



# Приборы, информационно-измерительные системы

УДК 550.388.2

*С.Ф. Четвериков*

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СУТОЧНО-СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ОНЧ РАДИОШУМА**

*S.F. Chetverikov*

### **USING THE INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM TO STUDY STATISTICAL CHARACTERISTICS AND DAILY AND SEASONAL VARIATION IN THE INTENSITY OF VLF ATMOSPHERIC RADIO NOISE**

Рассмотрены и изучены физические условия происхождения, статистические свойства и суточно-сезонные вариации естественных радишумов ОНЧ диапазона. Приведены основные закономерности суточного хода огибающей напряженности поля атмосферных радиопомех. Описано функционирование измерительно-вычислительной системы.

**ГРОЗОВЫЕ РАЗРЯДЫ; АТМОСФЕРНЫЕ РАДИОШУМЫ; СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА; СУТОЧНО-СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ; ОБОБЩАЮЩАЯ ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ; АТМОСФЕРИК.**

This paper discusses physical conditions of the origin of VLF Atmospheric Radio Noise, summarizes its statistical characteristics and daily and seasonal variation in its intensity. It also examines general regularities in the diurnal variation of the envelope of Atmospheric Radio Noise field strength and describe the information and measurement system operates.

**LIGHTNING DISCHARGES; ATMOSPHERIC RADIO NOISE; STATISTICAL CHARACTERISTICS; DAILY AND SEASONAL VARIATION; GENERALIZED EMPIRICAL MODEL; ATMOSPHERIC.**

Известно, что основным источником естественных очень низкочастотных (ОНЧ) радишумов (частоты 3÷30 кГц) являются грозные разряды, число которых на земле в течение суток колеблется от 80 до 120 в единицу времени [1].

Радиоволны, излученные в моменты грозных разрядов, занимают широкий спектр частот (от долей герц до десятков мегагерц). При этом основную долю разрядов составляют вертикальные (между облаками и землей и между близлежащими облаками), т. е. излучаются радиоволны в основном с вертикальной составляющей

$E_z$  электрической компоненты электромагнитного поля. Излученные радишумы представляют собой в точке приема пуассоновский поток со случайными моментами прихода радиоимпульсов, их амплитудами и длительностями. Накладываясь друг на друга, при узкополосном приеме они формируют функцию распределения, которая подчиняется нормальному закону при малых пороговых уровнях поля, куда поступает основная часть импульсов, и переходит в чисто пуассоновский поток при высоких пороговых уровнях поля, где каждый импульс принимается отдельно. Это легко ви-

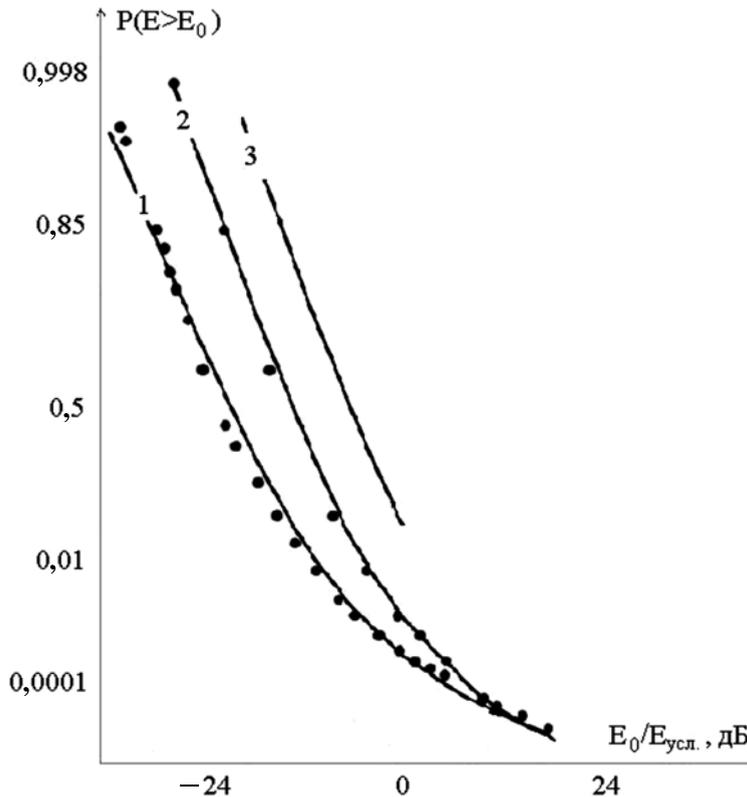


Рис. 1. Измеренная (.....) и рассчитанная (—) интегральные функции распределения для атмосферного радишума (1), (2) и нормального узкополосного шума (3)

