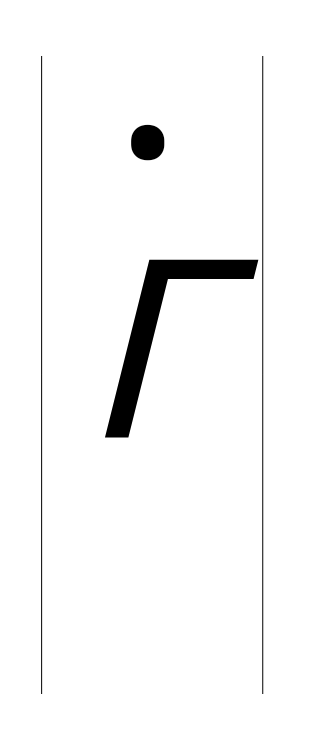
где  - для воздуха.

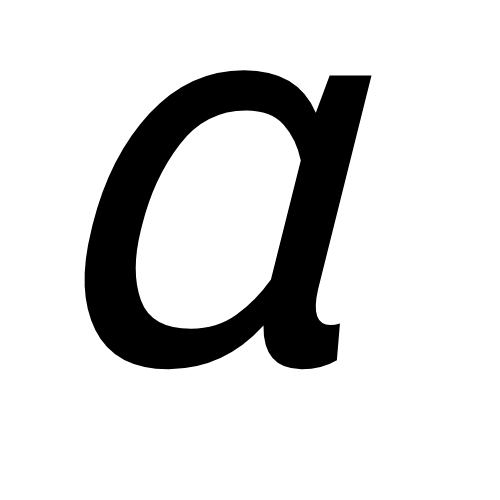
Откуда расстояние, на котором поле уменьшится в 100 раз, равно

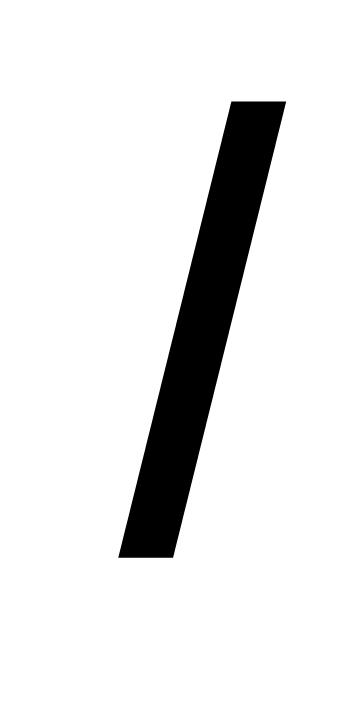
 .

2.3.12. Коэффициент полезного действия несогласованной с нагрузкой линии передачи

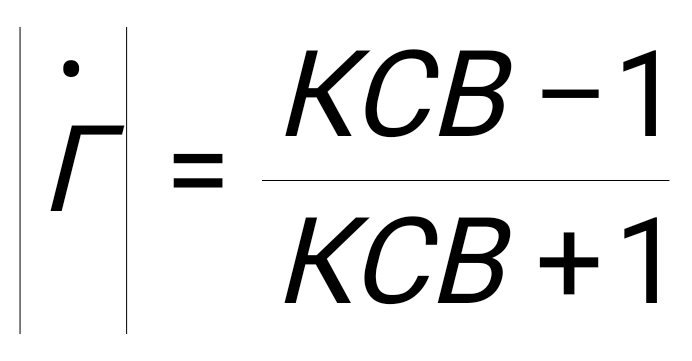
КПД = ,

где  - модуль коэффициента отражения;

 - коэффициент затухания в Неп/м;

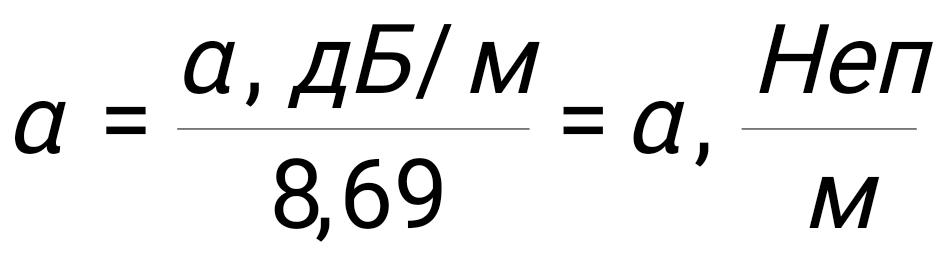
 - длина линии.

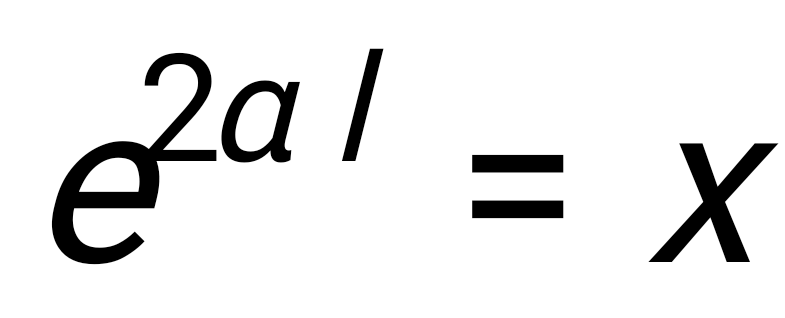
Модуль коэффициента отражения

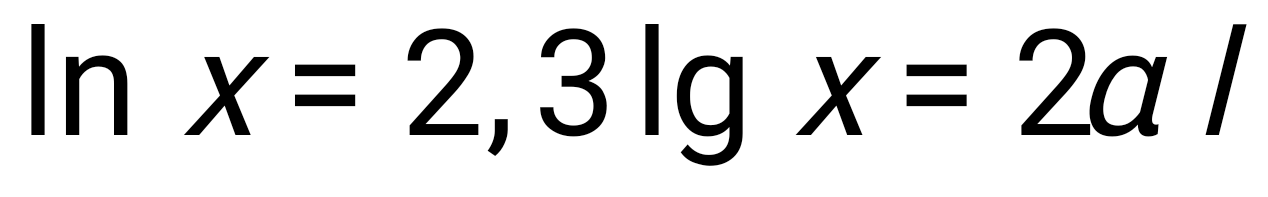
 ,

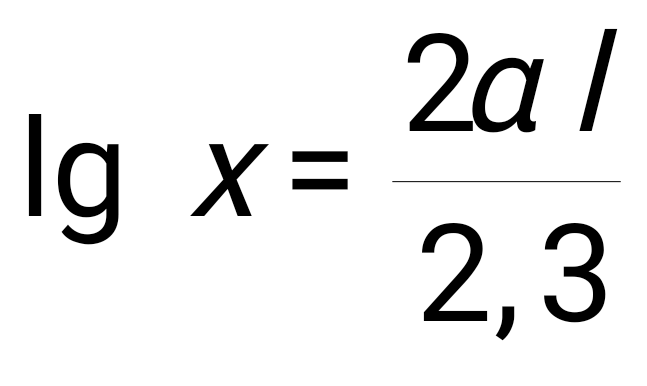
где КСВ  = 1 /КБВ.

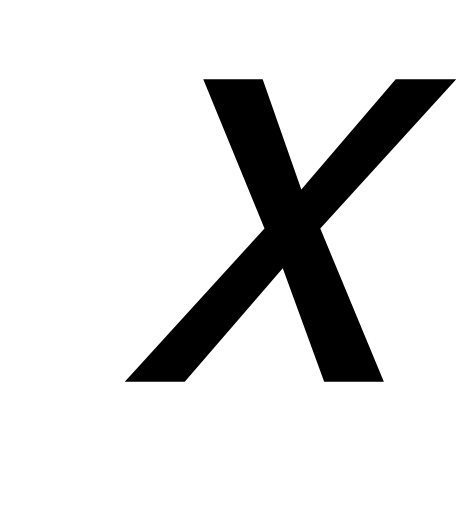
Коэффициент затухания

.

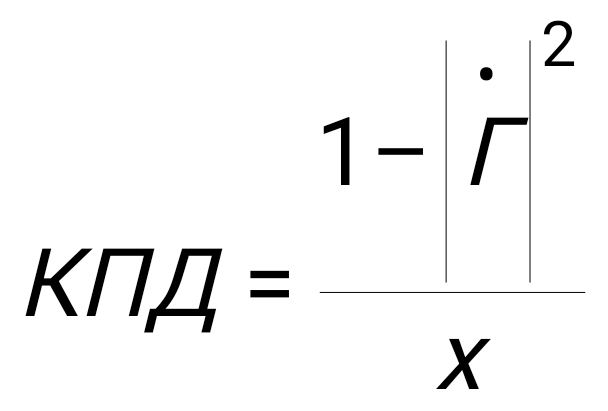
При расчете КПД величина  вычисляется как обычно

;

.

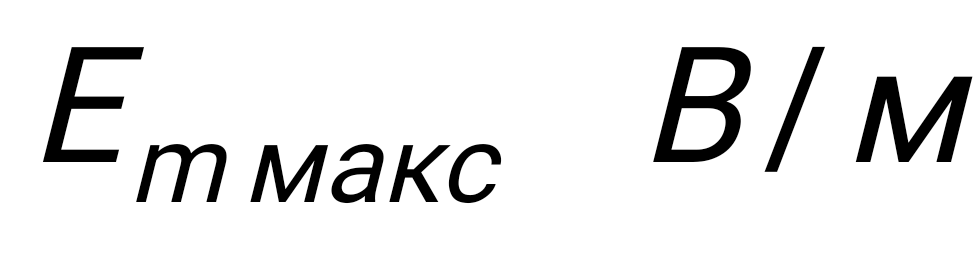
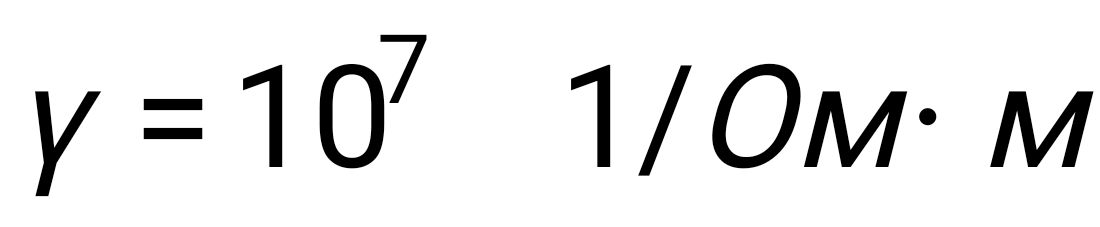
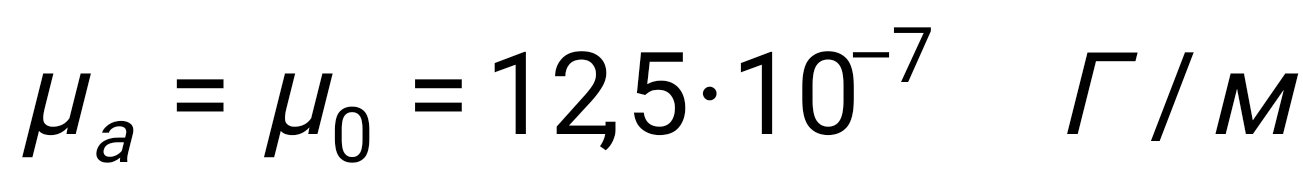
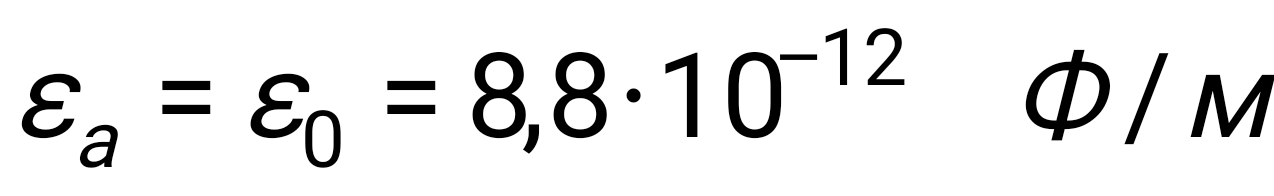
Далее, находим .

