

УДК 621.371

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДВУХМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НАД МОРЕМ

*М. Г. Балан, С. Б. Беспечный, Н. В. Горбач, Л. М. Лобкова,
Ю. П. Михайлюк, Н. И. Мишарева, Ю. А. Педенко,
В. Б. Разказовский, В. В. Стельмах*

Представлены результаты экспериментального исследования флуктуаций амплитуды радиоволн двухмиллиметрового диапазона на морской трассе протяженностью 9,6 км. Получены оценки глубины замираний сигнала, исследованы временные характеристики флуктуаций принимаемого сигнала. Полученные результаты сравниваются с данными для короткой морской трассы.

Исследование статистических характеристик радиоволн двухмиллиметрового диапазона, распространяющихся над поверхностью моря, представляет большой интерес для решения практических вопросов, связанных с построением широкополосных систем радиосвязи, а также для разработки модели сигнала в месте приема в условиях морской трассы.

Имеющиеся экспериментальные работы по распространению радиоволн в открытых каналах связи касаются, как правило, более длинноволнового радиоизлучения (см., например, [1-3]) либо выполнены в условиях турбулентной атмосферы при отсутствии влияния подстилающей поверхности [4, 5]. В работе [6] получены некоторые статистические характеристики сигналов двухмиллиметрового диапазона на морской трассе протяженностью $L = 750$ м, а в работе [7] исследованы высотный профиль поля и коэффициенты отражения от снежного покрова для трассы длиной 150 м.

Отсутствуют данные о глубине замираний сигнала, временных характеристиках флуктуаций принимаемого сигнала при изменениях метеорологических условий и различной геометрии трассы. Некоторые из перечисленных проблем затронуты в данной работе, являющейся продолжением исследований, начатых в 1978 г. на короткой морской трассе ($L = 750$ м) вблизи г. Севастополя [6].

Рассматриваемые в настоящей работе эксперименты выполнялись при расположении приемного пункта на высоте 5,5 м над уровнем моря. Антенна вместе с передатчиком была установлена на высоте 25 м над уровнем моря на расстоянии 9,6 км от приемника. Измерительная аппаратура, применявшаяся в исследованиях, описана в [6], отличие состояло лишь в том, что в данных экспериментах использовалась более направленная передающая антенна (с шириной ДН по уровню половинной мощности 8,5 мрад) и прием осуществлялся на две антенны, разнесенные на расстояние 0,32 м. Кроме того, приемник был обеспечен системой АПЧ, что позволило сузить полосу его пропускания, улучшить энергетические характеристики системы связи и повысить надежность работы аппаратного комплекса, описанного в [6].

Эксперименты проводились в течение шести дней в период с октября 1979 г. по февраль 1980 г. при малых скоростях ветра (в среднем около 3 м/с) и слабом волнении моря (высота морских волн, по визуальным оценкам, составляла от 0,1 до 0,3 м) как при ясной погоде, так и в условиях тумана и морозящего дождя.

Исследования были выполнены при эллиптической, близкой к круговой поляризации излучения и при линейной (как вертикальной, так и горизонтальной) поляризации приема. Угол наклона электрической оси приемных антенн относительно направления на передатчик можно было изменять в пределах нескольких миллирадиан, что позволило наблюдать за изменением характеристик принимаемого сигнала по мере ослабления прямого луча.

Исследование возможности аппроксимации экспериментальных законов распределения, полученных на трассе длиной 750 м, обобщенным законом распределения Рэлея показало, что в 50% исследованных случаев можно отметить соответствие этих законов. (Проверка соответствия теоретического и экспериментального законов выполнялась с использованием критерия Пирсона при уровне значимости 0,05.) Это относится как к случаям направления приемных антенн на передатчик ($\vartheta = 0^\circ$), так и к случаям отклонения их в сторону поверхности моря (отрицательные значения ϑ). В 40% реализаций, полученных при отрицательных значениях ϑ , глубина замираний по уровням вероятности 10% и 90% оказалась больше 13,4 дБ.

При анализе результатов на трассе длиной 9,6 км лишь 20% из всех полученных экспериментальных законов распределения флуктуаций амплитуды сигнала оказалось возможным аппроксимировать обобщенным законом распределения Рэлея. Наибольшее отклонение экспериментальных законов от вышеупомянутого закона распределения получено при исследованиях в условиях инверсии показателя преломления в приземном слое атмосферы.

При направлении антенн в сторону поверхности моря в отличие от короткой трассы глубина замираний сигнала, превышающая 13,4 дБ, отмечена менее чем в 10% исследованных случаев.

В табл. 1 представлены усредненные значения глубины замираний сигнала для двух трасс при различных условиях эксперимента.

Таблица 1

Средние значения глубины замираний сигнала (в дБ)

ϑ , мрад	Трасса 0,75 км		Трасса 9,6 км	
	Гориз. поляризация	Верг. поляризация	Гориз. поляризация	Верг. поляризация
5			2,6	2,1
0	14,6	6,5	3,5	3,8
-2,5	14,6	10,2	5,0	4,8
-9,0		14,7	7,1	8,3
-10,0			13,1	10,0
-18,5		14,0		

Рис. 1 иллюстрирует зависимость дисперсии флуктуаций амплитуды сигнала от угла наклона электрической оси приемных антенн для длинной трассы (а) и короткой трассы (б). Как видно из табл. 1 и рис. 1а, б, флуктуации сигнала при горизонтальной и вертикальной поляризации существенно различаются для случая короткой трассы и практически совпадают по величине при работе на длинной трассе.