деть из поведения функции распределения вероятностей огибающей напряженности поля  $P(E > E_0)$ , представленной на рис. 1.

### Экспериментальная часть

Функция распределения важна при оценке помехоустойчивости радиосистем в присутствии неустраняемых импульсных грозных разрядов. Однако важно подчеркнуть, что условия приема в точке регистрации определяются не абсолютным значением интенсивности полезного сигнала, а его отношением к интенсивности шума. Поэтому возникает практическая необходимость в исследовании среднего уровня радишумов естественной природы.

На рис. 2 а для города Магадан [2] представлены в условных единицах суточно-сезонные изменения медианного уровня  $E_{50}$  атмосферных радиопомех для зимы, весны и лета на частоте приема 12,5 кГц при полосе пропускания 200 Гц.

Как видно из рис. 2, основные зако-

номерности в форме суточного хода огибающей напряженности поля атмосферных радиопомех следующие:

- 1) максимальная интенсивность шума летом, а минимальная — зимой;
- 2) в летнее время имеется глубокий минимум, приходящийся на 14 ч 30 мин местного времени.

Исследования проводились с помощью измерительно-вычислительного комплекса, представленного на рис. 3.

Интересно отметить, что измерения естественных радишумов очень низкочастотного диапазона в одно и то же время проводились как на штыревую антенну, так и на магнитную антенну, пермалловый стержень которой был ориентирован в направлении север-юг. Диаграмма направленности этой антенны по электрической составляющей принимаемого сигнала в горизонтальной плоскости представляла восьмерку, а по пространству — тороид со стянутым в точку центральным отверстием,

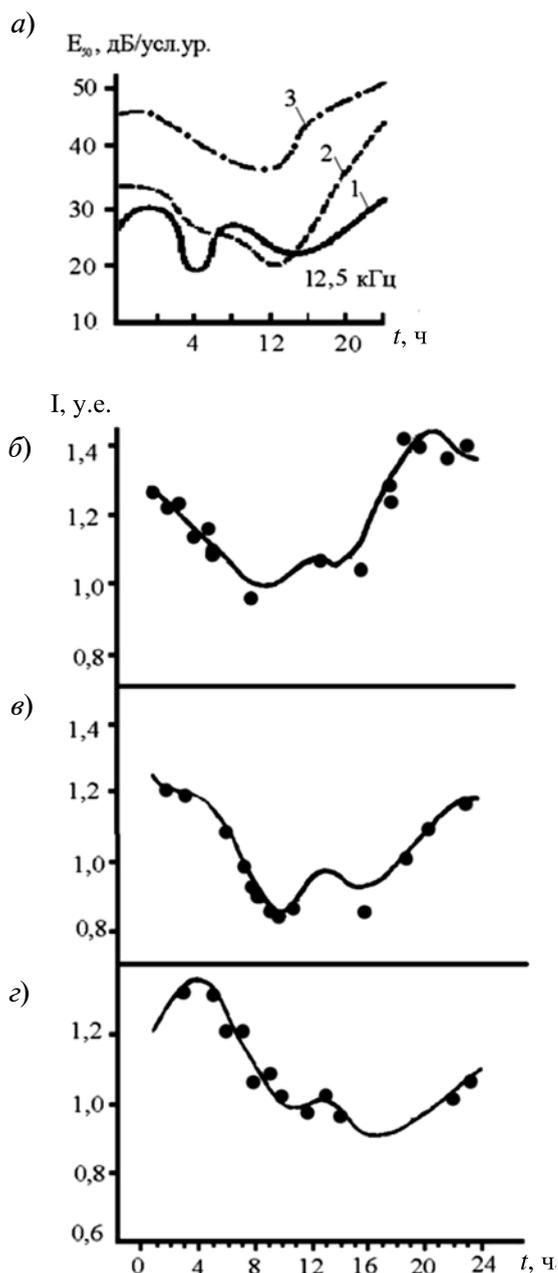


Рис. 2. Сезонно-суточные изменения медианного уровня  $E_{50}$  огибающей атмосферных радиопомех в Магадане (а), усредненный суточный ход очень низкочастотного регулярно шумового фона ( $I$ , у. е.) в магнитоспокойные периоды летом (б), в равноденствие (в) и зимой (з)

