

ЗВЕЗДИНА М.Ю., ШОКОВА Ю.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ
НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**

*Методическое пособие
по выполнению лабораторной работы*

2020г.

УДК 621.396.677

Звездина М.Ю., Шокова Ю.А. Исследование влияния препятствий на распространение радиоволн.

Методическое пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Электродинамика и распространение радиоволн». Помимо сведений о программе работы, в пособии приводятся краткие теоретические сведения об особенностях расчета множителя ослабления при прохождении радиотрассы вблизи препятствий, описание порядка работы, требования к оформлению отчета, контрольные вопросы.

© Звездина М.Ю., Шокова Ю.А. 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Цель работы	4
Содержание работы	4
Краткие теоретические сведения об основных закономерностях распространения радиоволн в наземных условиях.....	4
Программа подготовки к работе	9
Описание порядка работы	10
Содержание отчета	11
Контрольные вопросы	11
Литература	11

Цель работы

Приобретение навыков практического использования законов электродинамики при математическом моделировании параметров радиоканала с учетом влияния препятствий на трассе, расширение навыков использования современного программного обеспечения при проведении компьютерного моделирования распространения волн КВ- и УКВ-диапазонов в наземных радиотрассах.

Содержание работы

1. Вычисление радиусов зон Френеля.
2. Вычисление величины просвета, при котором множитель ослабления равен единице.
3. Вычисление множителя ослабления на трассе при заданном значении величины просвета.

Краткие теоретические сведения об основных закономерностях распространения радиоволн в наземных радиолиниях

При распространении земных радиоволн КВ и УКВ диапазонов над сильно пересеченной местностью, обусловленной как рельефом местности (например, горы), так и элементами городской застройки (например, высотные здания), практически невозможно рассчитать напряженность поля в точке приема как сумму падающей и отраженных волн. Типичная геометрия радиотрассы на пересеченной местности показана на рисунке 1. Кроме того, неровности рельефа, имеющие острые вершины, могут не создавать отражений, если вершина не покрывает область, достаточную для отражения. В связи с этим поле в точке приема определяют путем введения множителя ослабления поля $|V|$, рассчитываемого с использованием модели дифракции электромагнитной волны на полуплоскости. Геометрия получаемой задачи показана на рисунке 2.

