

В. Ф. ОСИНИН

**ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЙ И СРЕДНЕЙ
НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ АТМОСФЕРНЫХ РАДИОПОМЕХ**

(Представлено академиком Г. И. Марчуком 4 X 1972)

В ⁽¹⁻³⁾ было показано, что для атмосферных радиопомех на частотах < 100 кгц наиболее удобной формулой для аппроксимации экспериментально наблюдаемых кривых распределения вероятностей $P(E)$ является формула

$$P(E) = [1 + (E / E_{50})^q]^{-1}, \quad (1)$$

где E — напряженность поля огибающей радиопомех, E_{50} — медиана распределения, q — параметр, являющийся мерой динамического диапазона флуктуаций атмосферных радиопомех.

Используя (1), можно вычислить \bar{E} и $E_{\text{ср.кв}}$:

$$\bar{E} = \frac{\pi E_{50}}{q \sin(\pi/q)} \quad \text{при } q > 1, \quad (2)$$

$$E_{\text{ср. кв}} = \sqrt{2} E_{50} \left[\int_0^{\infty} \frac{x dx}{1+x^q} \right]^{1/2} = \sqrt{2} E_{50} \left[\frac{\pi}{q \sin \frac{2\pi}{q}} \right]^{1/2} \quad \text{при } q > 2, \quad (3)$$

где \bar{E} , $E_{\text{ср.кв}}$ — соответственно статистически среднее и среднеквадратичное значение огибающей напряженности поля атмосферных радиопомех.

Несобственный интеграл в квадратных скобках является сходящимся при $q > 2$, однако в большинстве случаев в некотором диапазоне, по данным ⁽¹⁻³⁾, $1 < q < 2$, поэтому $E_{\text{ср.кв}}$ нельзя находить из (3).

Для случая, когда $1 < q < 2$, в ⁽¹⁾ приведены значения этого интеграла, вычисленные графически для различных q в предположении, что поле атмосферных радиопомех следует закону (1) в области значений $E \approx \approx 1000 E_{50}$. Здесь необходимо отметить, что в то время, когда появились работы ^(1, 2), поведение функции $P(E)$ при больших E можно было только предполагать, поскольку измерения статистических характеристик радиопомех в СССР проводились на установке АП-28, с помощью которой можно измерить функцию $P(E)$ в пределах $0,02 < P(E) \leq 1$. С практической и научной точек зрения чрезвычайно важным остается вопрос об исследовании поведения поля радиопомех в широком динамическом диапазоне.

В настоящем сообщении приводятся некоторые результаты измерений статистических характеристик огибающей радиопомех в Магадане (декабрь 1969 — январь 1970 г.) на низких частотах в таком динамическом диапазоне, когда функция $P(E)$ заключена в пределах $0 \leq P(E) \leq 1$. Цель таких исследований состояла в том, чтобы показать, в каких пределах поле атмосферных радиопомех подчиняется закону (1), т. е. ответить на вопрос, насколько точны формулы (2), (3) для вычисления \bar{E} и $E_{\text{ср.кв}}$ на частотах, меньших 100 кгц.

Измерения проводились на установке АП-30 при параметрах аппаратуры, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Исследуемые частоты, кгц	12,5	24	35	50
Шумовая полоса приемника, гц	200	285	190	330
Коэффициент передачи кабеля	0,780	0,705	0,700	0,660
Действующая высота антенны, м	2,5	2,5	2,5	2,5

На каждой частоте было проанализировано не менее 20 кривых $P(E)$, в результате чего выяснилось, что интегральные функции распределения вероятностей огибающей на частотах < 100 кгц только в небольшом динамическом диапазоне подчиняются закону (1); при дальнейшем возрастании напряженности поля радиопомех происходит отклонение в поведении функций $P(E)$ от этого закона.