Отсюда

.

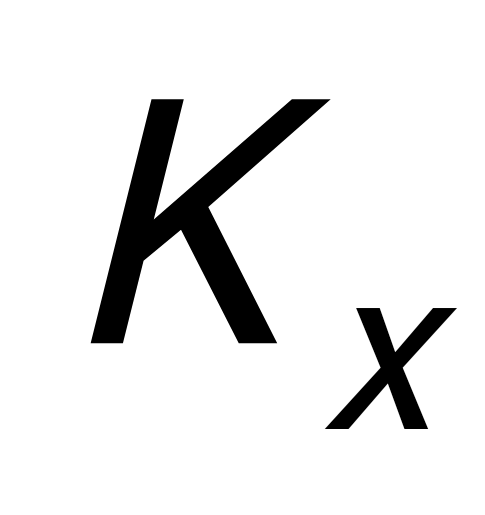
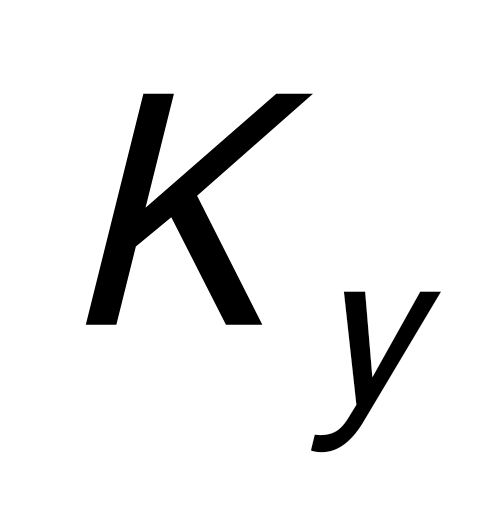
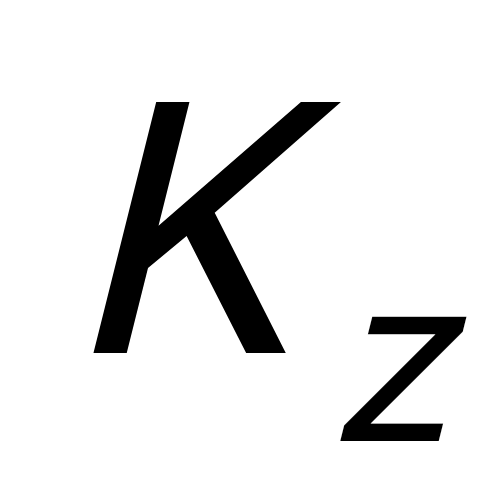
**3.ЗАДАЧА 3. ОБЪЕМНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ**

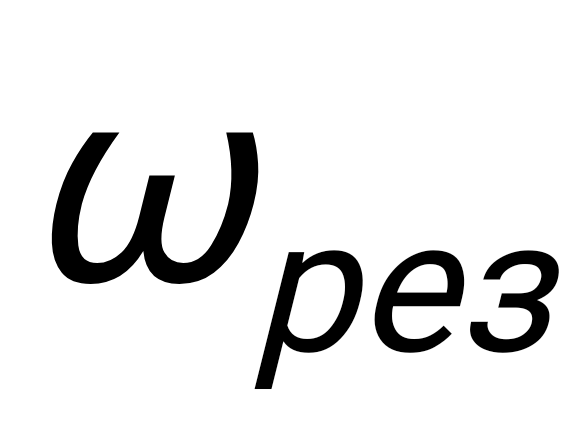
3.1. Задано

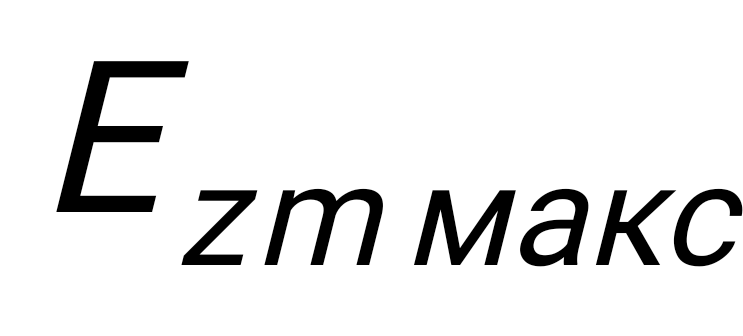
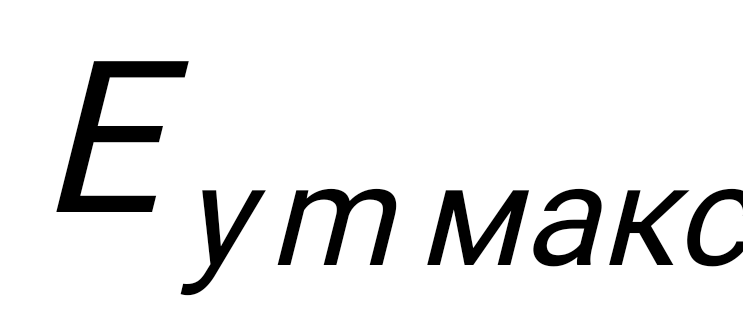
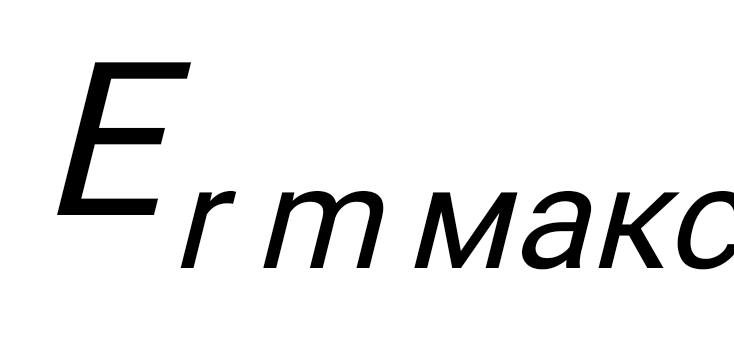
Задана форма резонатора и тип колебания (Нmnp, Emnp или Т (ТЕМ)р=1), его размеры a, b, d – в прямоугольном резонаторе, радиус R и длина d – в цилиндрическом резонаторе;меньший радиус R1 = 50 мм и больший радиус R2= R, длина d – в коаксиальном резонаторе.Дана максимальная амплитуда напряженности электрического поля , проводимость материала стенок равна , заполнение воздушное, , .

3.2. Требуется выполнить следующее :

1. Нарисовать картину поля заданного типа колебания, используя рис.3.

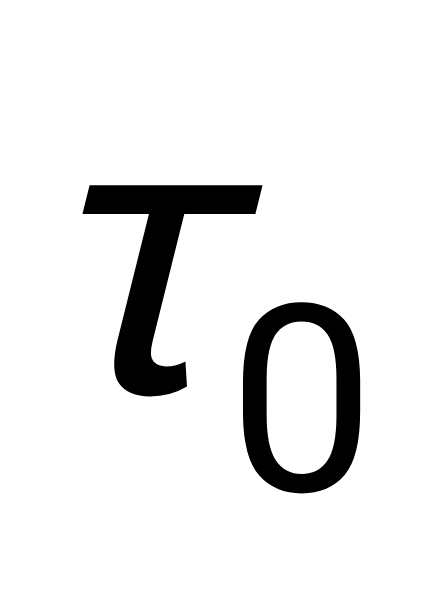
2. Записать выражения для компонент поля соответствующего типа колебаний.В эти выражения надо подставить числовые значения , ,  , которые заданы типом колебаний и размерами а, b, d, R.

3. Найти резонансную частоту  резонатора с заданным типом колебания.

4. Запасенную энергию электромагнитного поля W (счи- тать, что заданное электрическое поле E равно соответственно ,  или  – амплитуде поля в том месте, где поле максимально).

5.Глубину проникновения в материал стенок.

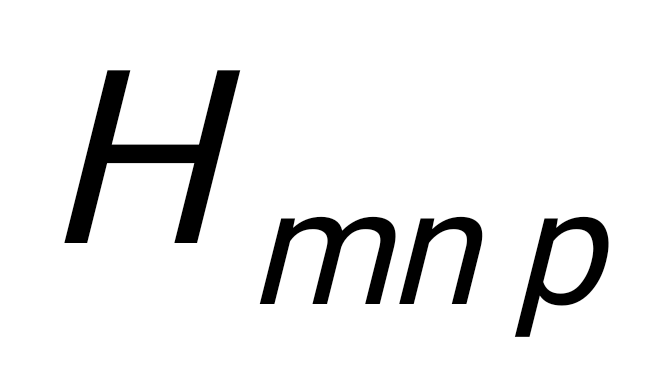
6.Добротность резонатора Q без учета потерь в диэлектрике.

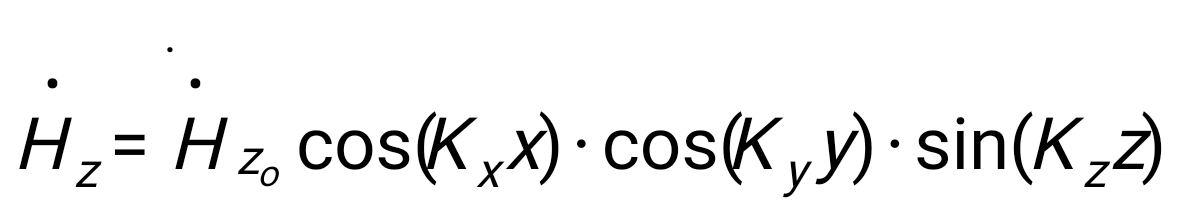
7.Постоянную времени . Определить, во сколько раз уменьшится запасенная в резонаторе энергия при свободных

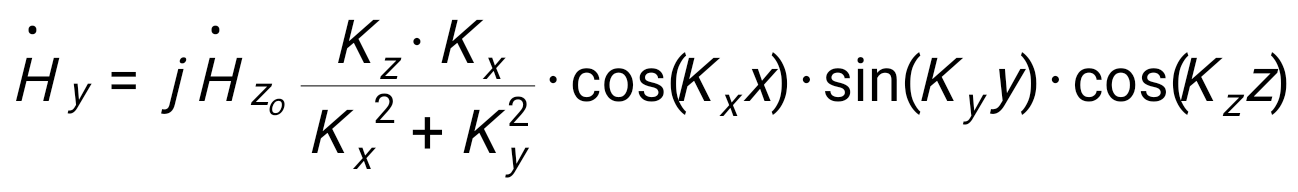
колебаниях за время t=5 с.

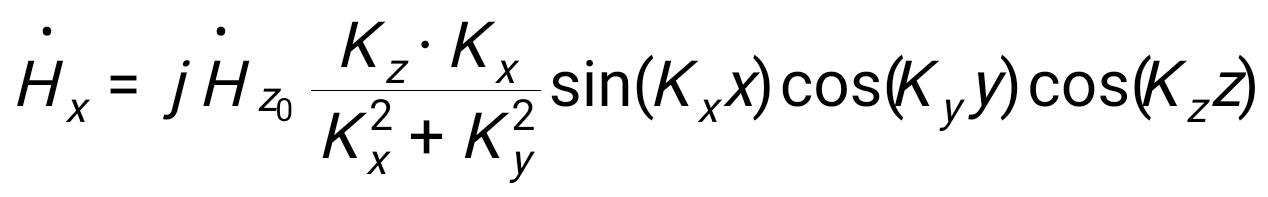
3.3 Методика решения задачи

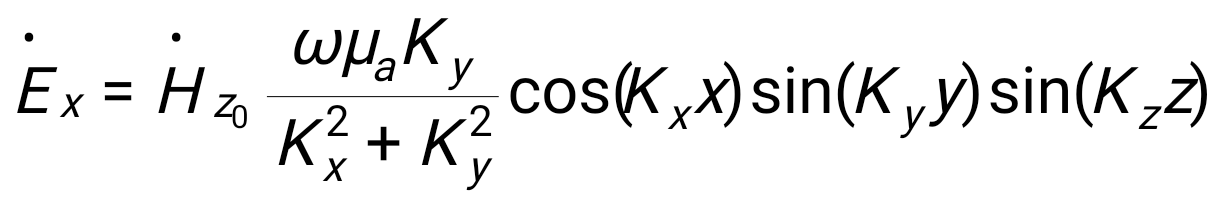
3.3.1. Картины полей различных типов колебаний в резо-наторах различной формы приведены на рис.3.