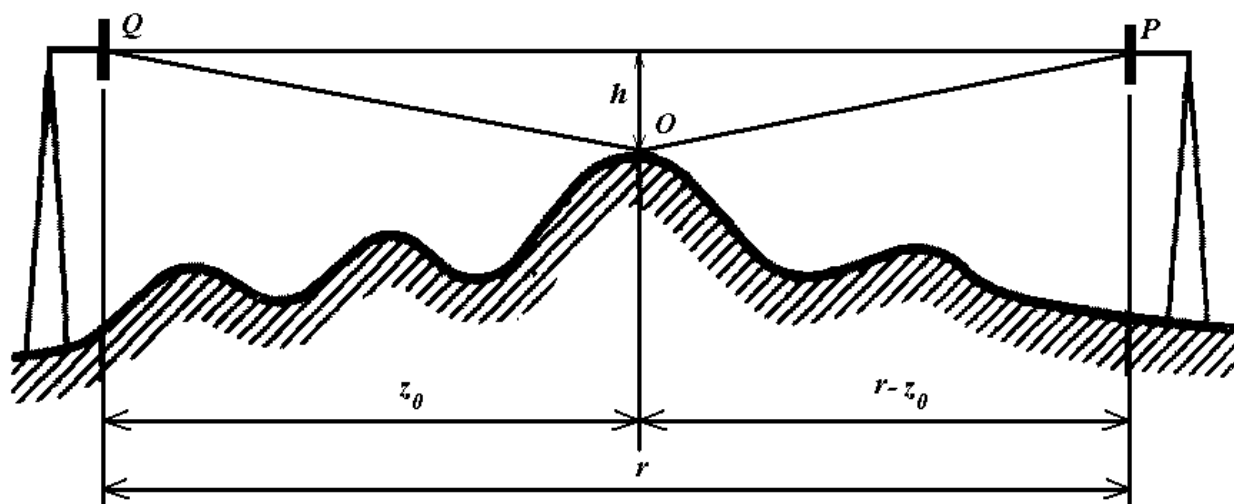


Рисунок 1

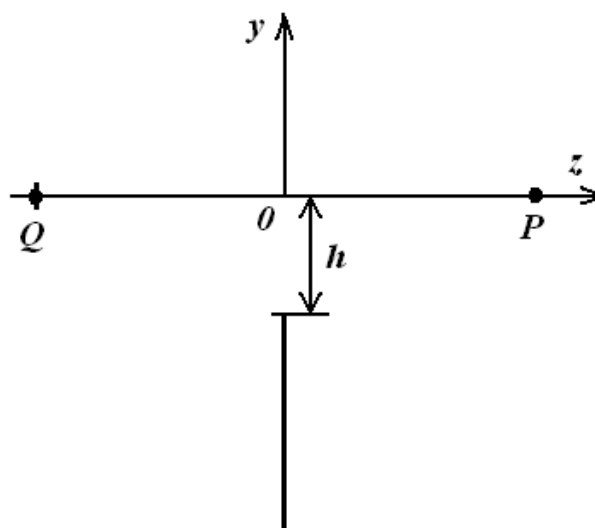


Рисунок 2

Величина h , определяющая расстояние между самой высокой точкой профиля на трассе (краем полуплоскости в дифракционной задаче) и линией, соединяющей центры передающей Q и приемной P антеннами, получила в радиосвязи название **просвета**. Величина просвета в зависимости от положения препятствия относительно линии распространения волны QP может быть положительной (препятствие расположено ниже линии QP) и отрицательной (препятствие выше линии QP).

Путем сравнения данной величины с эталонной определяют степень открытости трассы. Различают открытую, закрытую, полуоткрытую и полужакры-

тую трассы. В качестве эталонной величины используется величина просвета h_0 , при которой множитель ослабления равен единице, а разность длин между QP и QOP составляет величину $\lambda / 6$:

$$h_0 = \sqrt{\frac{\lambda[\text{м}]z_0[\text{км}](r - z_0)[\text{км}] \cdot 10^3}{3r[\text{км}]}}, \quad (1)$$

Если просвет на трассе меньше нуля, *трассу* называют *закрытой*. На закрытой трассе поле в точке приема создается за счет дифракции. Если выполняется условие $0 < h < h_0$, *трасса* называется *полуоткрытой* или *полузакрытой*, а при выполнении условия $h > h_0$ *трасса открытая*.

При нахождении множителя ослабления $|V|$ необходимо учитывать структуру поля вдоль радиотрассы. В частности, распределение энергии радиоволны в объеме.

Для решения данного вопроса используется принцип Гюйгенса. На его основе из точки возбуждения волны (точки передатчика Q) строится поверхность фронта волны в точке расположения препятствия, т.е. сфера S радиуса z_0 (рисунок 3). Из точки приемника P проводится семейство прямых, пересекающих сферу S в точках, удаленных от точки P на расстояние $(r - z_0) + 0.5\lambda$. Это семейство образует коническую поверхность, пересекающую плоскость рисунка по прямым PN_1 и PN'_1 . Аналогичным порядком строятся конические поверхности высших порядков $PN_n(r - z_0) + 0.5n\lambda$.

Пересечения конических окружностей со сферой образуют систему концентрических окружностей. Вид на эти окружности со стороны точки P показан на рисунке 4. Участки, заключенные между соседними окружностями, получили название *зон Френеля*. Первая зона Френеля представляет собой часть сферы, ограниченную окружностью, а зоны высших порядков – кольцевые области на поверхности сферы.

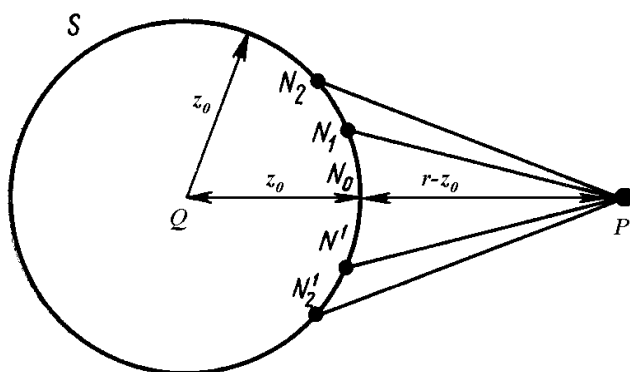


Рисунок 3

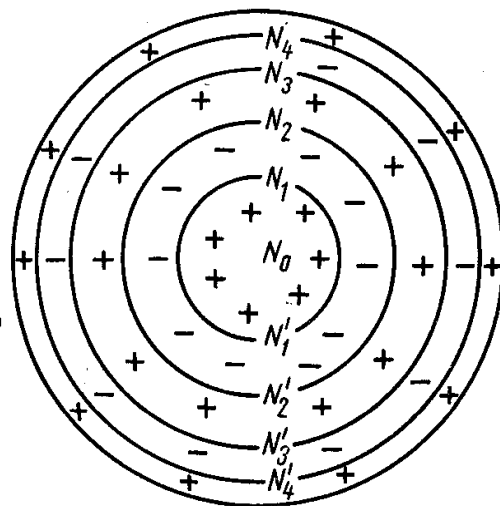


Рисунок 4

При этом радиус n -й зоны Френеля может быть вычислен с использованием формулы:

$$r_n = \sqrt{n \frac{\lambda z_0 (r - z_0)}{r}}. \quad (2)$$

Фаза колебаний, создаваемых воображаемыми источниками вторичных волн соседних зон, отличается на величину 180° . На рисунке 4 данное обстоятельство условно отмечается последовательным изменением знаков «плюс» и «минус». Действия смежных зон высших порядков, отличающихся сдвигами фаз на 180° , взаимно компенсируются. Причем, чем больше порядковый номер зон, тем полнее осуществляется эта компенсация. В результате этого совокупное действие всех зон эквивалентно действию примерно половины первой зоны. Таким образом, первая зона Френеля (с известным «запасом») и ограничивает область пространства, существенно участвующую в процессе распространения волн.

Область пространства, охватываемая первыми восемью зонами Френеля, называется *областью, существенной для распространения радиоволн*, и представляет собой эллипсоид вращения. Поперечное сечение данной области в

виде зон Френеля показано на рисунке 4. В пределах данной области сосредоточено порядка 84% передаваемой мощности поля.

Если препятствие перекрывает прямой луч между передающей и приемной антеннами, то поле в точке приема создается оставшимися свободными от препятствий зонами Френеля. За счет этого волна огибает препятствие (явление дифракции).

Множитель ослабления $|V|$ с учетом сделанных рассуждений будет описываться функцией влияния полуплоскости $\Phi(\cdot)$, имеющей вид:

$$|V| = \Phi(v_1) = 0.5 - f(v_1), \quad (5)$$

где $v_1 = -h \sqrt{\frac{2r}{\lambda z_0 (r - z_0)}} = -h \frac{\sqrt{2}}{r_1}$ - приведенная к значению радиуса первой

зоны Френеля в точке расположения препятствия (z_0) величина просвета;

$$f(v_1) = \sqrt{\frac{i}{2}} (C(v_1) - iS(v_1)); \quad (6)$$

$C(\cdot)$, $S(\cdot)$ - соответственно косинус- и синус-интегралы Френеля, являющиеся табулированными функциями.

Для выявления закономерностей влияния препятствия на амплитуду поля проанализируем зависимость $\Phi(v_1)$ от величины приведенного просвета v_1 , график которой показан на рисунке 6. Поскольку данная зависимость измеряется как в децибелах, так и в размах, то на рисунке показаны обе зависимости.

Анализ результатов, проиллюстрированных рисунками 6, показывает, что препятствия, для которых приведенное значение просвета больше нуля, т.е. закрытых трасс, комплексная амплитуда поля меньше 0.5, т.е. препятствие ослабляет величину принимаемого в точке P поля. При перекрытии полностью области, соответствующей первой зоне Френеля, показанной на рисунках вертикальными штриховыми линиями, амплитуда поля уменьшается почти в 7 раз или на 16,3дБ.