Интересная особенность в поведении сигнала была отмечена при наличии на трассе слоя тумана, расположенного на высоте 3—7 м над уровнем моря. При этом наблюдалось уменьшение уровня сигнала на 2—3 дБ для $\vartheta = 0^\circ$, и на такую же величину возрастал сигнал в направлении на точку зеркального отражения.

При вертикальном разнесении антенн, в отличие от короткой трассы, обнаружено уменьшение коэффициента взаимной корреляции сигналов в двух приемных антеннах при отрицательных значениях ϑ (как при вертикальной, так и при горизонтальной поляризации). Это можно видеть из табл. 2, где приведены результаты экспериментов, проводившихся при практически неизменных метеоусловиях на трассе.

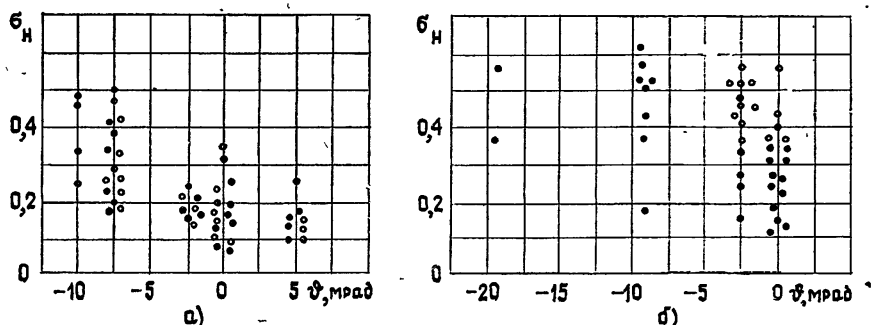


Рис. 1. Нормированное среднеквадратичное отклонение флуктуаций амплитуды сигнала в зависимости от угла наклона электрической оси приемных антенн по отношению к передатчику:

темные точки — при вертикальной поляризации; светлые точки — при горизонтальной поляризации;

а) длина трассы 9,6 км; б) длина трассы 0,75 км.

При горизонтальном разнесении антенн коэффициенты взаимной корреляции, как правило, превышали величину 0,5 и не зависели от направления антенн и вида поляризации. Аналогичная картина имела место и на короткой трассе.

Таблица 2

Коэффициенты взаимной корреляции при вертикальном разнесении приемных антенн на 320 м

Дата	Время	$\vartheta = 5 \text{ мрад}$	$\vartheta = 0^\circ$	$\vartheta = -2,5 \text{ мрад}$	$\vartheta = -10 \text{ мрад}$
27.10.79	17.30—19.00			0,41	0,03
28.10.79	11.30—14.30	0,90	0,60	0,35	0,20
	17.00—17.50	0,75	0,21	0,17	0,14
	18.00—19.00	0,96	0,27	0,17	0,03
16.12.79	14.10—16.00		0,85	0,70	0,30

На рис. 2 представлены энергетические спектры флуктуаций амплитуды сигнала, полученные для случая, когда приемные антенны были направлены в сторону поверхности моря (а) и на передатчик (б). Как и на короткой трассе, в спектрах наблюдаются несколько максимумов, положение которых по частоте совпадает с положением максимумов в спектрах морского волнения (см., например, [8]). Главный максимум в спектре флуктуаций амплитуды сигнала в большинстве случаев ока-

зывается на частоте менее $0,1 \text{ Гц}$, как видно в приведенных примерах на рис. 2а, б. На короткой трассе главный максимум, как правило, располагался в области $0,3\text{—}0,6 \text{ Гц}$.

В табл. 3 приведены усредненные значения ширины спектра флуктуаций амплитуды сигнала при различных ϑ . Рассматриваемая величина определялась по уровню -10 дБ относительно наибольшего значения спектральной плотности на частоте $f \geq 0,1 \text{ Гц}$ (выбор границы объясняется удобством сравнения с данными для короткой трассы

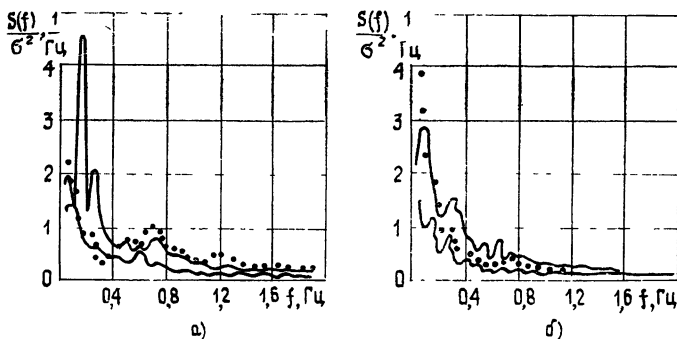


Рис. 2. Энергетические спектры флуктуаций амплитуды сигнала при направлении приемных антенн в сторону поверхности моря (а) и на передатчик (б).

