Доклады Академии наук СССР
1974. Том 215, № 1

УДК 621.391.821 *ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА*

Л. Т. РЕМИЗОВ

ГРУППОВАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКА ИМПУЛЬСОВ АТМОСФЕРНЫХ РАДИОПОМЕХ В ДИАПАЗОНЕ СВЕРХДЛИННЫХ ВОЛН

(Представлено академиком Ю. Б. Кобзаревым 27 IX 1972)

В области изучения статистических свойств атмосферных радиопомех попытки охарактеризовать поведение потока атмосфериков во времени ограничивались получением экспериментальных данных, вскрывавших ряд общих свойств потока без достаточного его аналитического описания ([1]). В настоящей работе рассматривается статистическая модель потока атмосфериков, регистрируемых в диапазоне сверхдлинных волн (с.д.в.).

Ряд работ в области физики атмосферного электричества свидетельствует о групповом характере следования атмосфериков во времени: наличие

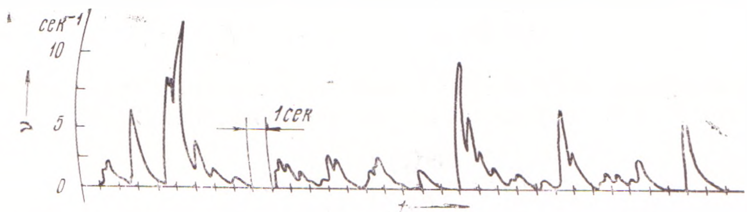

Рис. 1. Изменение во времени интенсивности потока (умеренная зона, 20 V 1972, 17^h30^m моск. времени, E=100 мв/м)

повторных обратных разрядов молний ([2], [3]), группировка внутриоблачных разрядов типа K-изменений ([3], [4]), неравномерный ход во времени накопления зарядов грозовых облаков ([3]), неравномерный характер изменения интенсивности поля радиопомех ([5]). Перечисленные факты послужили основой для постановки прямых экспериментов по изучению и количественному описанию групповой структуры потока атмосфериков. В этом эксперименте величина, пропорциональная интенсивности потока атмосфериков, записывалась в аналоговой форме как случайный процесс с разрешающим временем записи, соизмеримым с наименьшей длительностью «уплотнений» потока, равной около 0,5—1 сек. При этом регистрация поля радиопомех осуществлялась с помощью антенны в виде вертикального штыря линейным приемником с полосой частот от 1 до 20 кгц (с аппаратурой типа описанной в работе ([6])). Инерционность повторного срабатывания порогового устройства $\delta\tau$ была выбрана, согласно данным ([7]), равной 1 мсек. или более, что обеспечивало регистрацию отдельных атмосфериков. Полученные записи процесса $\nu(t)$ (рис. 1) интерпретировались как случайные последовательности уплотнений потока, которые можно рассматривать как группы атмосфериков. Количественный анализ достаточно большого числа таких записей показал, что интервалы между группами имеют в основном экспоненциальное распределение. Анализ внутригрупповой структуры потока по фоторегистрациям помех на шлейфовом осциллографе Н-102 показал, что и внутри групп интервалы между атмосфериками также имеют близкое к экспоненциальному распределение. Результаты этих экспериментов послужили основанием для выбора в качестве модели потока атмосфериков при широкополосном приеме на с.д.в. пуассоновского потока групп с пуассоновским внутригрупповым потоком. Подобная структура потока импульсов помех ранее применялась для расчета характеристик интенсивности поля помех при узкополосном приеме, однако при этом не исследовалось согласие модели с реальным потоком ([8]).

В рассматриваемом случае удобным аппаратом описания статистических свойств потока может быть теория случайных точек, развитая И. А. Большаковым ([9]). Для пуассоновского потока групп с общегрупповой интенсивностью потока (и.п.) $\mu(t)$ при пуассоновском потоке внутригрупповых точек с и.п. $\lambda_0(\tau)$ производящий функционал (п.фл.) равен ([9])

$$L[U]=\exp\int_t \mu(t)\left[\exp\int_\tau \lambda_0(\tau|t)U(\tau)d\tau-1\right]dt, \tag{1}$$

где $\lambda_0(\tau|t)$ — условная и.п. внутригруппового потока, $U(\tau)$ — произвольная функция (согласно определению п.фл.).

Производящая функция (п.ф.) получается из (1) как $\Theta(z)=L[z-1]$ и равна

$$\Theta(z)=\exp\{\mu[\exp(\lambda_0\tau_0(z-1))-1]\} \tag{2}$$

в предположении, что обще- и внутригрупповые потоки стационарны, т. е. $\mu(t)=\mu$, $\lambda_0(\tau|t)=\lambda_0(\tau-t)=\lambda_0$, а τ_0 — средняя длительность группы.