половина которого находилась на поверхности Земли с максимумом диаграммы направленности в меридиальной плоскости, рассекающей тороид в направлении запад-восток.

На рис. 2 [4] представлена усредненная интенсивность суточного хода очень низкочастотного регулярно шумового фона (ОНЧ РШФ) в магнитоспокойные периоды для лета (б), равноденствия (в) и зимы (з). Отметим, что установка на рис. 3 соответствует по своим параметрам аппаратному комплексу, применяемому для этих целей в материалах Отчета № 322 Международного консультативного комитета по радиосвязи (МККР) [3]. Сигнал принимается на штыревую антенну длиной 5 м, подключенную через антенный усилитель с полосой пропускания 3–150 кГц к узкополосному приемнику. Далее сигнал поступает на статистический анализатор и передает информацию об измеренном напряжении случайного процесса в полосе частот 30 кГц и количестве превышений огибающей случайного процесса для определенных конкретными условиями пороговых уровней анализатора на аналого-цифровой преобразователь ЭВМ, что позволяет исследовать статистические свойства естественного ОНЧ радишума по разработанным алгоритмам.

Для описания статистических свойств амплитудных шумов с помощью дополнительной интегральной функции распределения вероятностей используется обобщающая эмпирическая модель (ОЭМ) [5]:

$$P(E) = \begin{cases} \left[ 1 + \left( \frac{E_0}{E_{50q1}} \right)^{q_1} \right]^{-1}, & 0 \leq E_0 \leq E'_0 \\ \left[ 1 + \left( \frac{E_0}{E_{50q2}} \right)^{q_2} \right]^{-1}, & E'_0 \leq E_0 \leq \infty, \end{cases} \quad (1)$$

где  $E$  — напряжение огибающей поля атмосферного радишума;  $E_0$  — некоторый пороговый уровень напряженности поля;  $q_1, q_2, b, E'_0$  — некоторые параметры модели, причем  $q_2 > q_1$ .

В данной работе предложен алгоритм (рис. 4) расчета статистических амплитудных распределений вероятностей превышения порогового уровня для атмосферного узкополосного шума: 1 — ввод количества пороговых уровней  $i$ ; 2 — цикл от 1 до  $k$  с шагом 1; 3 — массивы распределения плот-

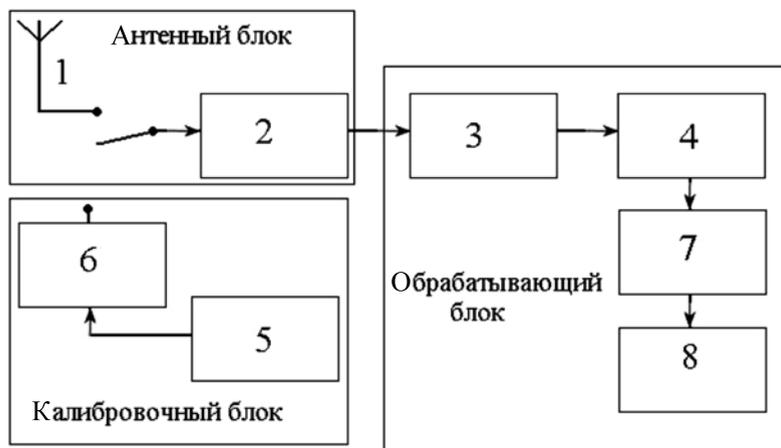


Рис. 3. Измерительно-вычислительный комплекс для исследования статистических свойств атмосферных радишумов:

