

6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Гос-техиздат, 1957.
7. Смайт В. Электростатика и электродинамика. — М.: ИЛ, 1954.

Радиоастрономический институт
АН УССР

Поступила в редакцию
20 января 1988 г.

УДК 537.876.23:551.510.02

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ЗАТУХАНИЕ ВОЛН В ТРОПОСФЕРНОМ ВОЛНОВОДЕ

В. К. Иванов, В. Н. Лановой, В. Д. Фрейлихер

Рассеяние на турбулентных пульсациях коэффициента преломления атмосферы вызывает дополнительное ослабление сигнала, распространяющегося в приповерхностном тропосферном волноводе. Для коротковолновой части сантиметрового диапазона радиоволн ($\lambda \sim 3$ см) соответствующий погонный декремент затухания Γ , как правило, существенно превышает декремент Γ_0 , связанный с «регулярным» (в отсутствие рассеяния) высвечиванием из волновода (см. табл. 1). Для теоретического объяснения измеренных дистанционных зависимостей функции ослабления $W(D)$ в условиях волноводного распространения над морем учет многократных рассеяний проводится в рамках уравнения переноса излучения, из решения которого следует [1]

$$W_1(D) \sim e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_1)D}, \quad \Gamma_1 = \frac{0,64k^{8/9}c_2^2}{\alpha^{5/3}g^{5/9}} \equiv Ac_2^2. \quad (1)$$

Здесь D — дистанция, $k=2\pi/\lambda$, g — вертикальный градиент регулярной составляющей диэлектрической проницаемости, c_2 — структурная постоянная ее флуктуаций $\delta\epsilon$, α — параметр анизотропии $\delta\epsilon$. Формула (1) и входящие в нее величины c_2^2 , α , g получены путем усреднения по ансамблю реализаций случайной функции $\delta\epsilon$. При обработке экспериментальных данных эта процедура требует усреднения наблюдаемых величин за большие (строго говоря, за бесконечные) промежутки времени t , на практике, однако, мы всегда имеем дело с записями измеряемых величин, сделанными за ограниченный временной интервал. Средние за время t величины могут оказаться медленно зависящими от координат и времени [2]. В этом случае параметры, описывающие флуктуации, естественно считать случайными величинами [2, 4] и описывать их статистически, задавая, например, среднее значение $\langle c_2^2 \rangle$ и дисперсию флуктуаций $\sigma_{c_2^2}$. Дополнительное усреднение по этим флуктуациям приводит к выражению

$$W_2(D) \sim \exp\{-A\langle c_2^2 \rangle D + A^2\sigma_{c_2^2}^2 D^2/4\}, \quad (2)$$

отличающемуся от (1) и позволяющему удовлетворительно объяснить ряд измеренных дистанционных зависимостей.

Для проверки эффективности изложенного теоретического подхода были проведены натурные измерения дистанционной зависимости поля прямого сигнала, распространяющегося в пограничном слое атмосферы над морской поверхностью с одновременными измерениями пространственного распределения коэффициента преломления. Приемное и передающее устройства были установлены на двух судах, которые перед началом эксперимента находились на близком расстоянии (~ 100 м) и после совместной настройки всех измерительных трактов расходились противоположными курсами до расстояния 100—150 км, разворачивались и сходились встречными галсами. При движении судов одновременно с непрерывной регистрацией принимаемого сигнала определялось мгновенное значение расстояния между ними, что позволяло построить зависимость функции ослабления радиосигнала по интенсивности (W) от расстояния между корреспондирующими пунктами. Определение коэффициента преломления приводного слоя атмосферы производилось с помощью рефрактометров [4], основной измерительный элемент которых — объемный открытый резонатор с собственной частотой, являющейся известной функцией измеряемой величины (коэффициента преломления). Разработанный комплекс аппаратуры позволял проводить одновременные измерения либо в четырех фиксированных разнесенных по высоте пунктах, либо в двух, один из которых перемещался по вертикали. Для исключения влияния корпуса судна на репрезентативность показаний рефрактометрических датчиков они размещались на удалении 2—2,5 м от корпуса в его носовой части. Учет влияния качки корабля производился путем исключения в спектре флуктуаций показателя преломления узкополосных всплесков и провалов на энергонесущих частотах качки. Все это позволило обеспечить точность измерения абсолютного значения коэффициента пре-