Параметр относительного разброса потока для этой модели

$$\gamma=\sigma^2/\langle n\rangle=1+(F_2-F_1^2)/F_1, \tag{3}$$

где σ^2 — дисперсия, $\langle n\rangle$ — среднее число неразличимых точек в интервале t, а параметры F_1 и F_2 получаются дифференцированием (2) ([9])

$$F_1=\left.\frac{d\Theta(z)}{dz}\right|_{z=1}=\mu t\lambda_0\tau_0, \tag{4}$$

$$F_2=\left.\frac{d^2\Theta(z)}{dz^2}\right|_{z=1}=\mu t(\lambda_0\tau_0)^2+(\mu t\lambda_0\tau_0)^2, \tag{5}$$

где

$$\mu\lambda_0\tau_0=\bar{\nu} \tag{6}$$

интенсивность общего потока,

$$\lambda_0\tau_0=m \tag{7}$$

среднее число точек в группе.

Распределение вероятностей $P(n, t)$ числа точек в интервале для этой модели, получаемое последовательным дифференцированием п.ф. $P(n,t)=$ $=\left.\dfrac{1}{n}\dfrac{d^n\Theta(z)}{dz^n}\right|_{z=0}$, после ряда преобразований выражается рекуррентной формулой

$$P(n,t)=\frac{m\mu te^{-m}}{n}\sum_{i=0}^{n-1}\frac{P(n-1-i,t)}{i!}m^i, \tag{8}$$

где $P(0, t)=\exp[-\mu t(1-e^{-m})]$.

Оценка соответствия этой модели экспериментальным данным осуществлялась следующим образом. Для полученных экспериментально образцов последовательности из 200 значений и.п. $\nu=n/t$ на равных интервалах времени t (методом, описанным в ([1])) на ЭВМ определялись эмпирические распределения вероятностей и.п. $W_э(\nu, t)=tP_э(n, t)$ ([1]) и эмпирические значения параметров $\bar{\nu}$ (средняя и.п.) и γ. Сначала по найденным из опыта $\bar{\nu}$ и γ находились параметры модели m и μ, определяемые из (3)–(7) как

$$m=\gamma-1, \quad \mu=\bar{\nu}/m. \tag{9}$$

Далее, полученные значения m и μ использовались в (8) для расчета распределения $W(\nu, t)=tP(n, t)$, которые сравнивались с эмпирическими. При сопоставлении теоретических распределений с экспериментальными были использованы результаты подобной обработки 90 образцов регистрации потока, из которых 40 были получены в тропической зоне в зимнее время (при $\delta\tau=1$ и 14 мсек. в полосе приема 1–20 кгц) и 50 — в умеренной зоне

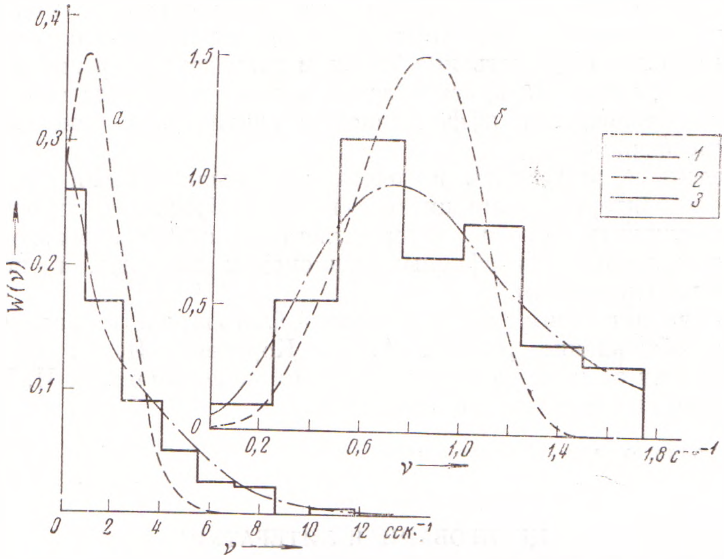

Рис. 2. Сравнение теоретических и экспериментальных распределений вероятностей интенсивности потока импульсов атмосферных помех: 1 — экспериментальные распределения, 2 — теоретические, 3 – простое пуассоновское распределение. *а* – умеренная зона, 21 V 1972, 17^h00^m моск. времени, $\bar{\nu}=2{,}14$ сек$^{-1}$, $E=200$ мв/м, $t=0{,}64$ сек, $m=1{,}1$, $\mu=1{,}9$ сек$^{-1}$; *б* – тропическая зона, 16 XII 1970, 9^h15^m местн. времени, $\bar{\nu}=0{,}85$ сек$^{-1}$, $E=20$ мв/м, $t=10$ сек, $m=0{,}97$, $\mu=0{,}88$ сек$^{-1}$