- 1 – штыревая антенна; 2 – антенный усилитель; 3 – узкополосный приемник;  
4 – статистический анализатор; 5 – калибровочный генератор нормального шума;  
6 – эквивалент антенны; 7 – АЦП; 8 – ЭВМ

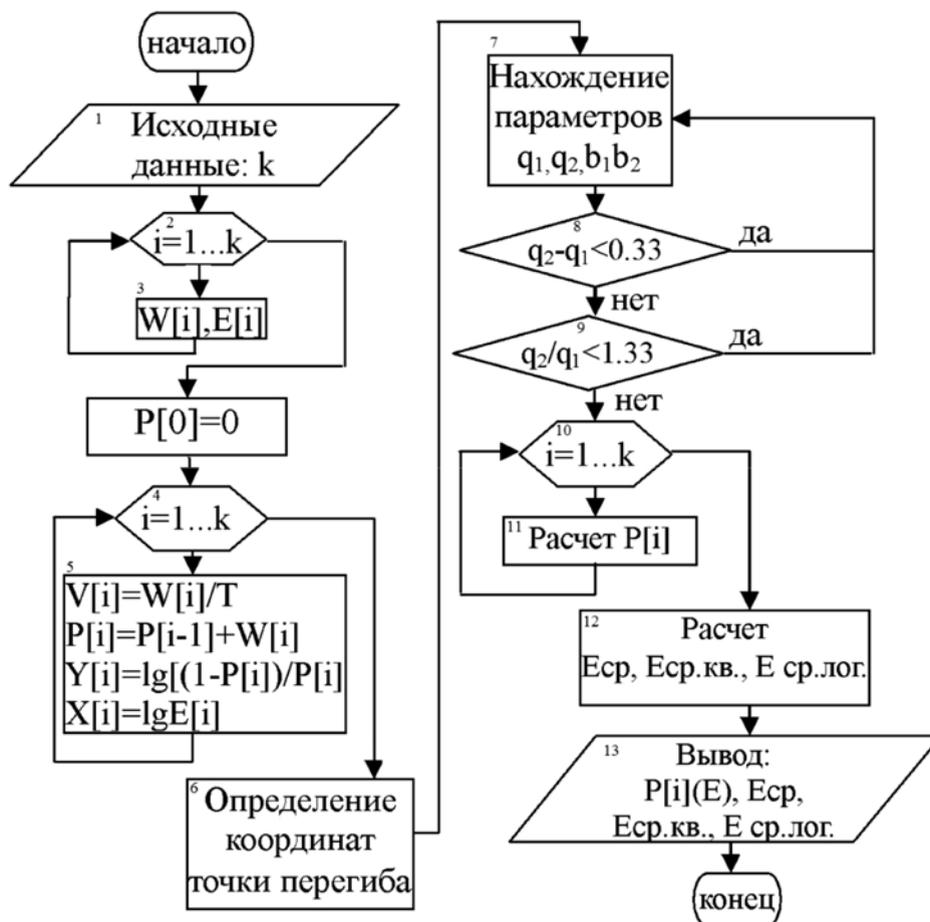


Рис. 4. Алгоритм расчета распределения вероятностей по ОЭМ

ности вероятностей  $W_i$  огибающей превышения напряженности  $E_i$  каждого порогового уровня  $i$ ; 4 – цикл от 1 до  $k$  с шагом 1; 5 – расчет распределения вероятностей  $P_i$  огибающей, пересчет распределения вероятностей в необходимую систему координат; 6 – определение координат точки перегиба; 7 – нахождение параметров  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , с помощью двух прямых аппроксимирующих распределения вероятностей; 8, 9 – проверка условий на описание распределения вероятностей; 10 – цикл от 1 до  $k$  с шагом 1; 11 – расчет распределения вероятностей по ОЭМ; 12 – расчет статистических параметров  $E$  ср.,  $E$  ср. кв. и  $E$  ср. лог.; 13 – вывод функции вероятно-

стей огибающей и среднего, среднеквадратичного и среднелогарифмического значений напряженности поля.

