

Деформация лепестковой структуры поля сантиметровых и миллиметровых радиоволн при распространении в приводном волноводе

С. Я. Брауде, И. Е. Островский

Радиоастрономический институт Национальной Академии наук Украины
310002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4

Статья поступила в редакцию 25 ноября 1997 г.

В работе изучена изменчивость лепестковой структуры поля радиоволн длиной 32; 8; 6,8; и 4 мм, распространяющихся над морской поверхностью при наличии приводных волноводов. Показано, что в условиях волновода нижние лепестки прижимаются к поверхности воды и высота интерференционных максимумов не изменяется с увеличением расстояния.

В роботі вивчено змінливість пелюсткової структури поля радіохвиль довжиною 32; 8; 6,8 та 4 мм при розповсюдженні над морською поверхнею. Показано, що при наявності хвилевода нижні пелюстки притискаються до водної поверхні, а висота інтерференційних максимумів не змінюється з віддаленням від випромінюючої антени.

Как известно, при распространении УКВ над земной или водной поверхностью поле в какой-либо точке пространства в пределах прямой видимости является результатом интерференции прямого и отраженного от поверхности лучей. В пространстве возникает лепестковая структура поля, форма которой изменяется с изменением рефракции в атмосфере. При исследовании сверхрефракции основное внимание исследователей [1,2] было уделено изучению ослабления поля с расстоянием и пространственной структуре поля метровых и дециметровых радиоволн в дифракционной зоне. В данной работе экспериментально изучена пространственная структура поля сантиметровых и миллиметровых радиоволн в интерференционной зоне при разных условиях рефракции.

Методика измерений

Источники излучения радиоволн длиной 32; 8; 6,8 и 4 мм были размещены на специальной платформе на берегу, у уреза воды. Высота платформы в разных опытах была 2,3; 6; 12 и 18 м. Приемная аппаратура размещалась на судне. В кормовой части судна была установлена мачта, по откосу которой перемещалась платформа с комплектом приемной аппаратуры. Высотное распределение поля снималось путем фотографирования специальных отметчиков (отдельных для каждой волны) как при подъеме, так и при спуске платформы. Во время измерений судно удалялось с постоянной скоростью 10 узлов, а платформа с приемной аппаратурой перемещалась вдоль мачты в пределах высот от 1,8 м до 16 м над уровнем моря (при значительном волнении наименьшая высота платформы была 4 м). Вертикальные разрезы поля

снимались каждые 2-3 минуты. При скорости судна 10 узлов это соответствовало интервалу расстояния ~500 м и позволило получать пространственную картину поля.

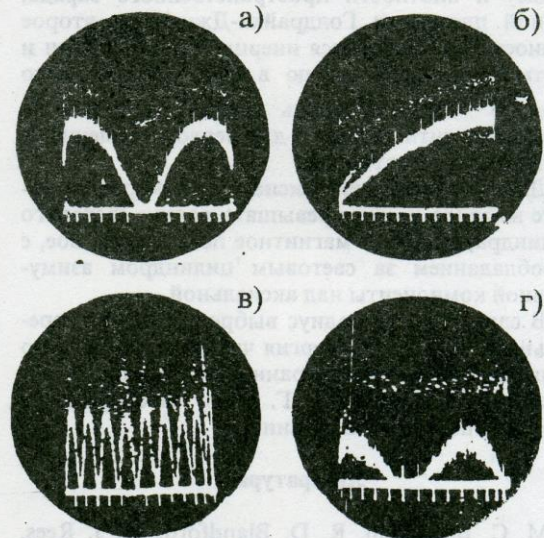


Рис. 1. Фотографии отметчиков на волны 32 и 6,8 мм:

- а) $\lambda = 32$ мм, расстояние от излучателя $r = 5,8$ км;
 б) $\lambda = 32$ мм, $r = 16,7$ км;
 в) $\lambda = 6,8$ мм, $r = 5,8$ км;
 г) $\lambda = 6,8$ мм, $r = 16,7$ км

Вид высотных разрезов электрического поля иллюстрирует рис. 1. Рисунок 1,а получен на волне 32 мм на расстоянии 5,8 км от излучающей

антенны; рисунок 1,б – на расстоянии 16,7 км. В обоих случаях высота излучающей антенны была 12 м. Обращенные вниз штрихи на горизонтальных развертках являются метками высоты приемной антенны. Крайняя метка справа соответствует высоте 15,8 м. Из приведенных фотографий видно, как изменяется с расстоянием количество и положение максимумов лепестков. На рис. 1,а видны верхняя половина первого лепестка и нижняя половина второго. На расстоянии 16,7 км для этой же волны удастся заснять только низ первого лепестка. Одновременно полученные снимки отчетливого на волне 6,8 мм с числом интерференционных лепестков – 8 и неполных 2 соответственно, приведены на рис. 1,в и 1,г. По таким снимкам определялись высоты максимумов лепестков и выяснялась их зависимость от условий рефракции, длины волны и высоты излучающих антенн. Высотный профиль коэффициента преломления измерялся на берегу у излучающих антенн и на борту корабля.

