

УДК 621.391.821

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Л. Т. РЕМИЗОВ

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫБРОСОВ  
АТМОСФЕРНЫХ РАДИОПОМЕХ В ДИАПАЗОНАХ С.Д.В. И С.Н.Ч.**

(Представлено академиком Ю. Б. Кобзаревым 4 VI 1971)

Несмотря на обширные исследования характеристик атмосферных помех в различных диапазонах радиоволн, на сверхдлинных волнах (с.д.в.) (1—20 кгц) и на сверхнизких частотах (с.н.ч.) (50—500 гц) недостаточно исследовано распределение вероятностей интенсивности выбросов импульсной компоненты поля при широкополосной его регистрации. Это распределение должно определять статистические свойства показателей интенсивности атмосферных радиопомех при любой ширине полосы частот приема. (Под выбросом здесь подразумевается принятное в теории случайных процессов определение факта пересечения процессом некоторого уровня снизу вверх<sup>(1)</sup>; под интенсивностью выброса поля подразумевается значение максимума его напряженности между двумя последовательными пересечениями заданного уровня.)

Для отдельной реализации длительностью  $T$  импульсного случайного процесса выборочная вероятность  $P(U > E)$  того, что интенсивность выброса  $U$  превысит заданный уровень напряженности поля  $E$ , равна отношению числа выбросов  $n(E)$ , превысивших  $E$ , к общему максимальному числу  $n_m$  выбросов реализации этого процесса, т. е.

$$P(U > E) = n(E) / n_m = v(E) / v_m, \quad (1)$$

где  $v(E) = n(E) / T$ ,  $v_m = n_m / T$  — соответствующие плотности потока импульсов;  $n_m$  — число импульсов, регистрируемое при некотором уровне  $E_m$ , отделяющем импульсию составляющую поля от флюктуационной<sup>(2)</sup> ( $E_m$  выбирается таким, чтобы выбросы флюктуационной составляющей поля превышали его с преубеждением малой вероятностью). При этом считают, что в пределах  $T$  процесс стационарен, согласно некоторому критерию стационарности, эффективному с точки зрения описываемого анализа.

С помощью аппаратуры, состоявшей из вертикальной штыревой антенны, линейных усилителей с полосой пропускания частот 1—20 кгц и 5—500 гц, а также анализатора, представлявшего набор параллельно работавших пороговых элементов со счетчиками, была измерена зависимость  $v(E)$  с разрешающим временем регистрации  $\delta t_1 = 10^{-5}$  или  $\delta t_2 = 1,4 \cdot 10^{-2}$  сек.  $\delta t$  — отрезок времени, в течение которого регистратор после воздействия предыдущего импульса не реагирует на последующий. Это обеспечивало регистрацию в диапазоне с.д.в. при  $\delta t_1$  — всех выбросов, включая внутреннюю структуру атмосфериков, и при  $\delta t_2$  — только тех выбросов, которые заранее создаются различными атмосфериками. Последнее вытекает из данных о распределении интервалов времени между атмосфериками на с.д.в.<sup>(3)</sup>. В диапазоне с.н.ч. регистрация осуществлялась только при  $\delta t_2$ , т. е. регистрировались выбросы, принадлежащие отдельным с.п.ч. атмосферикам.

Анализ полученных результатов измерений показал, что  $v$  как функция  $E$  в относительно больших пределах измерений  $E$  (единицей измерения  $E$  является мв/м) весьма близка к линейной зависимости в координатах  $y = \ln v$ ,  $x = (\ln E)^m$ , причем величина  $m$  заключена в пределах  $1 \leq m \leq 2$ . На рис. 1 представлены примеры результатов измерений  $v(E)$ , когда

величина  $m = 2$ . Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что на с.д.в. значение  $m$  может быть устойчивым в масштабе времени, соизмеримом с сутками.