Для представления статистических свойств узкополосных радишумов грозового происхождения в работе [5] предложена ОЭМ, хорошо описывающая экспериментальные результаты (см. рис. 1) в диапазоне частот от 3 кГц до 10 МГц. Плюсом ОЭМ является возможность описания поля атмосферных помех как в присутствии, так и в отсутствии близких гроз, что позволяет широко использовать данную модель для практического применения [3, 4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Watt A.D., Maxwell E.L.** Measured statistical characteristics of VLF atmospheric noise // *Proc. JRE*, 1957. Vol. 45. Pp. 55–62.

2. **Осинин В.Ф., Осинин И.В., Подлесных Д.А., Шарапов С.И.** Методика и некоторые результаты исследований статистических свойств естественных ОНЧ радиополей в центральном Черноземье // *Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: Межвузовский сб.* Липецк: Изд-во ЛГПУ, 2006. Вып. 9. Т. 2. С. 46–54.

3. **Осинин В.Ф.** Статистические характеристики атмосферных радиопомех в Магадане // *Геофизические явления верхней атмосферы и земной коры. Труды СВКНИИ ДВНЦ АН СССР.* Магадан, 1973. Вып. 47. С. 28–39.

4. World distribution and characteristics of atmospheric radio noise // 10th Plenary Assembly, Int. Telecommun. Union. Int. Rad. Consult. Comm. Geneva, 1964. Report 322.

5. **Горшков Ю.Н.** О связи ОНЧ регулярного шумового фона с ионосферой и магнитной активностью // *Геофизические явления верхней атмосферы и земной коры. Труды СВКНИИ ДВНЦ АН СССР.* Магадан, 1973. Вып. 47. С. 59–66.

6. **Осинин В.Ф., Четвериков С.Ф., Шарапов С.И., Гамова Л.Г., Коваленко И.А.** Математическая модель представления функции распределения атмосферного радишума // *Вести высших учебных заведений Черноземья.* Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2013. № 2. С. 52–59.

#### REFERENCES

1. **Watt A.D., Maxwell E.L.** Measured statistical characteristics of VLF atmospheric noise. *Proc. JRE*, 1957, Vol. 45, Pp. 55–62.

2. **Osinin V.F., Osinin I.V., Podlesnykh D.A., Sharapov S.I.** Metodika i nekotorye rezul'taty issledovaniy statisticheskikh svoystv estestvennykh ONCh radiopolei v tsentral'nom Chernozem'e, *Informatsionnye tekhnologii v protsesse podgotovki sovremennogo spetsialista: Mezhvuzovskii sbornik.* Lipetsk: LGPU Publ., 2006, Vol. 9-2, Pp. 46–54. (rus)

3. **Osinin V.F.** Statisticheskie kharakteristiki atmosferykh radiopomekh v Magadane, *Geofizicheskie iavleniia verkhnei atmosfery i zemnoi kory. Trudi SVKNII DVNTs AN SSSR.* Magadan, 1973, Vol. 47, Pp. 28–39. (rus)

4. World distribution and characteristics of atmospheric radio noise, *10th Plenary Assembly, Int. Telecommun. Union. Int. Rad. Consult. Comm. Geneva*, 1964, Report 322.

5. **Gorshkov Yu. N.** O sviazi ONCh reguliarnogo shumovogo fona s ionosferoi i magnitnoi aktivnost'iu, *Geofizicheskie iavleniia verkhnei atmosfery i zemnoi kory. Trudi SVKNII DVNTs AN SSSR.* Magadan, 1973, Vol. 47, Pp. 59–66. (rus)

6. **Osinin V.F., Chetverikov S.F., Sharapov S.I., Gamova L.G., Kovalenko I.A.** Matematicheskaia model' predstavleniia funktsii raspredeleniia atmosfernogo radioshuma, *Vesti vysshikh uchebnykh zavedenii Chernozem'ia.* Lipetsk: LGTU Publ., 2013, No. 2, Pp. 52–59. (rus)

**ЧЕТВЕРИКОВ Сергей Федорович** – аспирант кафедры физики и биомедицинской техники Липецкого государственного технического университета.

398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30.

E-mail: tschetserg@yandex.ru

**CHETVERIKOV, Sergey F.** *Lipetsk State Technical University.*

398600, Moskovskaya Str. 30, Lipetsk, Russia.

E-mail: tschetserg@yandex.ru