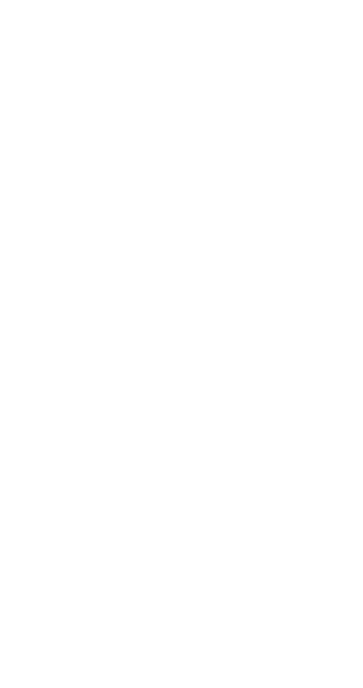
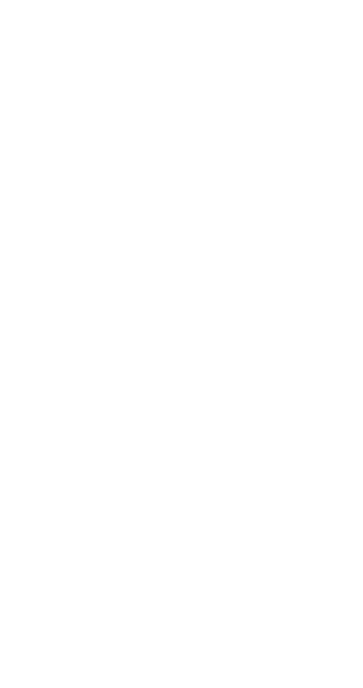
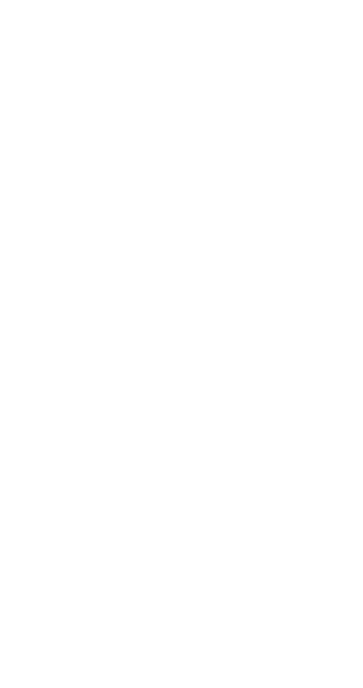
3.3.2. Для прямоугольного резонатора составляющие поля для колебаний :

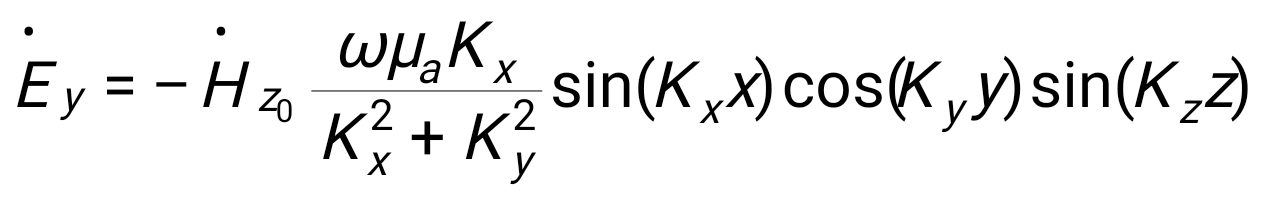
;

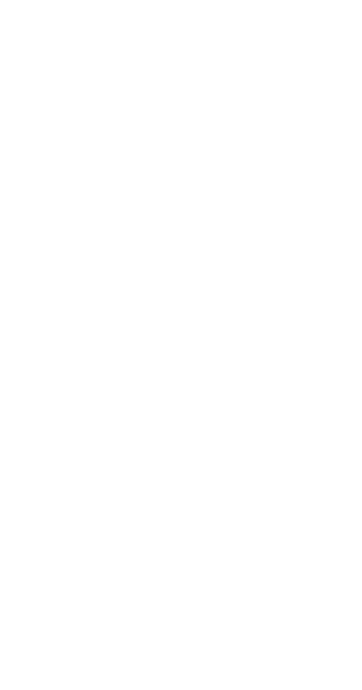
** ;**

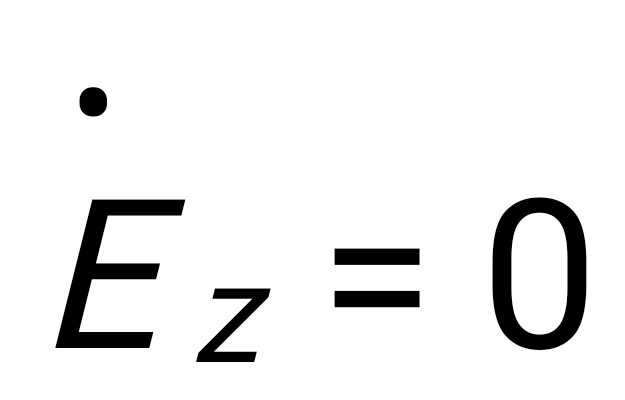
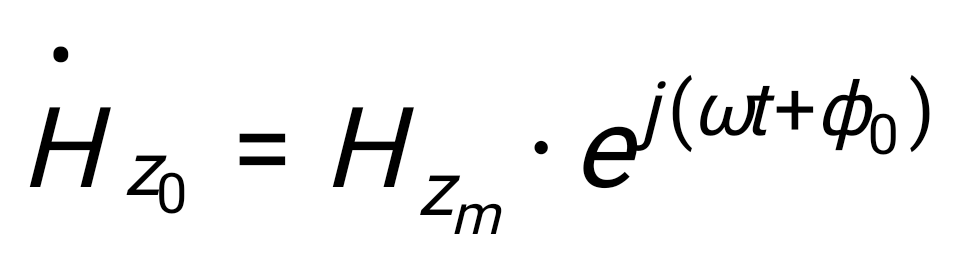
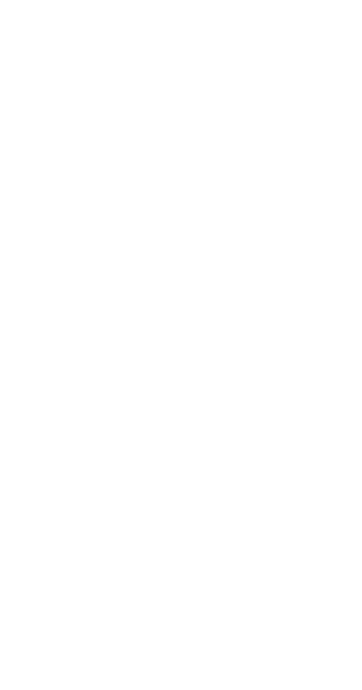
**;**

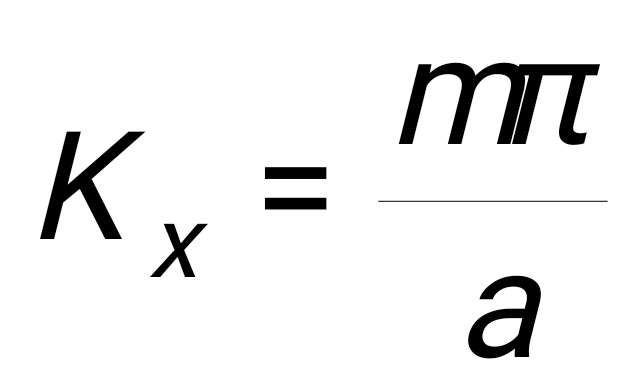
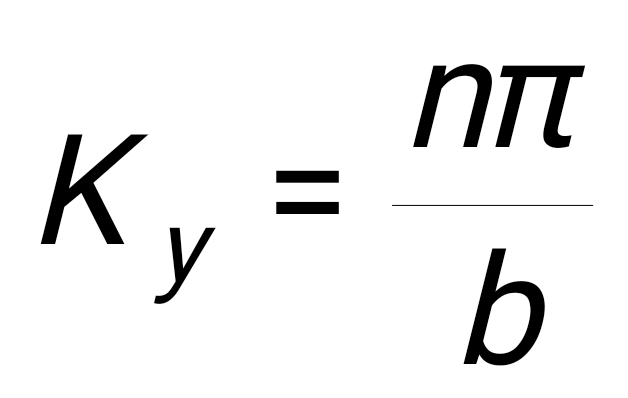
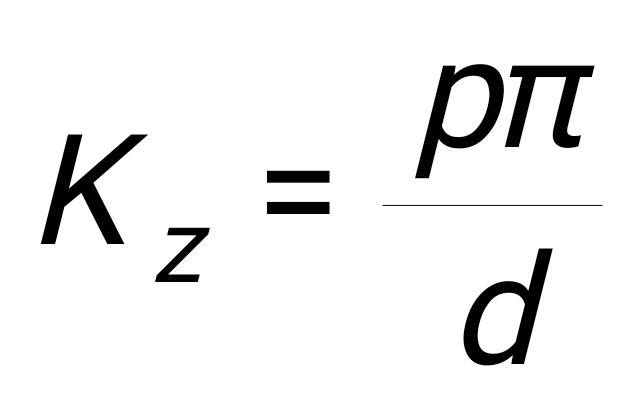
;

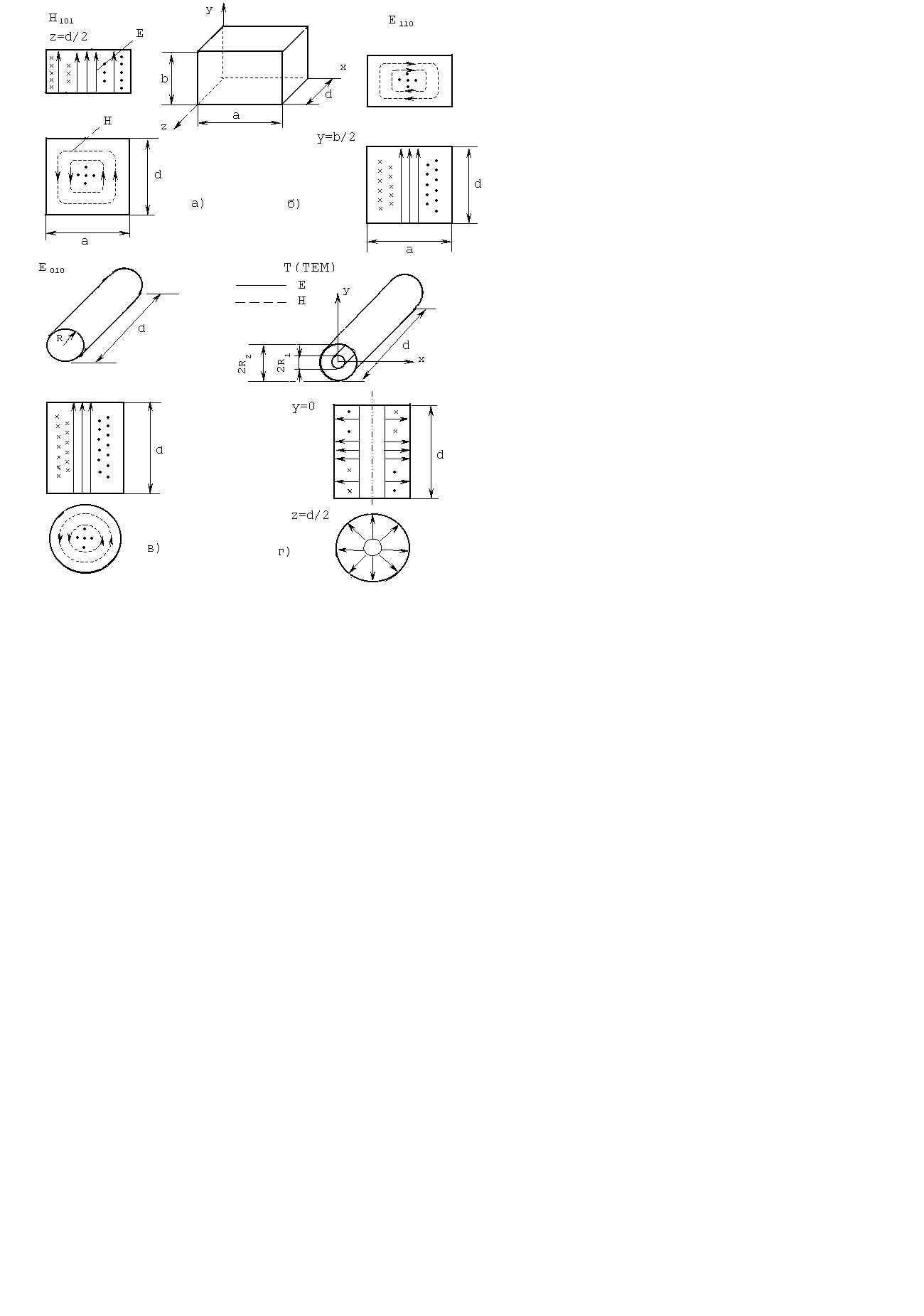
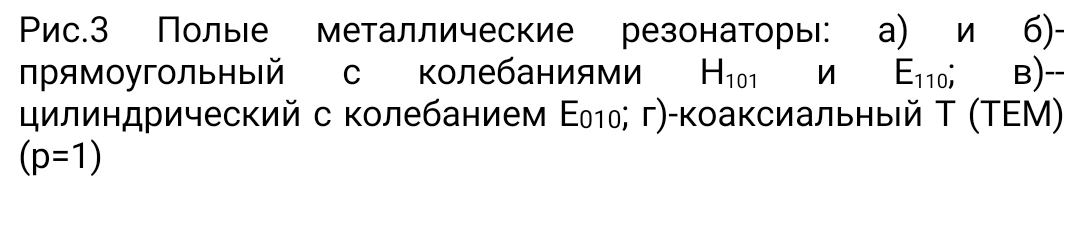
****