ломления воздуха порядка $0,03 N$ -ед. Из полученных временных записей и одновременно регистрируемых данных о скорости ветра и скорости движения корабля определялись как регулярные (усредненные за время $T \sim 30$ мин) высотные профили коэффициента преломления, так и флуктуационные характеристики турбулентности на разных высотах — структурные функции, функции когерентности и т. д. При наличии сверхрефракции M -профили с достаточной точностью аппроксимировались билинейной зависимостью, причем разные реализации отличались величинами M -дефицита ΔM и высотами точки инверсии H (эффективная высота волновода). Соответствующие «регулярные» (без учета флуктуаций) декременты затухания для каждого опыта рассчитывались на ЭВМ и приведены в столбце $\Gamma_0 = 4,34 \gamma_0$. Величина $\Gamma_1 = 4,34 \gamma_1$ находилась по формуле (1), причем в качестве c_s^2 бралось среднее (для данного опыта) по высоте значение структурной постоянной $\langle c_s^2 \rangle$. Значение Γ_2 определялось из (2) по формуле $\Gamma_2 = 10 \lg W_2/D$. Из табл. 1 видно, что изменчивость c_s^2 приводит к уменьшению погонного декремента затухания ($\Gamma_2 < \Gamma_1$). При одинаковых $\langle c_s^2 \rangle$ Γ_2 может заметно изменяться в зависимости от величины дисперсии $\sigma_{c_s^2}$. Сравнение приведенных в табл. 1 расчетных данных с измеренными $\Gamma = 10 \lg W/D$ показывает, что учет флуктуаций структурной постоянной позволяет на количественном уровне объяснить наблюдаемые дистанционные зависимости функции ослабления УКВ сигналов в приводном тропосферном волноводе. Последние две строки соответствуют случаям, когда захваченные моды отсутствовали (большие значения Γ_0). Наблюдаемые anomalously высокие уровни ($\Gamma < \Gamma_0$), очевидно, возникали из-за рассеяния на флуктуациях в верхних слоях атмосферы и отражения от приподнятых инверсий.

Таблица 1

H , м	ΔM , N -ед.	$\langle c_s^2 \rangle$, $N_{ед.}^2 / \text{см}^{2/3}$	$\sigma_{c_s^2}$, $N_{ед.}^2 / \text{см}^{2/3}$	D , км	Γ_0 , дБ/км	Γ_1 , дБ/км	Γ_2 , дБ/км	Γ , дБ/км
12	3,56	0,36	0,13	110	0,01	0,6	0,4	0,93
13	3,7	0,36	0,2	80	0,01	0,6	0,2	0,15
10	2,8	0,6	0,4	60	0,05	1,3	0,9	1
10,6	3,4	0,38	0,11	100	0,02	0,7	0,4	0,41
8	2	0,8	0,4	120	0,36	—	—	0,1
4,5	1,45	0,85	0,3	150	0,37	—	—	0,09

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрейлихер В. Д., Фукс И. М. // Изв. вузов. Радиофизика. 1981. Т. 24. № 4. С. 408.
2. Гурвич А. С., Заворотный В. У., Татарский В. И. Труды XIV Всесоюзной конференции по распространению радиоволн. — М: Наука, 1984. Ч. II. С. 130.
3. Кукушкин А. В., Фрейлихер В. Д., Фукс И. М. // Изв. вузов. Радиофизика. 1983. Т. 26. № 9. С. 1064.
4. Смирнов Ю. Н., Иванов В. К., Кошель А. И. Приборостроение. — Киев: Техника, 1983. № 35. С. 58.

Институт радиофизики и электроники
АН УССР

Поступила в редакцию
26 января 1988 г.

УДК 621.374.4:621.391.822.3

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ВЫХОДНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЦДЧ НА АМПЛИТУДУ И ФАЗУ ЕЕ ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ

А. В. Иконников, А. В. Якимов

При рассмотрении импульсных последовательностей на выходе различных логических схем принято считать детерминированными такие параметры этих последовательностей, как скважность, период, амплитуда импульсов. На деле же это не всег-