(в другой части земного шара) в летнее время (при $\delta\tau=1$ мсек. и полосе приема 2–18 кгц). Все образцы относились к регистрации потока на порогах чувствительности E от 20 до 500 мв/м, а значения $\bar{\nu}$ на разных порогах были в пределах от 0,1 до 80 сек$^{-1}$. Оказалось, что в 90% случаев рассмотренная модель удовлетворительно согласуется * с экспериментальными результатами, независимо от величины $\bar{\nu}$, в то время как простая пуассоновская модель согласовывалась с опытными данными лишь при $\bar{\nu}\leqslant 0{,}1$ сек.

Примеры, относящиеся к случаям удовлетворительного согласия модели с опытом, приводятся на рис. 2 вместе с кривыми простых пуассоновских распределений $W(\nu, t)=t\dfrac{\bar{\nu}t}{n!}e^{-\bar{\nu}t}$ для соответствующих экспериментальных значений $\bar{\nu}$. Случаи расхождения теоретических и экспериментальных данных для рассмотренной модели можно объяснить, по-видимому, влиянием нестационарности реального потока атмосфериков ([10]).

Количественным показателем отличия рассмотренной модели от пуассоновской является величина $\gamma=1+m$ из (3)–(7), которая при пуассонов-

* По критерию χ^2 с уровнем значимости 0,05.

ском потоке равна единице. Это означает, что простая пуассоновская модель близка к рассмотренной модели при $m \ll 1$, что как раз имеет место при малых потоках.

Рассмотренная модель была усложнена для случая, когда импульсы атмосфериков регистрируются с разрешением их внутренней структуры. Для описания такого потока была использована эта же модель, но с той разницей, что внутригрупповой поток полагался пуассоновским потоком кратных точек с кратностью K, равной среднему числу квазиполупериодов в атмосферике. Для этой модели обнаружено удовлетворительное согласие расчетных и опытных значений γ при регистрации потока с $\delta\tau=10$ μсек. ([1]).

Изложенное позволяет заключить, что рассмотренная модель может быть использована для оценочных расчетов характеристик потока атмосфериков на с.д.в. в существенно большем диапазоне значений интенсивности потока, чем простая пуассоновская модель, а аппарат теории случайных точек обеспечивает эффективное аналитическое описание свойств потока атмосфериков.

Приведенные результаты в сочетании с выявленными ранее вероятностными характеристиками интенсивности выбросов атмосферных помех ([6]) могут служить основой количественного статистического описания свойств импульсных атмосферных радиопомех на с.д.в. в показателях времени и интенсивности.

Автор считает своим долгом выразить благодарность акад. Ю. В. Кобзареву за обсуждение работы, А. Н. Королеву, И. Г. Выскребцову, А. В. Потапову за помощь при проведении эксперимента и И. В. Олейниковой за проведение вычислений на ЭВМ.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР
Москва

Поступило
26 IX 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] *Л. Т. Ремизов, И. В. Олейникова и др.*, Радиотехника и электроника, т. 16, № 1, 1191 (1971). [2] *Б. Шонланд*, Полет молнии, М., 1970. [3] *D. Llanwyn Jones*, Atmospherics, Conference on M.F.L.F. and V.L.F. Radio Propagation, Nov. 1967, London, p. 204. [4] *J. Galejs*, J. Geophys. Res., v. 72, № 11, June 1, 2943 (1967). [5] Atmospheric Radio Noise Interference to Data Communication in Band 5 (LF) Intropical Latitudes, Doc. VI/172–E, Feb. 5, CCIR, 1969. [6] *Л. Т. Ремизов*, ДАН, т. 202, № 6, 1308 (1972). [7] *R. F. Linfield, C. A. Samson*, Proc. IRE, v. 50, № 8, 1841 (1962). [8] *K. Furutsu, T. Ishida*, J. Radio Res. Lab., v. 7, № 32, 279 (1960). [9] *И. А. Большаков*, Статистические проблемы выделения потока сигналов из шума, М., 1969. [10] *L. T. Remizov, V. R. Vichrov, A. V. Potapov*, Proc. IEE, v. 117, № 5, 894 (1970).