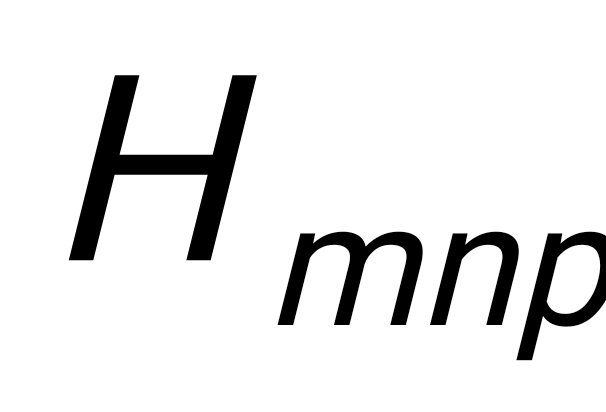
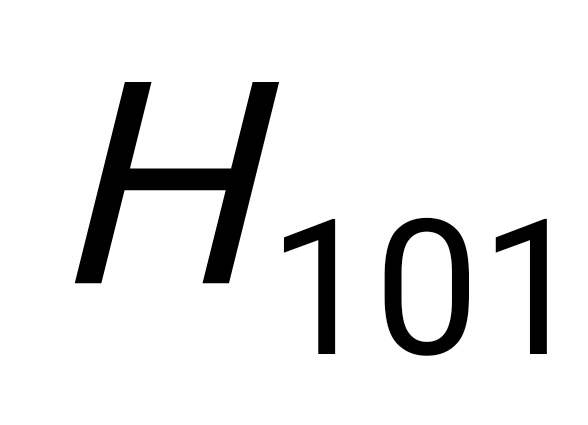
;

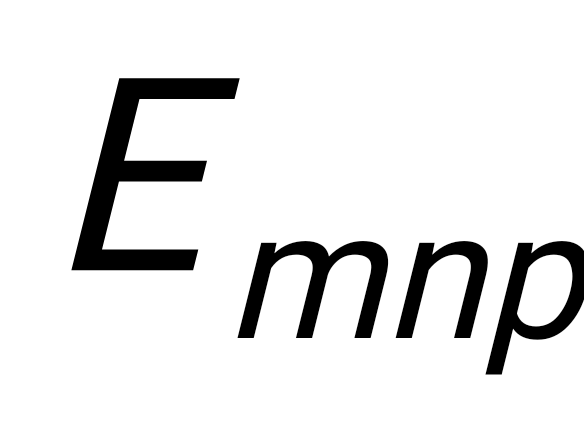


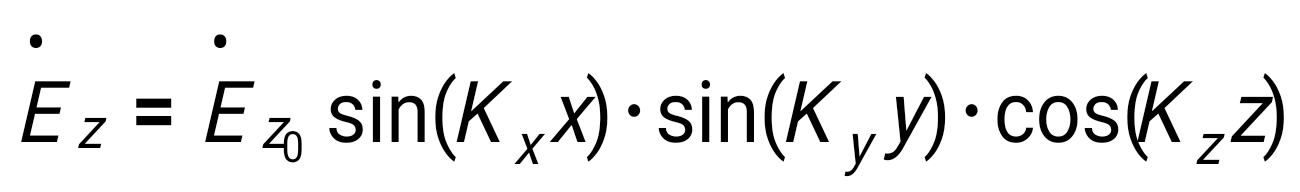
;,

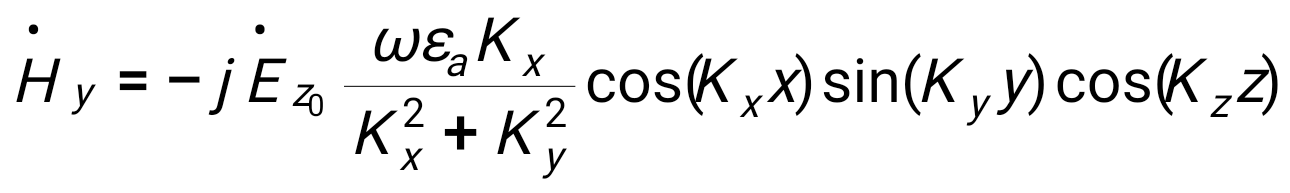
где ; ; .

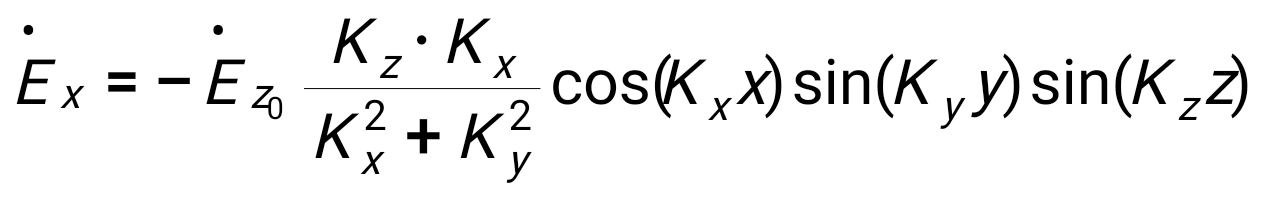
 

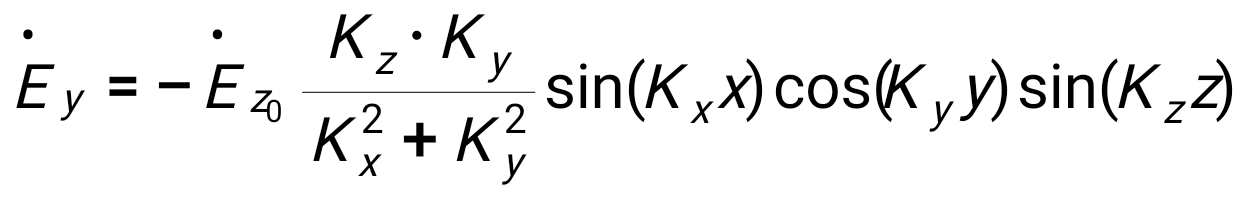
Пример картины поля типа , например, , приведен на рис. 3,a.

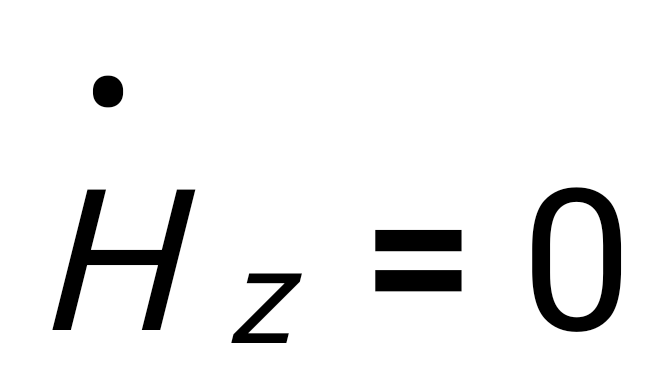
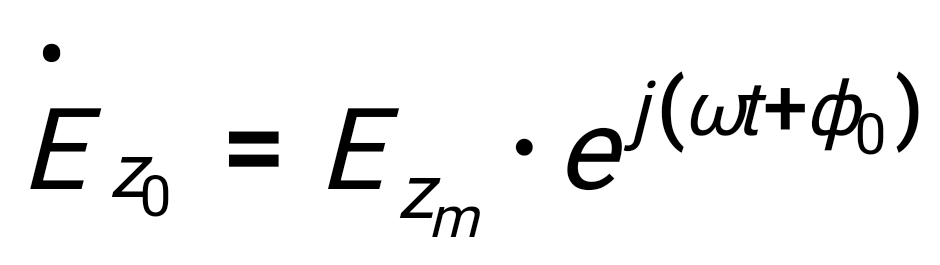
Для прямоугольного резонатора составляющие поля для колебаний типа :

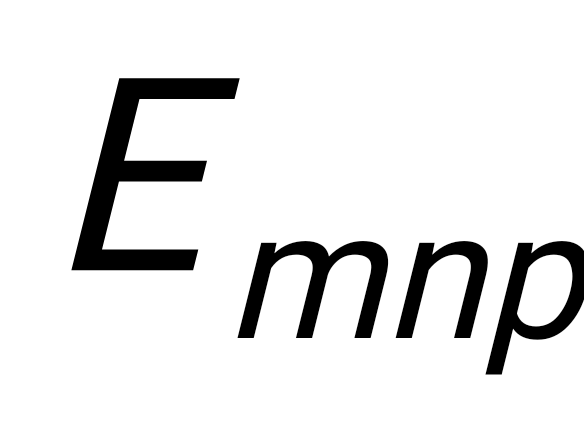
 ;

;

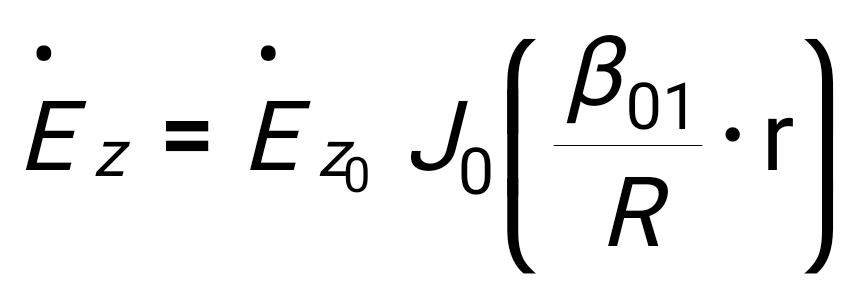
;

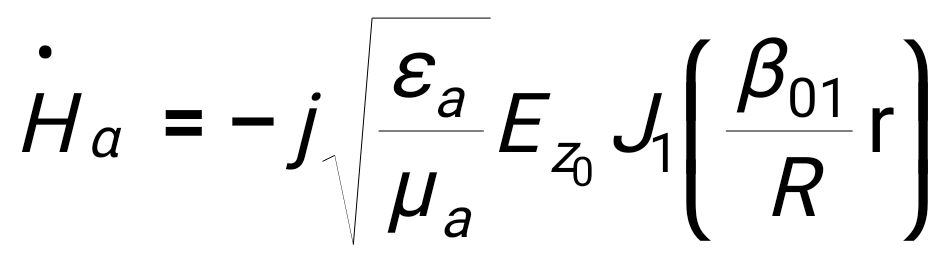
;

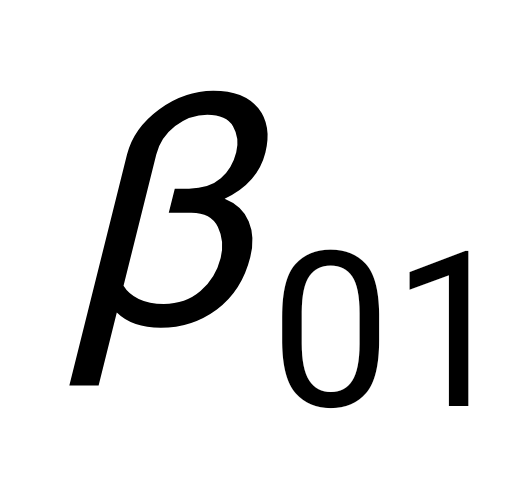
;  .