Анализ результатов измерения

Обычно, в отсутствие приводных атмосферных волноводов, для оценки ослабления радиосигналов УК диапазона с расстоянием используют понятие “эквивалентный радиус Земли” – a_3 [1]. На рис. 2,а прямые 1, 2, 3 обозначают расчетное положение интерференционных максимумов первого, второго и третьего лепестков на волне 32 мм при высоте излучающей антенны 18 м и при рефракции соответствующей “плоской Земле” ($a_3 \rightarrow \infty$). Точками показаны измеренные положения интерференционных максимумов в одном из измерений. Как видно из рисунка, измеренные высоты интерференционных максимумов первого лепестка располагаются по кривой, рассчитанной для $a_3 = 50000$ км. Рис. 2,б соответствует случаю, когда высоты интерференционных максимумов первого, второго и третьего лепестков хорошо совпадают с значениями, рассчитанными для “плоской Земли”. Иным является расположение лепестков при наличии атмосферных волноводов. На рис. 3 показаны результаты измерений, выполненных одновременно на волнах 32; 6,8 и 4 мм при наличии атмосферного волновода высотой $H=10$ м. На волне 32 мм высоты интерференционных максимумов первого лепестка, начиная с расстояния ~ 7 км, остаются неизменными – лепесток прижат к поверхности воды. На волне 6,8 мм положения интерференционных максимумов первого лепестка не показаны – они располагались ниже высоты 1,8 м, до которой опускались приемные антенны. Высоты интерференционных максимумов второго и третьего лепестков, так же как и первого лепестка на волне 32 мм, начиная с неко-

торого расстояния перестают изменяться и располагаются вдоль поверхности воды. На волне 4 мм

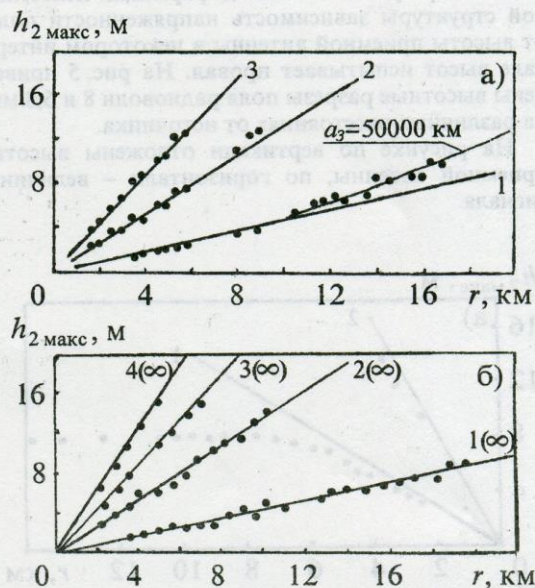


Рис. 2. Рассчитанные и измеренные высоты интерференционных максимумов на волне $\lambda = 32$ мм (высота излучателя $h_1 = 18$ м):

- а) максимумы первого лепестка совпадают с расчетом для эквивалентного радиуса Земли $a_3 = 50000$ км;
б) высоты интерференционных максимумов первых четырех лепестков совпадают с расчетом для $a_3 \rightarrow \infty$

первый лепесток также не показан – он был ниже 1,8 м. Высоты интерференционных максимумов второго лепестка перестают расти с двух метров, а третьего – с четырех. Проявляют тенденцию к остановке роста высоты максимумов четвертого и пятого лепестков. С увеличением высоты приводного волновода увеличивается количество прижимающихся к воде лепестков. Число прижатых лепестков растет также с увеличением высоты излучающей антенны. Однако этот эффект имеет “геометрический” характер. С увеличением высоты излучающей антенны наклон интерференционных лепестков уменьшается, что способствует их прижатию к поверхности воды. На рис. 4 показаны положения интерференционных максимумов на волне 32 мм при высоте излучающей антенны 18 м и интенсивном приводном волноводе. Прижатыми оказались 4 лепестка (первый не показан, т. к. его высота была ниже 1,8 м).

