

Краткие сообщения и письма в редакцию

УДК 547.821:66.094.137

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОНОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
ДОПЛЕРОВСКОЙ ЧАСТОТЫ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН
В ДИАПАЗОНЕ ПЕРИОДОВ ОТ 1 ДО 200 сЭ. Б. Андабаев, В. М. Краснов, Г. М. Пеленицын,
О. Е. Рясков, Н. М. Салихов

В процессе разработки и эксплуатации ряда новейших радиотехнических систем КВ диапазона для реализации методов оптимального приема сигнала необходимы сведения о статистических характеристиках фоновых колебаний доплеровской частоты в диапазоне периодов от 1 до 200 с.

В данном сообщении приводятся результаты экспериментальных исследований в течение 1987 - 1989 гг. на трассе Фрунзе - Томск (дальность 1700 км) на частотах 10; 16,5; 21 и 24,7 МГц и на частотах 2,8; 3; 7,56; 7,7; 9,6; 9,8; 10,1; 14,1; 16,5 МГц на ряде других трасс протяженностью от 130 до 770 км. Все изменения проводились в дневное время. Всего проанализированы данные за 120 дней. Длительность каждого сеанса записи порядка 3 часов. Аппаратура и методика измерений доплеровской частоты ($f_d(t)$) описаны в [1]. Запись сигналов во всех экспериментах проводилась на магнитную ленту, затем через АЦП вводилась в ЭВМ и сохранялась на диске. При вводе данные подвергались фильтрации: с помощью фильтров убирались колебания $f_d(t)$ с периодами меньше 1 с и больше 200 с. С помощью ЭВМ рассчитывались следующие статистические характеристики колебаний $f_d(t)$: время корреляции τ_0 , функция распределения $W(f_d)$ и спектры мощности.

Время корреляции τ_0 определялось по первому пересечению нуля автокорреляционной функцией. Для автокорреляционной функции $R(\tau)$ характерен резкий спад $R(\tau)$ вначале с последующими колебаниями малой амплитуды.

Общими закономерностями для времени корреляции является увеличение ее длительности с частотой. Для примера на рис. 1а представлен график изменения времени корреляции τ_0 в зависимости от частоты сигнала на радиотрассе Фрунзе - Томск (кривая получена при усреднении данных за четыре дня). Из графика видно, что увеличение частоты сигнала с 10 до 24 МГц приводит к росту времени корреляции с 6 до 65 с.