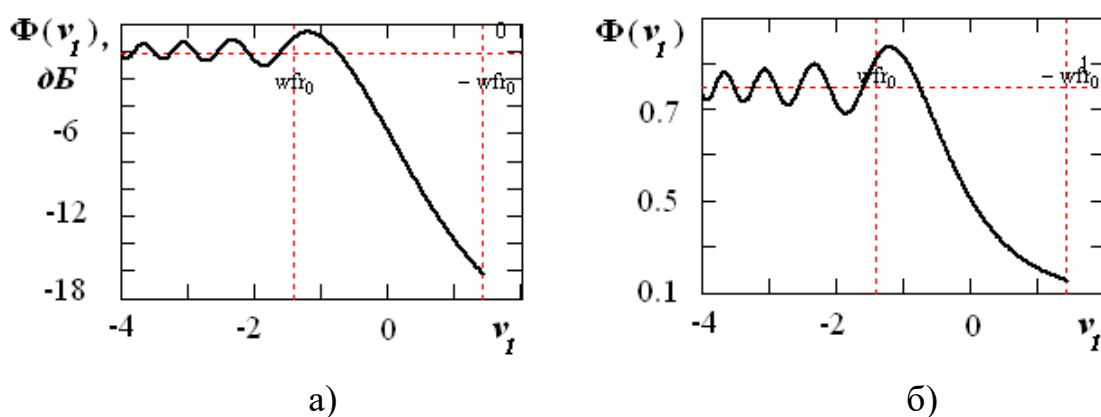


Рисунок 6

При $v_1 = 0$ (половина площади области, существенной при распространении волны, перекрыта препятствием) модуль амплитуды поля равен половине напряженности поля в свободном пространстве. При очень малых v_1 , т.е. большом удалении препятствия вниз от линии распространения волны QP , препятствие практически не оказывает влияния на величину комплексной амплитуды, а поле имеет осциллирующий около единицы характер. Однако при частичном перекрытии области, существенной для распространения волн, поле может даже не только ослабляться, но и усиливаться. Максимальное усиление поля в 1,181 раза по сравнению с излучаемым происходит при значении приведенного просвета, равного $v_1 = -1.224$. Физически данный эффект наблюдается при дифракции волны на кромке полуплоскости, когда перераспределяются соотношения фаз в первой и второй зонах Френеля.

Программа подготовки к работе

1. Изучить теоретические положения, касающиеся закономерностей распространения волн на наземных трассах в присутствии препятствий.
2. Уяснить цель и порядок проведения лабораторной работы.
3. Ознакомиться с расчетными соотношениями, провести их анализ.
4. Подготовиться к ответам на контрольные вопросы.
5. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание порядка работы

Программа расчета параметров области, существенной для распространения радиоволн, реализована в языковой среде *Delphi* версии 5.0 и представляет собой готовый к исполнению файл.

1. Ввод исходных данных. Исходные данные вводятся на поле слева. Ввод может быть осуществлен двумя способами:

- указанием номера варианта (от 1 до 10);
- заданием параметров вручную.

Второй вариант задания исходных данных позволяет использовать программу для проведения самостоятельных исследований.

Исходные данные, соответствующие заданному варианту, а также результаты моделирования с помощью программы, заносятся в Таблицу 1.

Т а б л и ц а 1 – Результаты моделирования

№ п/п	Параметр	Значение
Исходные данные		
1	Номер варианта	
2	Частота, МГц	
3	Расстояние между передающей и приемной антеннами r , км	
4	Удаление препятствия от передающей антенны z_0 , км	
5	Величина просвета h , м	
Результаты моделирования		
1	Длина волны, м	
2	Волновое число, m^{-1}	
3	Величина просвета, соответствующая множителю ослабления, равного 1	
4	Приведенная величина просвета	
5	Множитель ослабления в разгах	
6	Множитель ослабления в децибелах	
Вывод: Трасса является (открытой, закрытой, полужакрытой, полужакрытой)		

Построенные программой для заданного варианта исследований графики продольного и поперечного сечений области, существенной для прохождения радиоволн, необходимо перенести в отчет по лабораторной работе.

Кроме того, в отчет следует занести график зависимости множителя ослабления от приведенной величины просвета.

2. Анализ полученных результатов.

На основании полученных результатов необходимо сделать выводы:

- о типе получаемой трассы (открытая, закрытая, полузакрытая, полуоткрытая);
- о влиянии препятствия на степень перекрытия радиотрассы;
- о структуре области, существенной для распространения радиоволн;
- о влиянии нормированной величины просвета на амплитуду поля в точке приема.

Содержание отчета

1. Рисунки, поясняющие геометрию задачи.
2. Используемые расчетные соотношения.
3. Таблица 1.
4. Краткие выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Для чего рассматривается область, существенная для распространения радиоволн? Что она из себя представляет?
2. С использованием какой модели рассчитывается распространение радиоволн над пересеченной местностью?
3. Как определяется величина просвета?
4. Какие типы трасс известны?
5. На основании каких параметров определяется тип трассы?
6. Что представляют собой поперечные сечения области, существенной для распространения радиоволн?
7. Сколько зон Френеля учитывается при определении области, существенной для распространения радиоволн?
8. Что представляют собой зоны Френеля?

Литература

1. *Петров Б.М.* Электродинамика и распространение радиоволн. - Радио и связь, 2000г, с. 362-370, 458-466.
2. *Звездина М.Ю.* Электродинамика и распространение радиоволн. – Ростов-на-Дону: РАС ЮРГУЭС, 2007.
3. *Никольский В.В., Никольская Т.В.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989. с.155-197.