Таким образом, при наличии атмосферных волноводов первые интерференционные лепестки прижимаются к поверхности. Этот эффект стано-

вится заметнее с увеличением высоты атмосферного волновода и с укорочением длины радиоволны. В результате такой деформации лепестковой структуры зависимость напряженности поля от высоты приемной антенны в некотором интервале высот испытывает провал. На рис. 5 приведены высотные разрезы поля радиоволн 8 и 6,8 мм на различных расстояниях от источника.

На рисунке по вертикали отложены высоты приемной антенны, по горизонтали – величина сигнала.

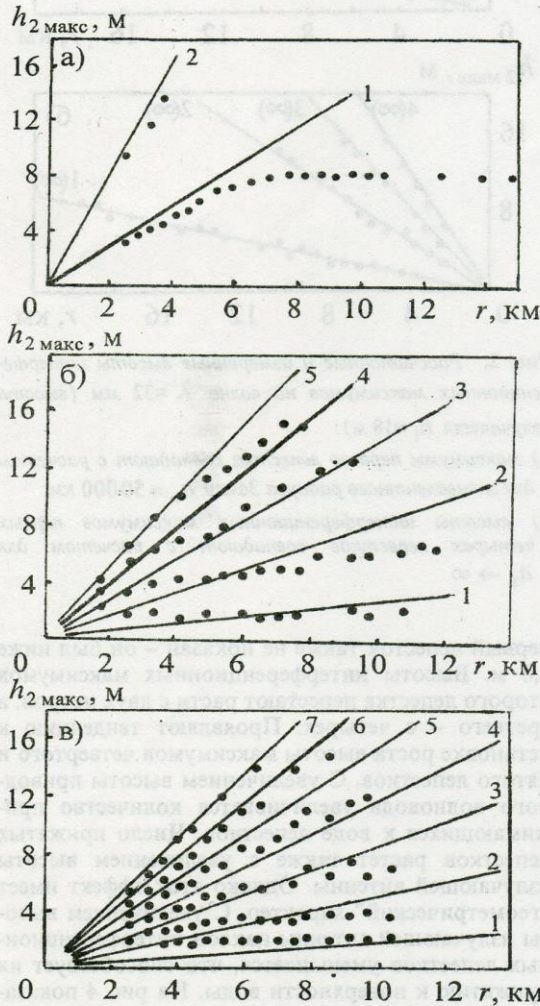


Рис. 3. Одновременные измерения на волнах $\lambda = 32, 6,8$ и 4 мм при наличии приводного волновода (высота излучателя $h_1 = 2,5$ м):

- а) $\lambda = 32$ мм;
- б) $\lambda = 6,8$ мм;
- в) $\lambda = 4$ мм

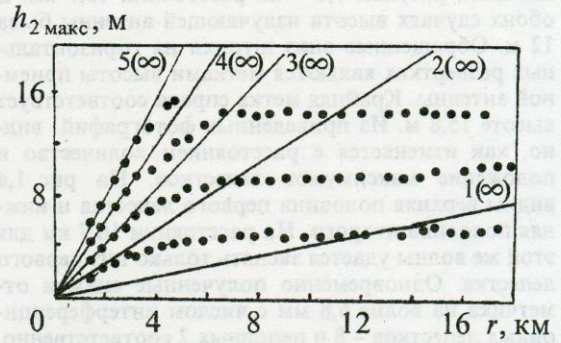


Рис. 4. Сравнение экспериментальных (точки) значений высот интерференционных максимумов пяти лепестков с расчетными значениями для модели "плоской Земли" (сплошные линии)