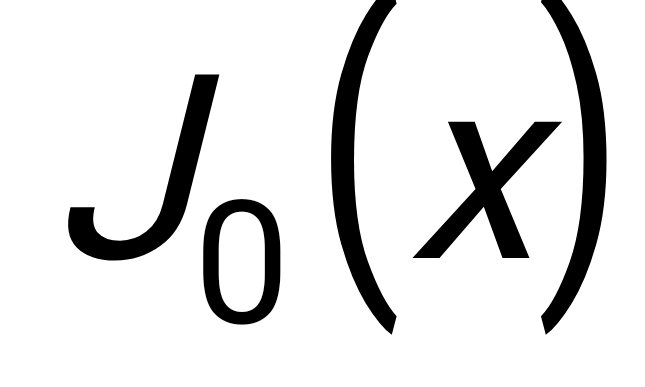
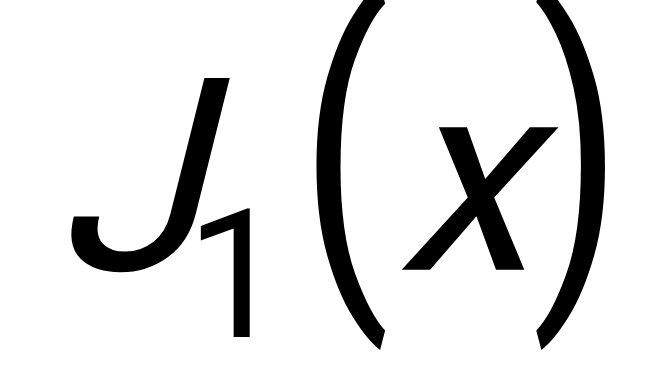
Пример картины колебаний типа , например Е110,приведен на рис.3,б.

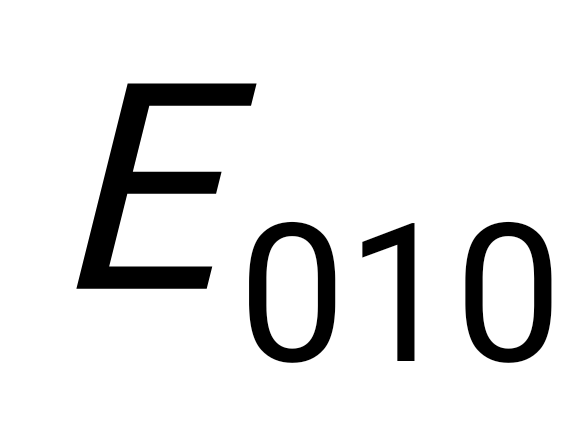
У цилиндрического резонатора составляющее поля колебаний типа Е010 равны:

;

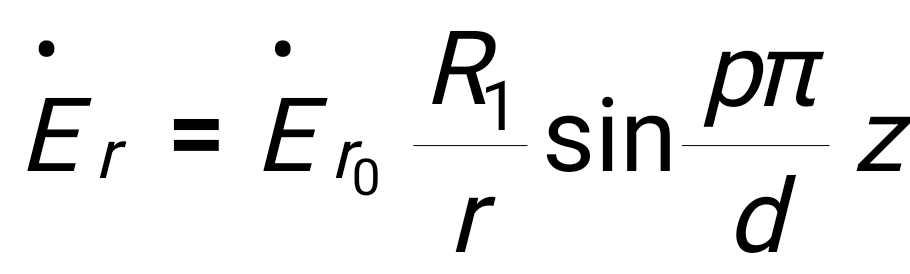
,

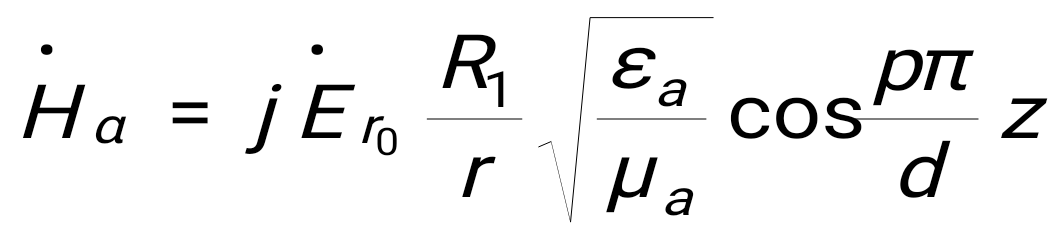
где - находится из табл.4;

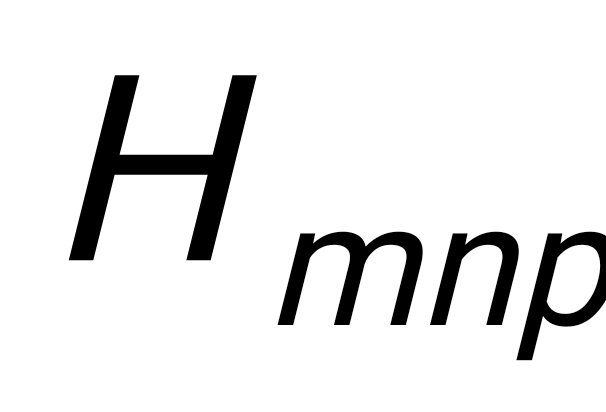
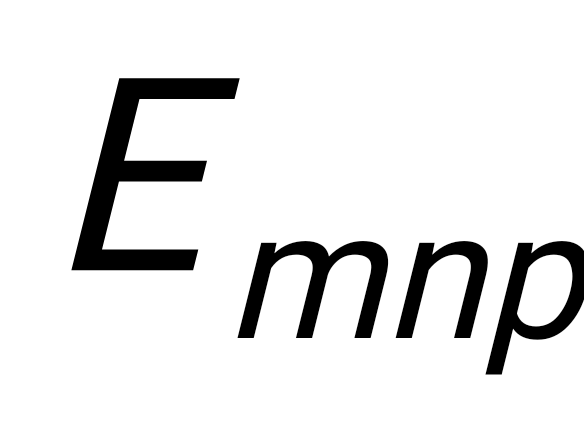
 и - функция Бесселя 1-го рода нулевого и первого порядка соответственно.

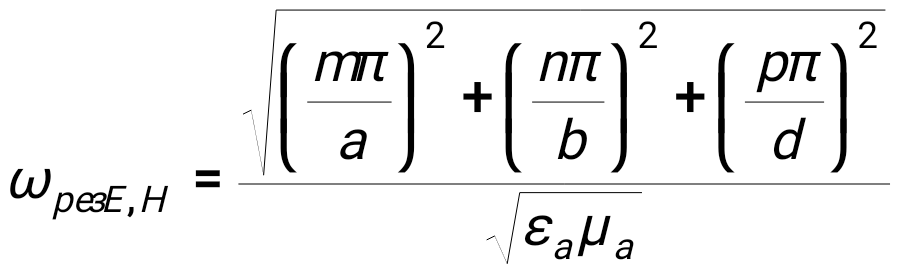
Картина поля колебания  приведена на рис.3,в.

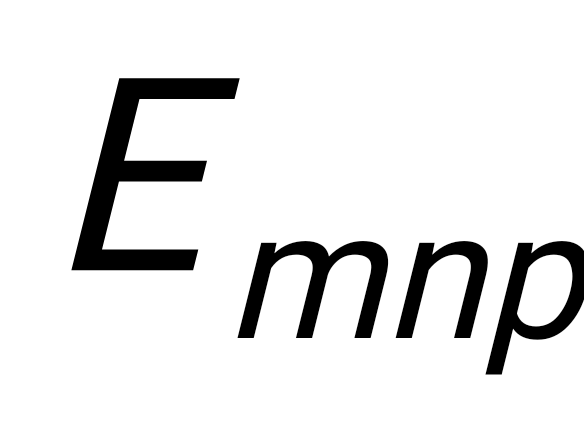
Для коаксиального резонатора с волной Т (ТЕМ), картина поля которой для p=1 приведена на рис.3,г :

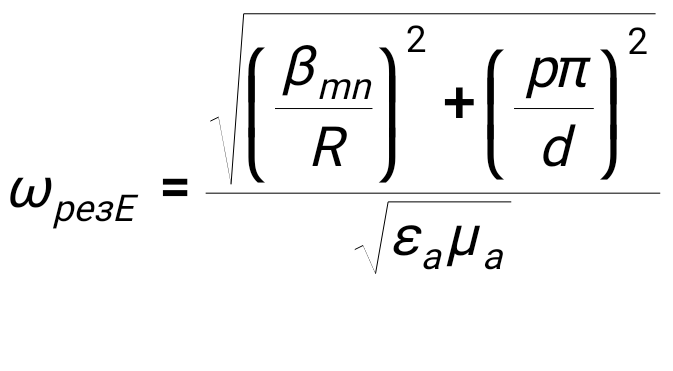
;

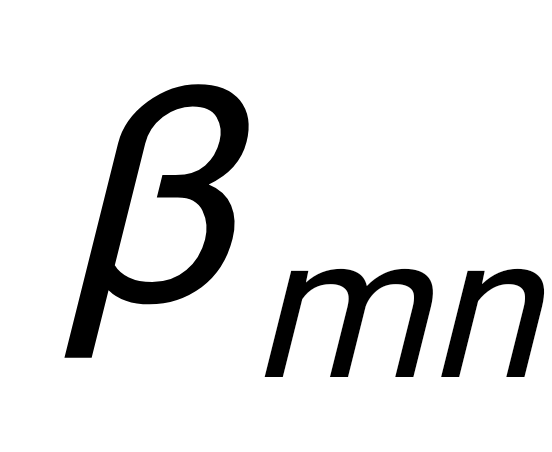
.

3.3.3. Резонансные частоты в прямоугольном резонаторе с колебаниями типа  и 

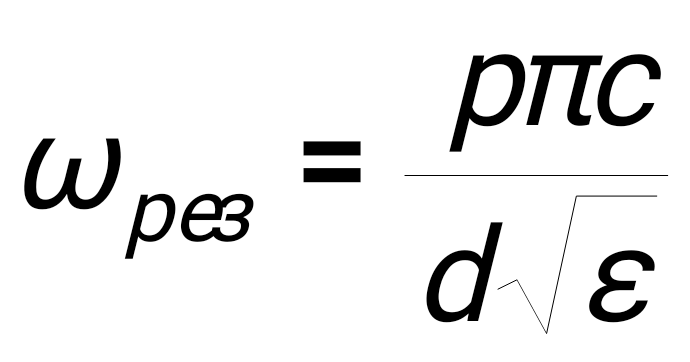
.