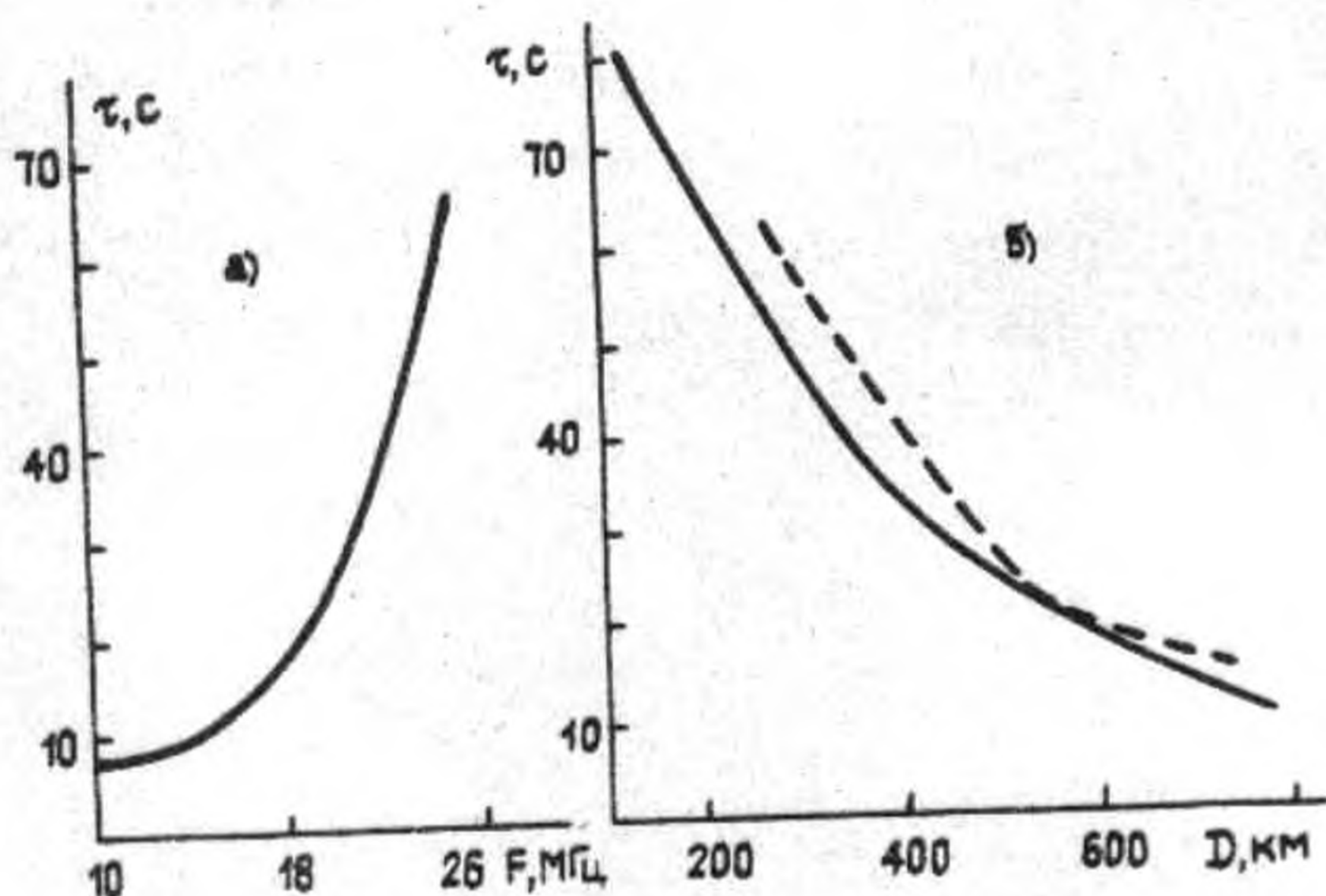


Рис. 1.

Изменение времени корреляции:

- а) - от частоты сигнала на радиотрассе Фрунзе - Томск,
 б) - от длины радиотрассы на фиксированных частотах. Сплошная линия - 7,8 МГц, пунктирная линия 9,6 МГц

Пример экспериментальной зависимости времени корреляции от длины радиотрассы на фиксированных частотах показан на рис. 1б. Из графика видно, что с увеличением длины трассы от 130 до 770 км на частоте 7,8 МГц время корреляции уменьшается с 78 до 10 с.

Вид функции распределения определялся только для стационарных сеансов. Согласно [2] случайный процесс $X(t)$ называется стационарным в узком смысле, если его плотности вероятности $W_n(X_1, \dots, X_n, t_1, \dots, t_n)$ произвольного порядка n не меняются при любом сдвиге всей группы точек t_1, \dots, t_n вдоль оси времени, т.е. если при любых n и t_0 справедливо равенство

$$W_n(X_1, \dots, X_n, t_1, \dots, t_n) = W_n(X_1, \dots, X_n, t - t_0, \dots, t_n - t_0).$$

Это означает, что стационарный процесс ведет себя однородно во времени.

Поиск интервалов стационарности проводился в интервале времени

8,5 мин. Проверка на стационарность сигналов осуществлялась следующим способом. Все реализации делились на интервалы по 8,5 минут. Затем по каждой половинке реализации вычислялась плотность вероятности $W(f_d)$ и с помощью критерия согласия Пирсона [3] проверялась их согласованность друг с другом. В случаях совпадений функций распределения анализируемый интервал считался стационарным. Всего выявлено 120 стационарных участков записи из общего числа 330. Таким образом, вероятность стационарного сигнала равна 0,36. Типичный вид функции распределения для стационарных интервалов и длины трасс 1700 и 60 км показан на рис. 2. Максимальный разброс колебаний $f_d(t)$ составляет величину, не превышающую $\pm 0,3$ Гц, а среднеквадратичное отклонение доплеровской частоты приблизительно вдвое меньше максимального.