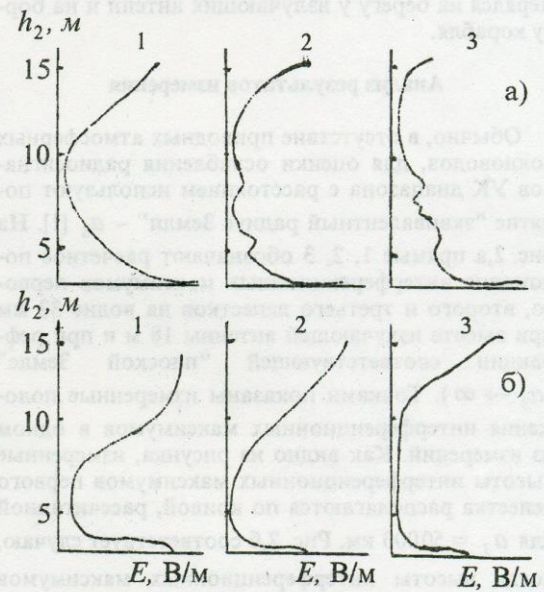


Рис. 5. Высотные разрезы электрического поля волн $\lambda = 8$ мм (а) и $\lambda = 6,8$ мм (б) на различных расстояниях r от источника (высота излучателя $h_1 = 2,5$ м): 1 – $r = 7,4$ км; 2 – $r = 8,7$ км; 3 – $r = 10$ км

Расстояние, на котором измерен высотный профиль поля, указано на каждом разрезе. На обеих волнах с увеличением расстояния от излучателя расширяется область высот минимума поля. Благодаря прижатости первых лепестков к поверхности воды оказывается возможным при малой высоте приемной антенны получать уверенный сигнал на расстоянии, значительно превышающем расстояние до геометрического горизонта. Для сравнения на рис. 6, взятом из [1], приведены кри-

вые постоянной напряженности поля в атмосферном волноводе. Излучатель находится внутри волновода (его высота указана точкой 2). Высота волновода показана точкой 1. Предполагается, что приведенный коэффициент преломления распределен по показательному закону. Высота H и расстояние X отложены в натуральных единицах по отношению к длине волны (для длины волны 3,2 см натуральная единица высоты – $H=4,7$ м, а натуральная единица расстояния – $X=9$ км). Этот рисунок показывает, что и в дифракционной зоне на малых высотах линии равной напряженности поля значительно вытянуты, подобно линиям в интерференционной области. Как известно, в море обычно существуют приводные волноводы высотой несколько метров, поэтому на коротких миллиметровых радиоволнах должен наблюдаться эффект вытягивания первого лепестка и соответственно увеличение сигнала на малых высотах.

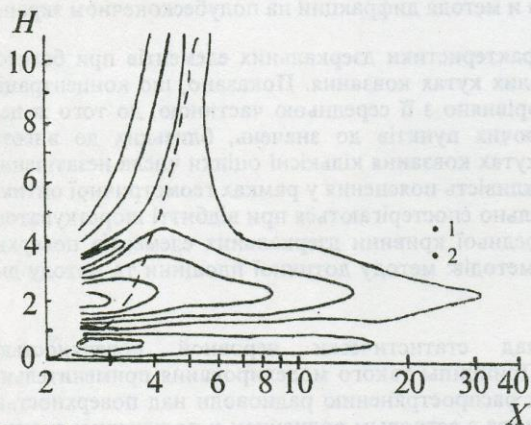


Рис. 6. Кривые равной напряженности поля в атмосферном волноводе. Пунктир – линия горизонта при $a_3 = 8500$ км

Выше были рассмотрены результаты интерференции прямого и зеркально отраженного от поверхности воды радиосигналов при волноводных условиях распространения. Однако необходимо иметь в виду, что при отражении от поверхности моря наряду с зеркальной компонентой поля возникает и диффузная составляющая сигнала. Величина диффузной составляющей сигнала возрастает с увеличением волнения моря и с укорочением длины радиоволны. По мере возрастания диффузной компоненты сигнала разрушается лепестковая структура поля. Так, на волне 2,4 мм лепестковая структура поля наблюдалась нами только при штиле на море. При волнении примерно 2 балла лепестковая структура поля на этой волне полностью разрушалась. В связи с этим исследования в более коротком диапазоне волн посвящены изучению рассеянного от моря сигнала.

Литература

1. Распространение ультракоротких радиоволн. Под ред. Б. А. Шиллерова. Сов. радио, 1954.
2. В. А. Фок, Л. А. Вайнштейн, М. Г. Белкина. Радиотехника и электроника. 1956, 1, №5, с. 560-574.

Deformed Lobe Structure of CM and MM Wavelength Radio Waves Propagating through Surface Ducts over Sea

S. Ya. Braude, I. E. Ostrovskij

The changeable structure of lobes of radio waves 32; 8; 6,8 and 4 mm propagating over the sea surface where near water waveguide exist was investigated. It was shown that when the waveguide exists the lower lobes are pressed to the sea surface. In this case the height of the interference maximum is not changed with a distance.