На рис. 1 для указанных частот проведена аппроксимация типичных экспериментальных кривых $P(E)$ по формуле (1) в большом динамическом диапазоне. Здесь используются координаты $y = \lg \frac{P}{1-P}$; $x =$

$= \lg E / E_{50}$, в которых кривая (1) подчиняется линейной зависимости. Из рис. 1 следует, что формулы (2), (3) (за исключением частоты 12,5 кгц для ночного времени) не всегда могут быть использованы для вычисления \bar{E} и $E_{\text{ср.кв}}$ на приведенных частотах, поскольку имеется существенное отличие в поведении экспериментальных кривых $P(E)$ от закона (1).

В частности, в ночное время на частотах 24 и 35 кгц имеется два интервала, в пределах которых q постоянно и принимает значения

$1 < q_1 < 2$ в пределах первого интервала изменения напряженности поля,
 $2 < q_2 < 3$ в пределах второго интервала.

При дальнейшем возрастании E происходит довольно быстрое возрастание q , которое при больших E уходит в бесконечность, что соответствует уменьшению вероятности до нуля.

Для дневного времени на всех рассмотренных нами кривых в диапазоне 12,5–50 кгц, кроме двух интервалов с постоянными значениями ($1 < q_1 < 2, 2 < q_2 < 3$), имеется точка перегиба, проходящая через которую q принимает значения меньше единицы; с дальнейшим ростом напряженности поля q быстро увеличивается и уходит в бесконечность.

Указанное различие в поведении экспериментальных кривых $P(E)$ говорит о том, что поле атмосферных радиопомех в точке приема в разное время суток имеет различную структуру. Это может быть вызвано, с одной стороны, неодинаковыми условиями распространения радиоволн в дневное и ночное время на трассах «очаг грозовой деятельности — Магадан» и, с другой стороны, различными характеристиками грозových разрядов, излучающих радиопомехи.

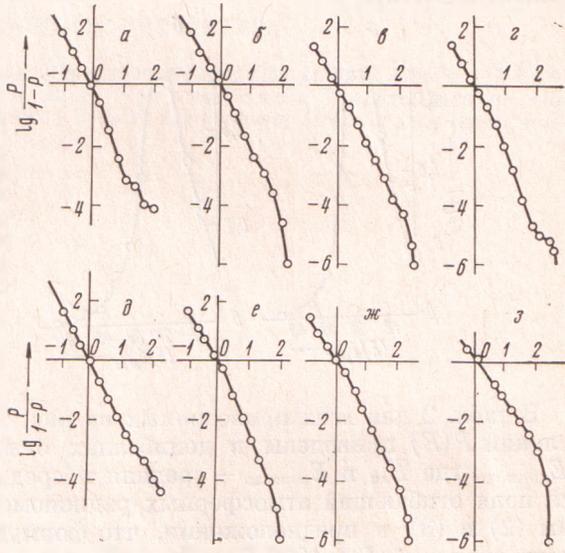


Рис. 1. Аппроксимация экспериментальных значений $P(E)$ по формуле (1). а — г — день; б — д — ночь; а, б — 12,5 кгц, 7 I 1970 г., б, е — 24 кгц, 14 I 1970 г., в, ж — 35 кгц, 23 XII 1969 г., г, з — 50 кгц, 24 XII 1969 г.

Таким образом, формулы для вычисления \bar{E} и $E_{\text{ср.кв}}$ применительно к широкому диапазону измеренных вероятностей ($0 \leq P(E) \leq 1$) принимают вид

$$\bar{E} = \int_0^{\infty} P(E) dE, \quad (4)$$

$$E_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{2} \left[\int_0^{\infty} EP(E) dE \right]^{1/2}, \quad (5)$$

где $P(E)$ — интегральная функция распределения вероятностей огибающей помех.

На рис. 2 для ночного времени (что имеет место для любого времени суток и для всех рассматриваемых частот) показано, что подынтегральная функция $EP(E)$ в выражении (5) является после некоторого возрастания медленно убывающей и при достаточно большом значении E обращается в нуль.