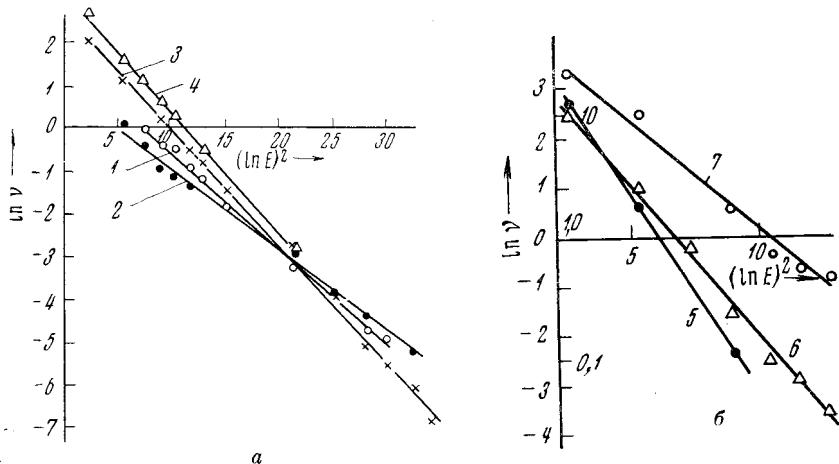


Рис. 1. Результаты измерения зависимости  $v(E)$ : *a* — на с.д.в. ( $\delta t = 1,4 \cdot 10^{-2}$  сек); *b* — на с.л.ч. 1, 2 — пункт 1, февраль 1971 г.; 1 — 13<sup>h</sup>41<sup>m</sup> — 14<sup>h</sup>01<sup>m</sup>, 2 — 15<sup>h</sup>08<sup>m</sup> — 15<sup>h</sup>26<sup>m</sup>; 3—7 — пункт 2, декабрь 1970 г., 3 — 17<sup>h</sup>16<sup>m</sup> — 17<sup>h</sup>40<sup>m</sup>, 4 — 15<sup>h</sup>00<sup>m</sup> — 15<sup>h</sup>16<sup>m</sup>, 5 — 23<sup>h</sup>44<sup>m</sup> — 00<sup>h</sup>44<sup>m</sup>, 6 — 17<sup>h</sup>56<sup>m</sup> — 19<sup>h</sup>56<sup>m</sup>, 7 — 13<sup>h</sup>50<sup>m</sup> — 14<sup>h</sup>50<sup>m</sup>. Пункт 1 расположен в средней полосе, пункт 2 — в тропиках

Анализ зависимостей  $v(E)$ , экспериментально полученных в диапазоне с.д.в. другими авторами (4, 5) (при нескольких иных параметрах аппаратуры и в весьма отличных географических условиях), показал, что эта зависимость аналогична приведенным на рис. 1. На рис. 2 в тех же координатах, что и на рис. 1, построены отдельные экспериментальные зависимости  $v(E)$  по данным (4, 5). В (4) значение  $\delta t$  не указано, однако ввиду применения электромеханических счетчиков, оно, по-видимому, было не менее  $10^{-2}$  сек, а в (5)  $\delta t = 0,16$  мсек. Данные работы (6) свидетельствуют о том, что параметр  $m$  может быть близок к единице (диапазон значений  $E$  в (6) был относительно невелик: от 10 до 100 мв/м).

Линейность зависимости  $\ln v$  от  $(\ln E)^m$  в весьма широком диапазоне значений  $E$  при  $1 \leq m \leq 2$  дает возможность аппроксимировать закон распределения интенсивности выбросов формулой

$$P(U > E) = \frac{v_0}{v_M} \exp [-q(\ln E)^m], \quad (2)$$

где  $q = \frac{\ln v_0/v_M}{(\ln E_M)^m} = \frac{\ln v_M}{(\ln E_0)^m - (\ln E_M)^m} = \frac{\ln v_0}{\ln E_0}$  — тангенс угла наклона прямой в координатах  $(\ln v)$ ,  $(\ln E)^m$  (можно использовать любое из трех указанных определений  $q$ );  $E$  — напряженность поля в определенных единицах измерения (в данном случае в мв/м);  $v_0$  — параметр, имеющий на с.д.в. размерность плотности потока в  $\text{сек}^{-1}$  и получаемый из зависимости  $v(E)$  (рис. 1) как ордината при  $E = 1$  мв/м;  $E_0$  — напряженность поля  $E$ , при которой  $v = 1$  сек<sup>-1</sup>. Параметры  $v_M$  и  $E_M$  определены выше.