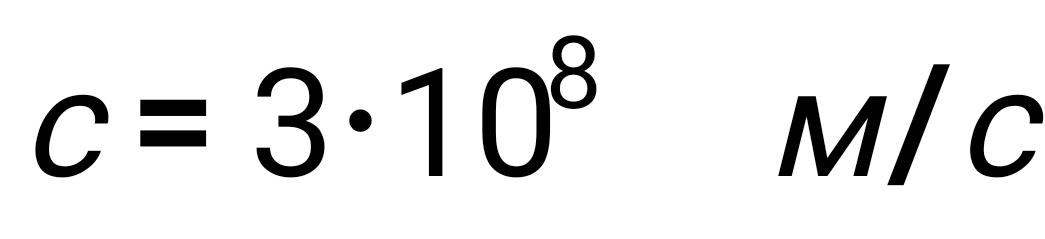
Резонансные частоты цилиндрических круглых резонаторов с колебаниями типа 

,

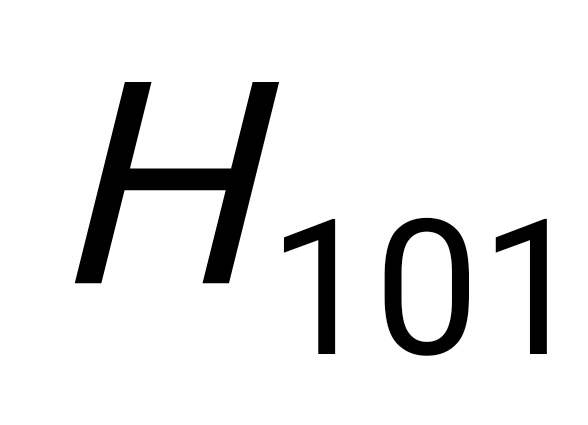
где - корень функции Бесселя первого рода m – го порядка.

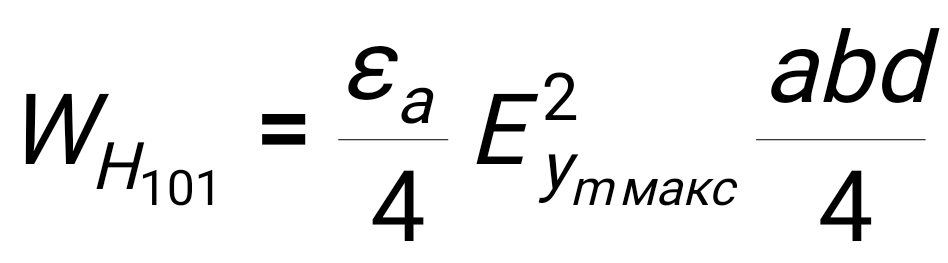
Резонансная частота коаксиального резонатора с колебанием типа Т (ТЕМ).

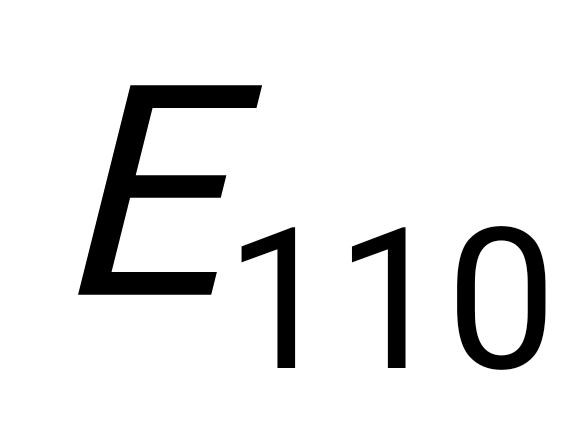
 ,

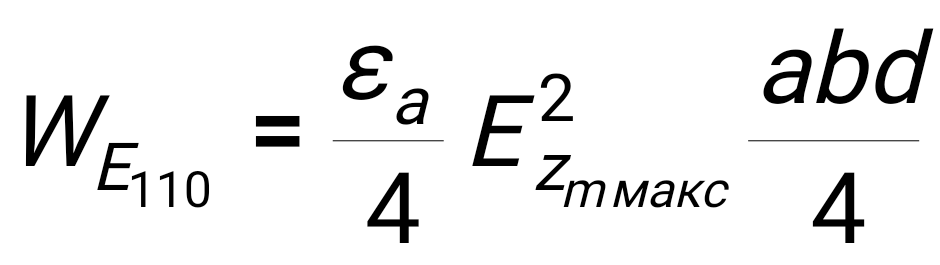
где .

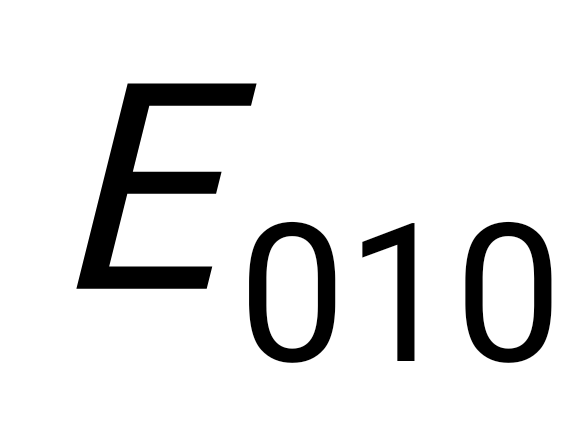
3.3.4.Запасенная электромагнитная энергия

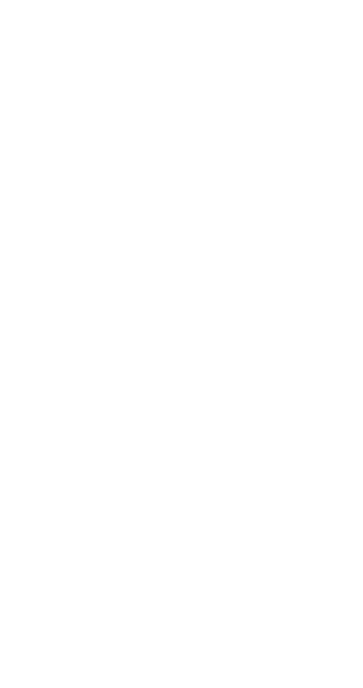
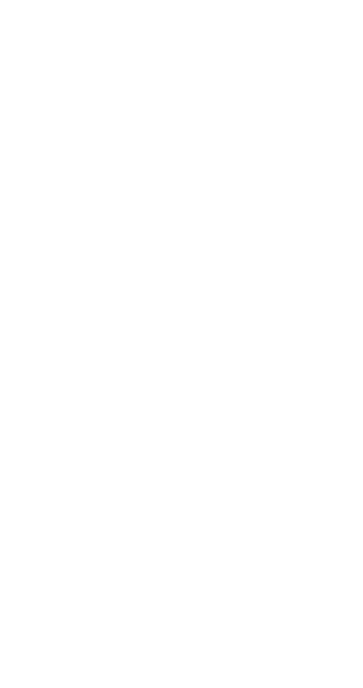
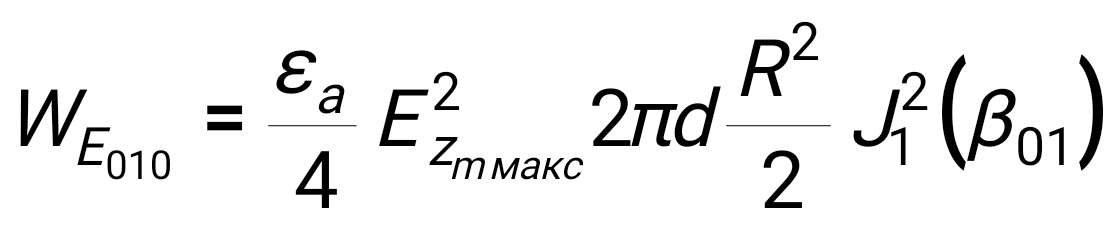
1) в прямоугольном резонаторе с типом колебания 

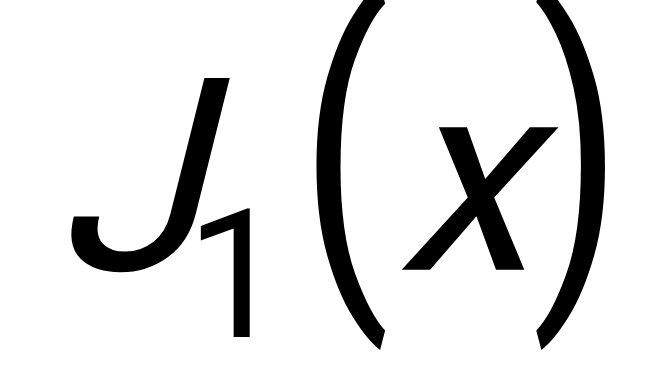
;

2) в прямоугольном резонаторе с типом колебания 

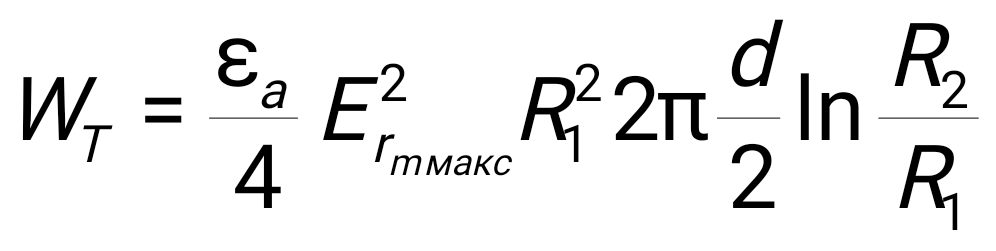
 ;

3) в цилиндрическом резонаторе с колебанием типа 

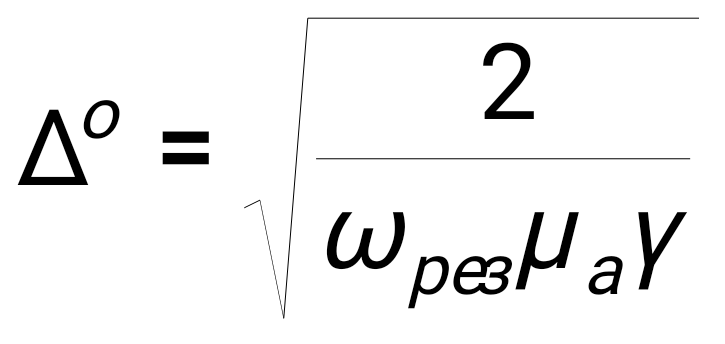
 ,

где - находится из табл. 1 приложения;

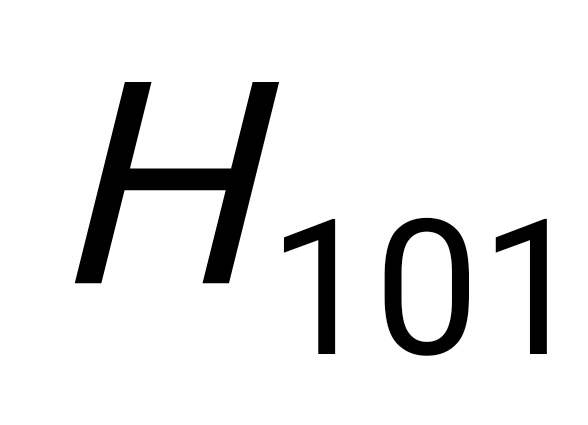
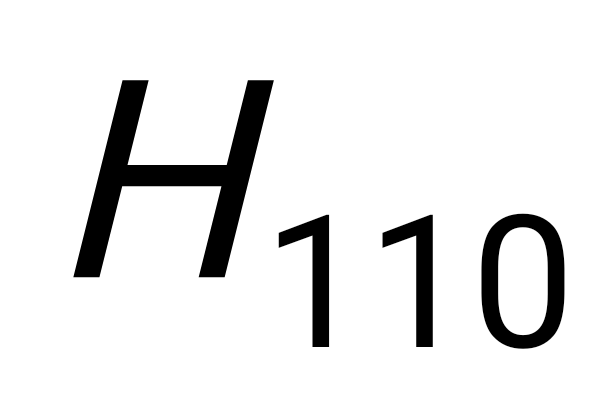
4) в коаксиальном резонаторе с колебанием типа Т (ТЕМ) при р=1

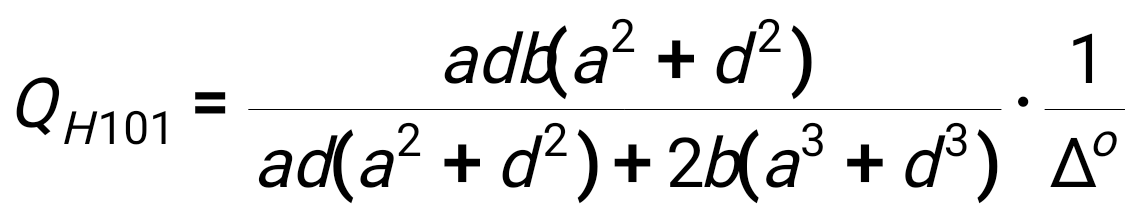
.