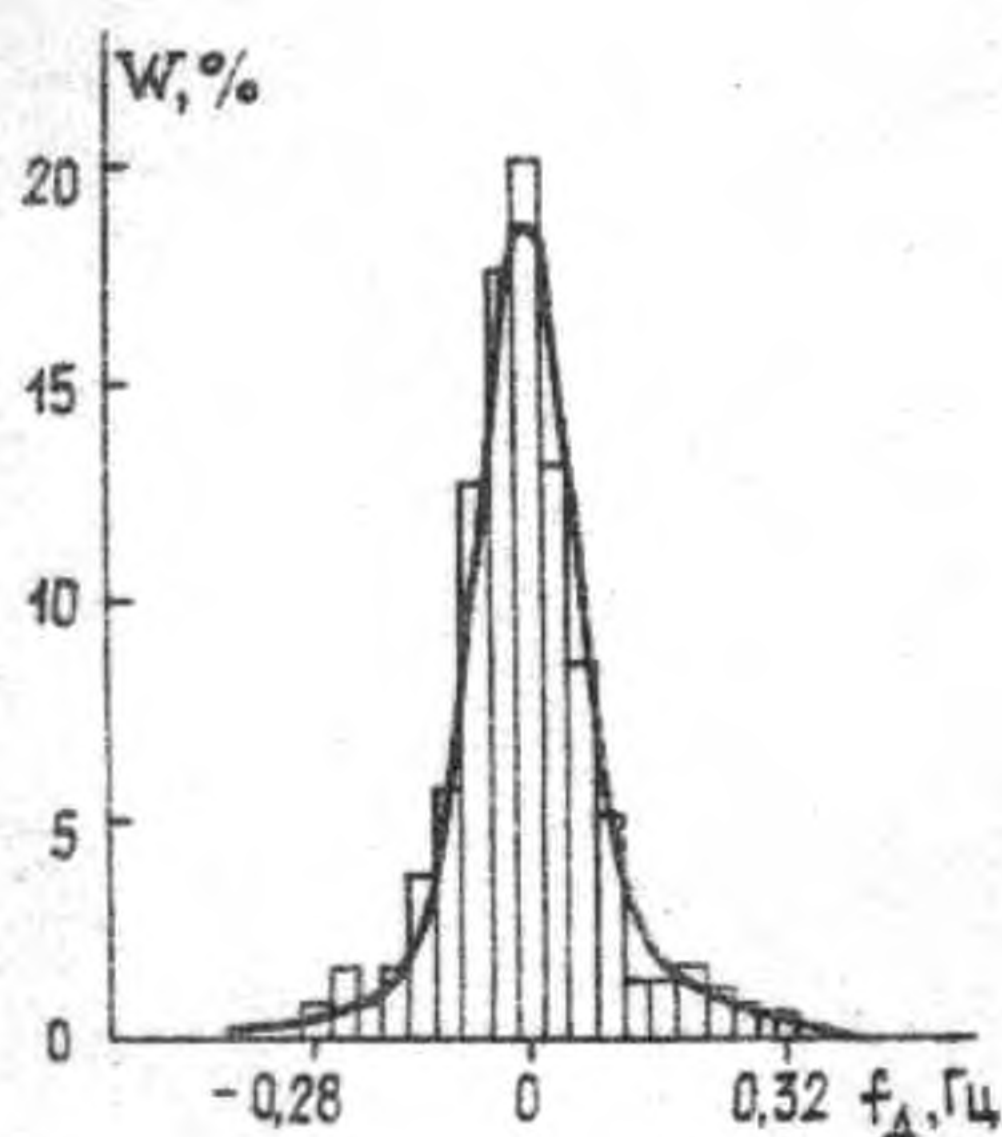


Рис. 2.

Экспериментальная и теоретическая плотности вероятности.

Плотности вероятности $W(f_d)$ имеют четко выраженный односторонний вид и по виду не очень сильно отличаются от нормальной. Плотности вероятности такого типа удобно аппроксимировать при помощи ряда Эдворта [2]:

$$W_1(\xi) \approx w_1(\xi) \left[1 + \sum_{n=3}^N \frac{1}{n!} \frac{b_n}{\sigma^n} \times \right. \\ \left. \times H_n \left(\frac{\xi - m}{\sigma} \right) \right], \quad (1)$$

где $w_1(\xi)$ - нормальная плотность вероятности

$$w_1(\xi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{(\xi - m)^2}{2\sigma^2} \right]. \quad (2)$$

Первые два коэффициента ряда b_3/σ^3 и b_4/σ^4 , характеризующие отклонение плотности вероятности от нормальной, в литературе получили название коэффициентов асимметрии и эксцесса. На практике при аппроксимации плотностей вероятностей, не очень сильно отличающихся от нормальной, часто ограничиваются учетом только этих коэффициентов. В этом случае формулу (1) можно записать

$$W_1(\xi) \approx w_1(\xi) \left[1 + \frac{\gamma_1}{3!} H_3 \left(\frac{\xi - m}{\sigma} \right) + \frac{\gamma_2}{4!} H_4 \left(\frac{\xi - m}{\sigma} \right) \right], \quad (3)$$

где $H_3(z) = z^3 - 3z$, $H_4(z) = z^4 - 6z^2 + 3$.

На рис. 2 показаны экспериментальная и теоретическая $W_1(f_d)$ плотность вероятности. Согласованность теоретического и экспериментального распределений проверялась при помощи критерия согласия Пирсона. В 53% случаях $W(f_d)$ хорошо описывается рядом Эджворта.