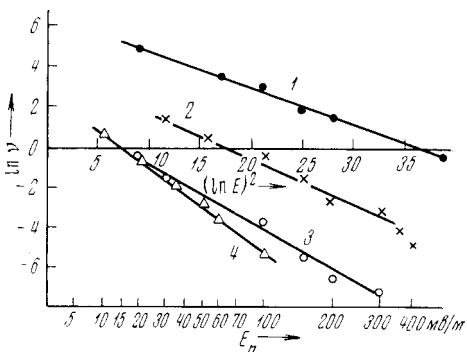


Рис. 2. Зависимость  $v(E)$  на с.д.в. по данным работ (4, 5). 1 — Брайтон, Колорадо, май 1960 г. (5), 2—4 — ноябрь 1958 г., 6<sup>h</sup>00<sup>m</sup> — 12<sup>h</sup>00<sup>m</sup> (4); 2 — Ньюфаундленд, 3 — Туле, Гренландия, 4 — Фэрбрэнкс, Аляска

Из приведенных на рис. 1, 2 данных следует, что на с.д.в.  $q = 0,2 - 0,35$  (единицей измерения  $v$  является  $\text{сек}^{-1}$ ) и на с.н.ч.  $q = 0,5 - 0,9$  (единицей измерения  $v$  является  $\text{мин}^{-1}$ ). Величина  $E_m$  для с.д.в. имеет порядок 5 мВ/м.

Следует отметить, что приведенные зависимости (рис. 1) получаются при одновременной (параллельной) регистрации  $v$  на ряде пороговых уровней. При последовательной во времени (неодновременной) регистрации  $v$  на разных порогах нестационарность потока помех<sup>(7)</sup> может привести к искажению результатов.

В диапазоне с.д.в. при переходе от  $\delta t_2$  к  $\delta t_1$  в случае  $m = 2$  параметр  $q$  заметно увеличивается.

Плотность вероятностей  $W(E)$ , получаемую из (2), можно представить в виде произведения двух сомножителей

$$W(E) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{v_0}{v_M} \frac{m (\ln E)^{m-1}}{\sigma} F(E) \quad (3)$$

где

$$F(E) = \frac{1}{E\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(\ln E)^m}{2\sigma^2} \right]; \quad \sigma = \frac{1}{\sqrt{2}q}. \quad (4)$$

В случае  $m = 2$  функция  $F(E)$  — логарифмически нормальный закон распределения вероятностей, который, как известно, играет существенную роль в описании свойств атмосферных разрядов, в частности он используется для описания статистических свойств токов разряда в отдельном грозовом источнике, а также для аппроксимации распределения амплитуды огибающей помех при узкополосном приеме. Из (3) следует, что в полученный опытным путем закон распределения выбросов помех при  $m = 2$  логарифмически нормальный закон входит лишь множителем. Кроме того, параметр  $m$  не всегда равен 2. Поэтому этот закон не всегда и не при всех условиях позволял описать статистические свойства атмосферных помех<sup>(8)</sup>.

Автор считает своим долгом выразить благодарность акад. Ю. Б. Кобзареву и М. С. Александрову за обсуждение работы и высказанные замечания, а также Д. Бердейянсу, Р. Хименесу, Б. Лазо и А. В. Потапову за помощь при эксперименте.

Институт радиотехники и электроники  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
20 IV 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. И. Бунимович, Флюктуационные процессы в радиоприемных устройствах, М., 1951.
- <sup>2</sup> Л. Т. Ремизов, Тр. II Всесоюзн. симпозиума. Методы представления и аппаратурный анализ случайных процессов и полей, 1, Новосибирск, 1969, стр. 165.
- <sup>3</sup> Л. Т. Ремизов, А. В. Потапов, В. Р. Вихрь, Радиотехника и электроника, 12, № 4, 706 (1967).
- <sup>4</sup> A. L. Whitson, Propagation of Radio Waves on Frequencies Below 300 kc/s, 1964, p. 191.
- <sup>5</sup> R. F. Linfield, C. A. Samson, Proc. IRE, 50, № 8, 1841 (1962).
- <sup>6</sup> С. Е. Огуряев, Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова, в. 188, 24 (1966).
- <sup>7</sup> L. T. Remizov, V. R. Vichrov, A. V. Potapov, Proc. IEE, 117 № 5, 894 (1970).
- <sup>8</sup> G. Foldes, Statistical Methods of Radio Wave Propagation, Oxford, 1960, p. 227.