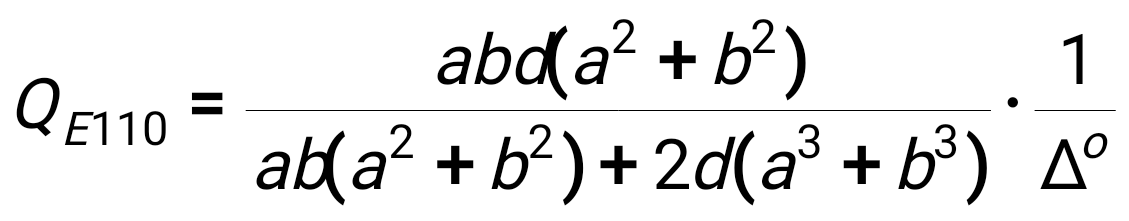
3.3.5. Глубина проникновения в материал стенок :

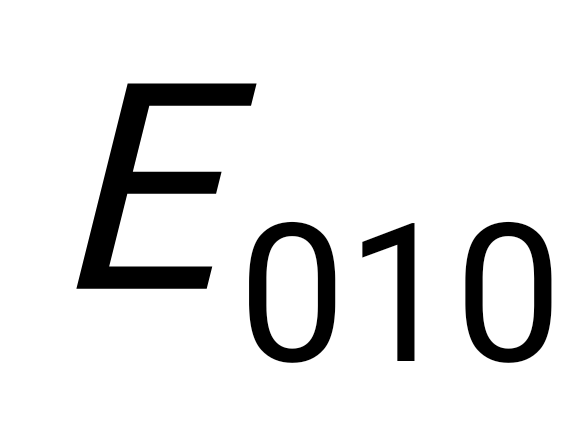
.

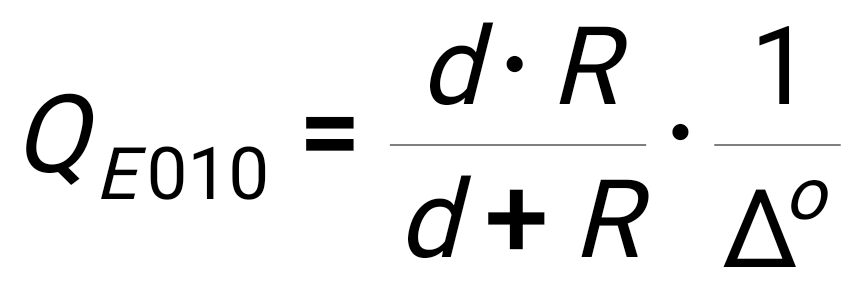
3.3.6. Добротность при различных типах колебаний:

1) в прямоугольном резонаторе с колебаниями  и 

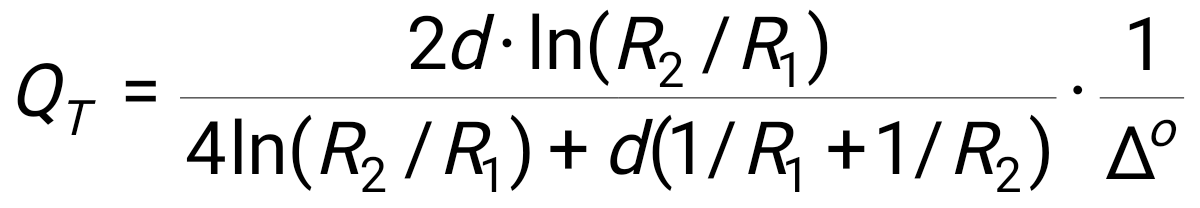
,

 ;

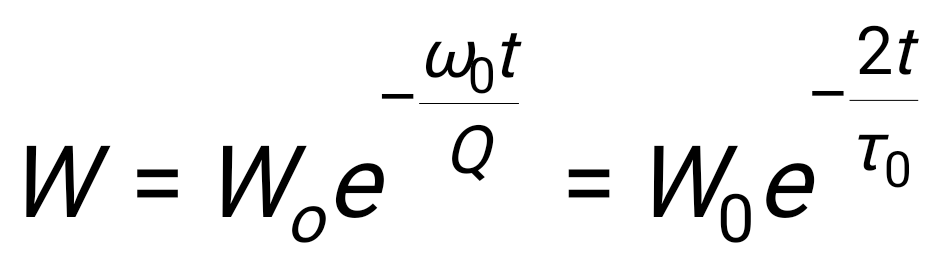
2) в цилиндрическом резонаторе с колебанием :

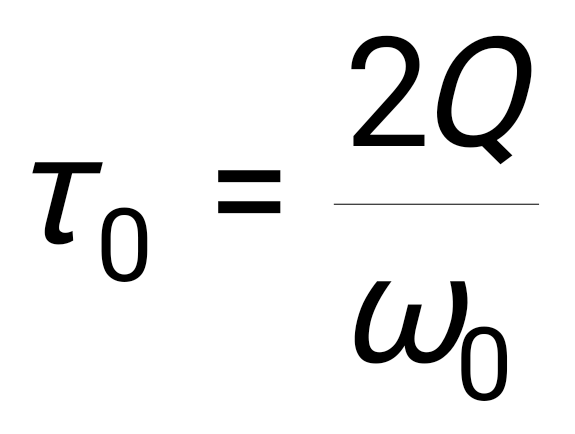
;

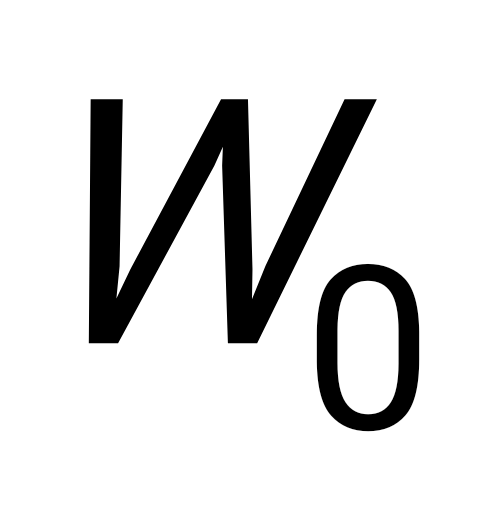
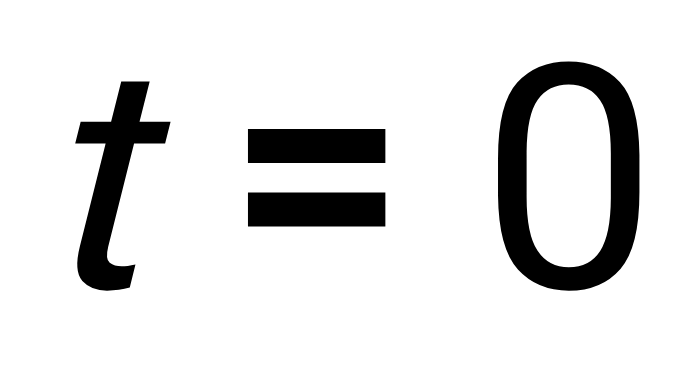
3) в коаксиальном резонаторе с колебанием Т (ТЕМ) при р=1

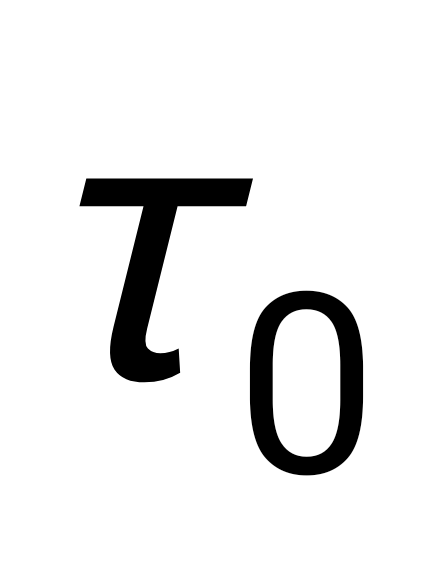
.

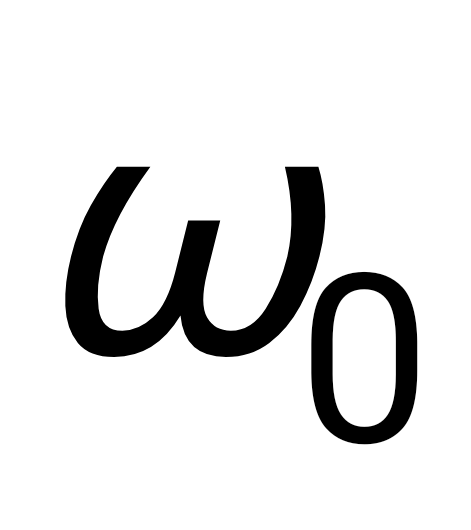
3.3.7 Энергия при свободных колебаниях тратится на потери и постепенно уменьшается по закону

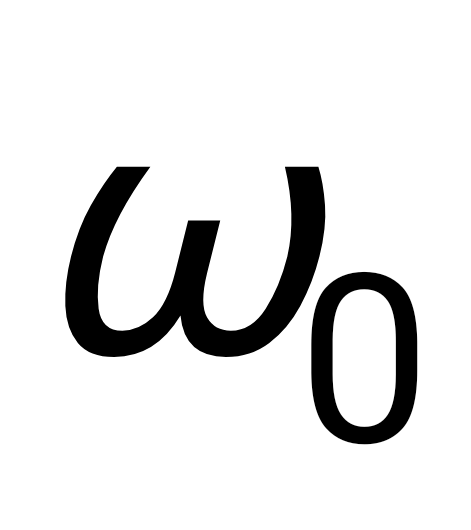
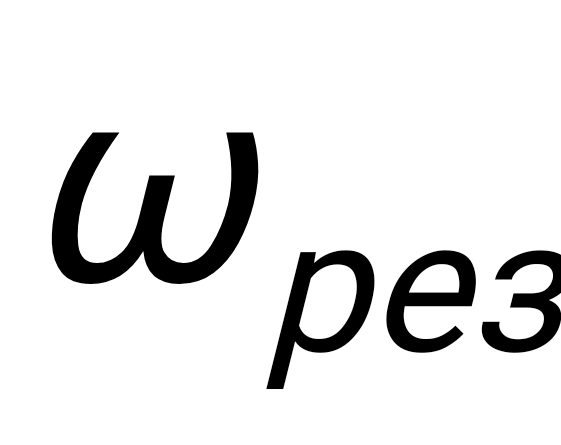
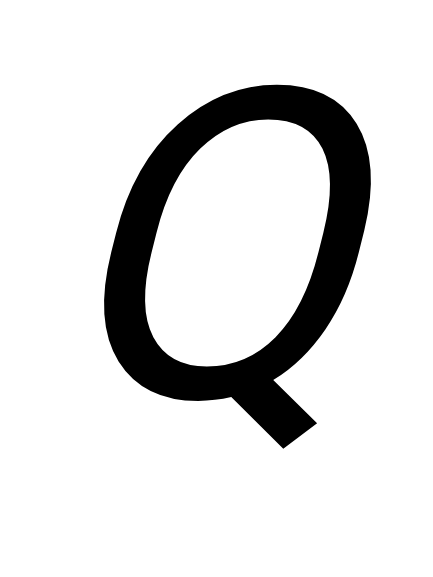
 ,