Для выявления спектральных характеристик в колебаниях доплеровской частоты применялся спектральный анализ по методу Блэкмана - Тьюки [4]. Расчеты спектров проводились по стационарным интервалам на частотах от 2 до 16 МГц. Всего проанализировано 120 отрезков записей. Типичный вид спектра показан на рис. 3. Вертикальными отрезками в экстремальных точках спектра указаны 80-процентные доверительные интервалы. Число значимых пиков в спектре в

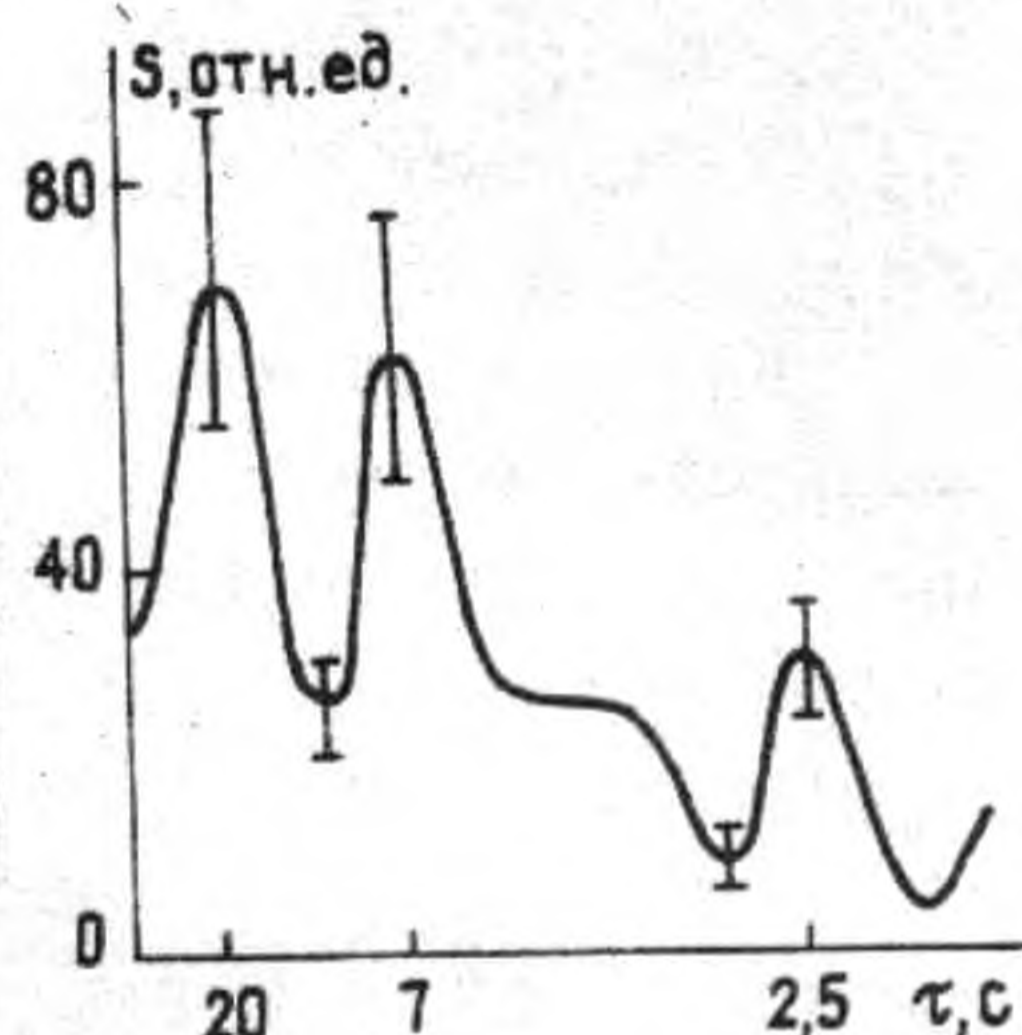


Рис. 3.

Типичный вид спектра.

среднем равно 3 - 4. Положение первого пика на временной оси колеблется от 10 до 40 с. Второй и третий пики находятся в диапазоне от 2,5 до 10 с.

Таким образом, можно предположить, что короткопериодические колебания $f_d(t)$ являются типичными для F-слоя, по крайней мере в дневное время суток, для которого проводились измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Салихов Н. М. Диссертация. - Алма-Ата, 1984.
2. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. - М.: Сов. радио, 1966. С. 678.
3. Бендат Дж., Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных. - М.: Мир, 1989. С. 540.
4. Дженкинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения. - М.: Мир, 1972. Ч. 2. С. 287.

Институт ионосферы
АН Казахстана

Поступила в редакцию
12 июля 1991 г.