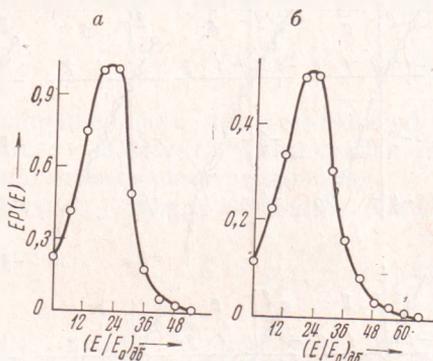


Рис. 2. Зависимость подынтегральной функции выражения (5) от напряженности поля атмосферных радиопомех в ночное время: а — 24 кГц, 14 I 1970 г.; б — 35 кГц, 24 XII 1969 г.; E_0 — условный уровень поля

В табл. 2 для всех приведенных на рис. 1 экспериментальных распределений $P(E)$ приведены в децибеллах отношения $\bar{E}_{\text{ан}} / \bar{E}_{\text{гр}}$ и $E_{\text{ср.кв.ан}} / E_{\text{ср.кв.гр}}$, где $\bar{E}_{\text{ан}}$ и $E_{\text{ср.кв.ан}}$ — средняя и среднеквадратичная напряженности поля огибающей атмосферных радиопомех, вычисленные по формулам (2) и (3) в предположении, что формула (1) удовлетворяется в области значений $E \approx 1000 E_{50}$; $\bar{E}_{\text{гр}}$ и $E_{\text{ср.кв.гр}}$ — то же, вычисленное по фор-

Таблица 2

Частоты, кГц	q		$\bar{E}_{\text{ан}} / \bar{E}_{\text{гр}}$, дБ		$E_{\text{ср.кв.ан}} / E_{\text{ср.кв.гр}}$, дБ	
	день	ночь	день	ночь	день	ночь
12,5	1,90	1,90	-1,24	0,40	3,20	2,30
24	1,69	1,61	1,78	1,77	7,60	11,43
35	1,75	1,55	-0,40	1,54	3,78	9,80
50	1,77	1,39	-3,79	0,55	2,90	5,90

мулам (4) и (5) по измеренным распределениям $P(E)$ в пределах $10^{-6} \leq P(E) \leq 1$. Результаты даны для полосы пропускания, указанной в табл. 1.

Из табл. 2 видно, что $E_{\text{ср.кв.ан}}$ всегда выше $E_{\text{ср.кв.гр}}$. Особенно большое различие между этими величинами наблюдается в ночное время на частотах 24 и 35 кГц и составляет соответственно 11,43; 9,80 дБ, для дневного времени погрешность в определении $E_{\text{ср.кв.ан}}$ значительно меньше. Это объясняется тем, что при больших E кривые $P(E)$ в дневное время приближаются к закону (1). Что касается $\bar{E}_{\text{ан}}$, то для ночного времени оно на всех частотах выше $\bar{E}_{\text{гр}}$, а для дневного ниже (кроме частоты 24 кГц).

Таким образом, в широком динамическом диапазоне напряженности поля атмосферных радиопомех в Магадане закон (1) не может удовлетворительно аппроксимировать экспериментальные кривые $P(E)$ на частотах < 100 кгц (показатель степени q есть некоторая функция напряженности поля, но не параметр, как показано в ⁽¹⁻³⁾), вследствие чего формулы (2), (3) нельзя использовать для определения средней \bar{E} и $E_{ср.кв}$ напряженности поля атмосферных радиопомех. Последние могут быть точно вычислены только путем графического интегрирования по формулам (4), (5) при наличии экспериментальных значений функции $P(E)$ в пределах $0 \leq P(E) \leq 1$. Указанную особенность в поведении поля атмосферных радиопомех в свое время не могли просмотреть авторы работ ⁽¹⁻³⁾ ввиду отсутствия экспериментальных значений $P(E)$ ниже 0,02.

Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
Дальневосточного научного центра Академии наук СССР
Магадан

Поступило
24 VIII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Я. И. Лихтер, Г. И. Терина, Исследование ионосферы, 3, 90 (1960). ² В. И. Бочаров, Г. Х. Желдурбаева, Е. Н. Загательская, Исследования по геомагнетизму и аэронамии, 1966, стр. 69. ³ С. Е. Огурьев, Атмосферное электричество, 1965, стр. 59.