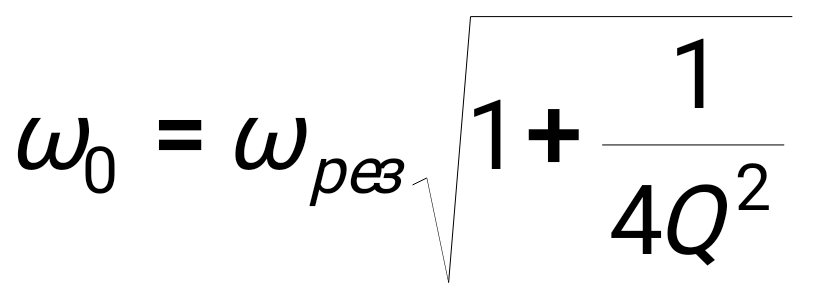
,

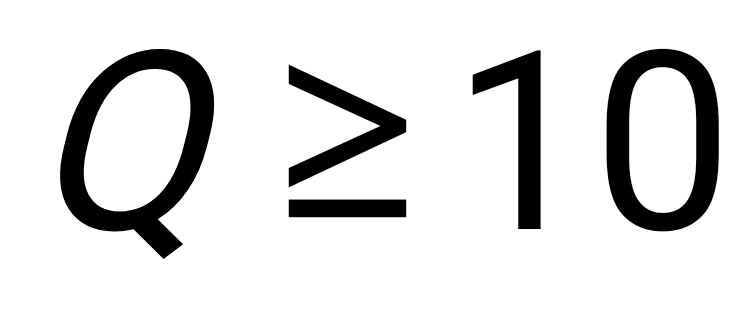
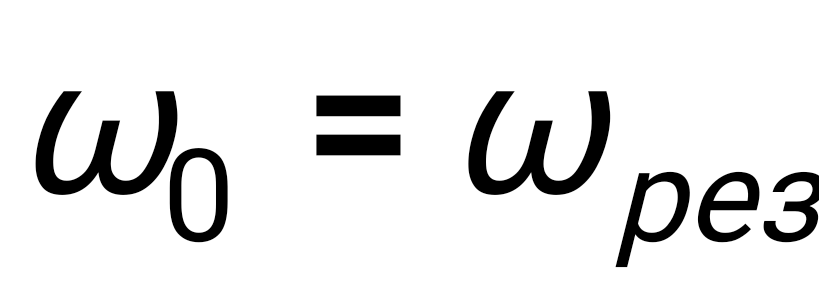
где - начальный запас энергии в резонаторе при ;

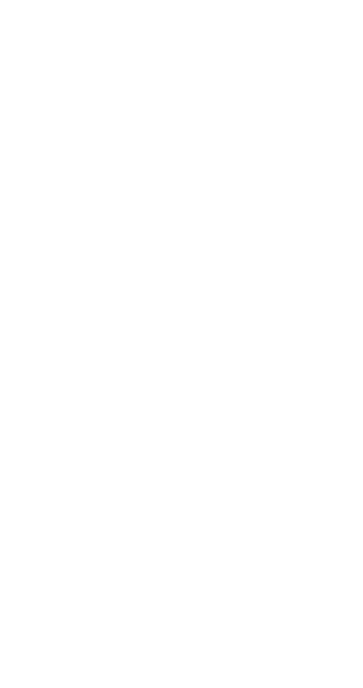
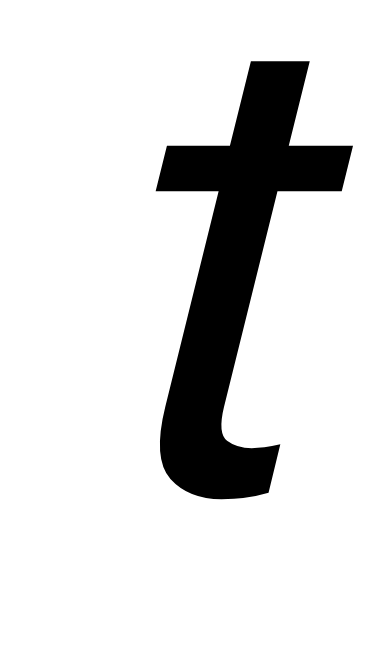
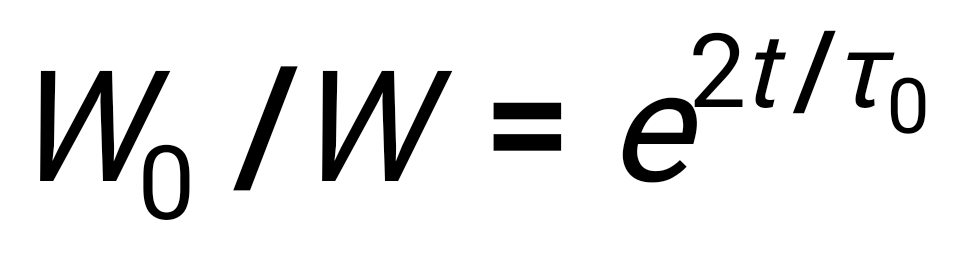
- постоянная времени;

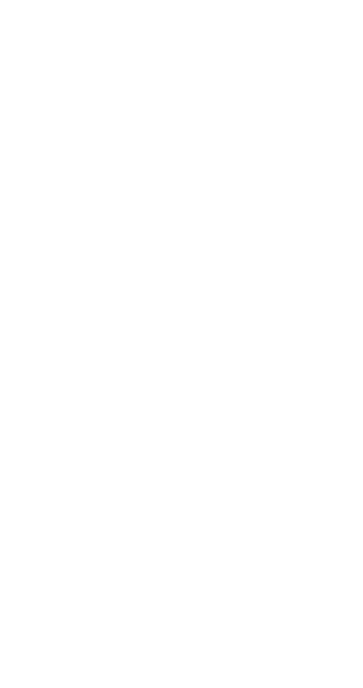
- собственная частота резонатора.

Собственная частота  и резонансная частота  связаны друг с другом через добротность  так, что

.

Как видно, при больших добротностях  в инженерных расчетах этой разницей в величинах резонансной и собственной частоты можно пренебречь и считать .

 За время  энергия поля при свободных колебаниях уменьшается .



**ЛИТЕРАТУРА**

1.Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ.-М.: Высшая школа, 1990.-335с.

2.Яманов Д.Н. Основы электродинамики и распространение радиоволн: Тексты лекций. Часть 1.”Основы электродинамики”.-М.: МГТУ ГА, 2002.-80с.

3.Яманов Д.Н. Электродинамика и техника сверхвысоких частот: Тексты лекций. Часть 2.”Основы электродинамики”.-

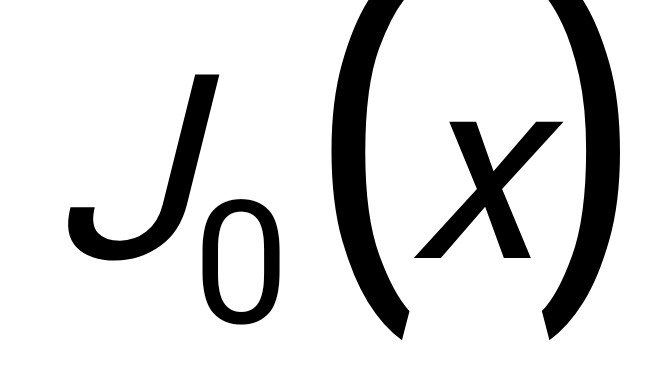
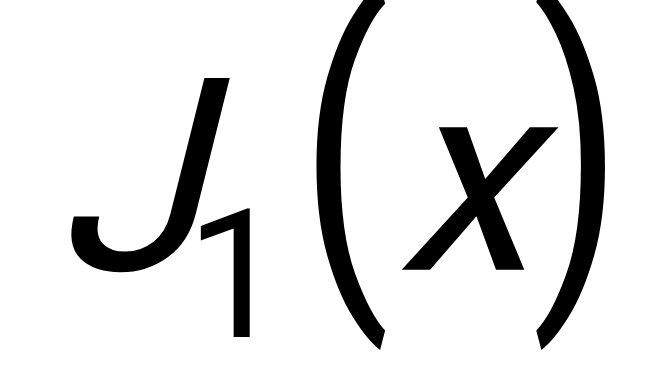
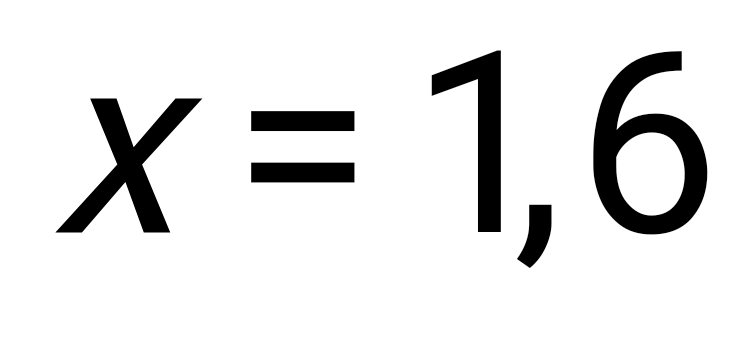
М.: МГТУ ГА, 1997.-107с.

4.Фальковский О.И. Техническая электродинамика.-М.: Связь, 1978.-432с.

5.Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн.-М.: Высшая школа, 1992.-416 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

Значение функции Бесселя 1-го рода нулевого порядка

 и первого порядка  для аргументов от  до

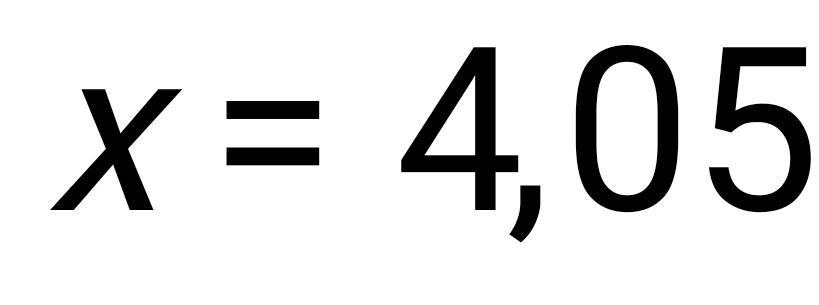


Таблица I

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1,60 | 0,455 | 0,570 | 2,85 | -0,205 | 0,393 |
| 1,65 | 0,427 | 0,574 | 2,90 | -0,224 | 0,375 |
| 1,70 | 0,398 | 0,578 | 2,95 | -0,242 | 0,357 |
| 1,75 | 0,369 | 0,580 | 3,00 | -0,260 | 0,339 |
| 1,80 | 0,340 | 0,581 | 3,05 | -0,276 | 0,320 |
| 1,85 | 0,311 | 0,582 | 3,10 | -0,292 | 0,301 |
| 1,90 | 0,282 | 0,581 | 3,15 | -0,306 | 0,281 |
| 1,95 | 0,253 | 0,579 | 3,20 | -0,320 | 0,261 |
| 2,00 | 0,224 | 0,577 | 3,25 | -0,333 | 0,241 |
| 2,05 | 0,195 | 0,573 | 3,30 | -0,344 | 0,221 |
| 2,10 | 0,166 | 0,568 | 3,35 | -0,355 | 0,200 |
| 2,15 | 0,138 | 0,563 | 3,40 | -0,364 | 0,179 |
| 2,20 | 0,110 | 0,556 | 3,45 | -0,373 | 0,158 |
| 2,25 | 0,083 | 0,548 | 3,50 | -0,380 | 0,137 |
| 2,30 | 0,055 | 0,540 | 3,55 | -0,386 | 0,116 |
| 2,35 | 0,029 | 0,530 | 3,60 | -0,392 | 0,095 |
| 2,40 | 0,002 | 0,520 | 3,65 | -0,396 | 0,074 |
| 2,45 | -0,023 | 0,509 | 3,70 | -0,399 | 0,054 |
| 2,50 | -0,048 | 0,497 | 3,75 | -0,401 | 0,033 |
| 2,55 | -0,073 | 0,483 | 3,80 | -0,403 | 0,013 |
| 2,60 | -0,097 | 0,471 | 3,85 | -0,403 | -0,007 |
| 2,65 | -0,120 | 0,457 | 3,90 | -0,402 | -0,627 |
| 2,70 | -0,142 | 0,442 | 3,95 | -0,401 | -0,047 |
| 2,75 | -0,164 | 0,426 | 4,00 | -0,397 | -0,066 |
| 2,80 | -0,185 | 0,410 | 4,05 | -0,393 | -0,085 |

**СОДЕРЖАНИЕ**

Вводные указания к выполнению контрольной работы........3

1.Задача 1. Плоские электромагнитные волны..............6

2.Задача 2. Линии передачи высокочастотного диапазона..11

3.Задача 3. Объемные резонаторы........................21

Литература...........................................28

Приложение...........................................29