и неопределенностью положения главного максимума в рассматриваемых спектрах). При исследованиях на короткой трассе ширина спектра изменялась в пределах от $0,84$ до $2,6 \text{ Гц}$.

Таблица 3

Усредненные значения ширины энергетического спектра флуктуаций амплитуды сигнала

$\vartheta, \text{град}$	5	0	-2,5
$\Delta f, \text{Гц}$	0,73	0,92	1,33

Сравнение характеристик энергетических спектров флуктуаций амплитуды сигналов, распространяющихся на короткой и длинной трассах при сходных метеорологических условиях, позволяет сделать вывод: с увеличением длины трассы возрастает интенсивность флуктуаций в низкочастотной области, вследствие чего уменьшается ширина спектра флуктуаций амплитуды сигнала. Вероятно, отмеченные обстоятельства связаны с возрастающим влиянием неоднородной структуры показателя преломления воздуха в приводном слое тропосферы на поле в месте приема по мере увеличения протяженности трассы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beard C. I. — IRE Trans. Ant. Propag., 1961, AP-9, № 5, p. 470.
2. Inoue T., Sakagami S., Ogasawa M. — Rev. Electrical communication laboratories, 1975, 23, № 5—6, p. 597.
3. Балан М. Г., Горбач Н. В., Гутник В. Г., Кулемин Г. П., Мирошниченко Е. И., Педенко Ю. А., Разказовский В. Б. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по распространению радиоволн. — М.: Наука, 1978, с. 218.

4. Андреев Г. А., Голинов В. А., Исмаилов А. Т., Парщиков А. А., Розанов Б. А., Таныгин А. А. Препринт ИРЭ АН СССР № 4 (246). — М., 1978.
5. Андреев Г. А., Черная Л. Ф. — Радиотехника, 1978, № 1, с. 16.
6. Балан М. Г., Беспечный С. Б., Горбач Н. В., Князьков Б. Н., Педенко Ю. А., Разказовский В. Б., Ревин И. Д., Скрынник Б. К., Шестопалов В. П. Препринт ИРЭ АН УССР № 132. — Харьков, 1979.
7. Андреев Г. А., Мартынова З. А., Хохлов Г. И. — Радиотехника, 1979, № 8, с. 73.
8. Давидан И. Н., Рожков В. А., Андреев Б. М., Лопатухин Л. И., Трапезников Ю. А. Вероятностные характеристики волнения, методы их анализа и расчета. — Л.: Гидрометеиздат, 1971.

Севастопольский приборостроительный институт

Поступила в редакцию
28 октября 1980 г.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF RADIO WAVES PROPAGATION IN TWO MILLIMETER WAVE RANGE ABOVE THE SEA

*M. G. Balan, S. B. Bespechnyj, N. V. Gorbach, L. M. Lobkova,
Yu. P. Mikhajlyuk, N. I. Mishareva, Yu. A. Pedenko,
V. B. Razckazovskij, V. V. Stel'makh*

Experimental results are presented for radio wave amplitude fluctuations in two-millimeter wave range on the sea trace of 9.6 km length. Estimations of the depth of the signal dying-out have been obtained, time characteristics of fluctuations of the received signal have been investigated. Results obtained are compared with data for a short sea trace.

ХРОНИКА

(Продолжение, начало см. стр. 1053)

Большой интерес вызвала и более традиционная проблема связи процессов в ионосфере с явлениями в магнитосфере Земли. Вопросам магнитосферной физики, физики ионосферы широких широт и проблемам магнитосферно-ионосферных связей, а также взаимодействию солнечного ветра и магнитосферы были посвящены лекции Ю. И. Гальперина, Я. И. Фельдштейна, Ю. Г. Мизуна и Д. Вагнера (ГДР). В этих лекциях и на дискуссиях были рассмотрены различные аспекты магнитосферно-ионосферных взаимодействий (включая перенос в ионосферу электрических полей, вторжение ускоренных частиц и т. п.) и процессов, приводящих к влиянию магнитосферы на динамику высоких, средних и приэкваториальных широт. С этой группой вопросов тесно связана и обсуждавшаяся на школе проблема о механизмах и источниках неоднородной структуры ионосферной плазмы (лекция Л. М. Ерухимова). Здесь особое внимание было уделено роли градиентно-токовых и нагревных (обусловленных наличием токов) механизмов происхождения неоднородностей и режимам релаксации слабых возмущений в ионосферной плазме, изучение которых стало возможно в результате экспериментов по воздействию на ионосферу мощными пучками радиоволн. Различные вопросы этого нового направления ионосферной физики — взаимодействие мощных радиоволн с ионосферной плазмой — были рассмотрены в лекции В. Ю. Трахтенгерца, главное внимание в которой было уделено возможностям искусственной модуляции ионосферных токовых систем с помощью наземных радиопередатчиков и теории тепловых неустойчивостей ионосферной плазмы, вызванных ее нагревом мощным пучком радиоволн.

(Окончание см. стр. 1120)