

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ  
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
И ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А.М. ГОРЬКОГО

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОФИЗИКЕ  
(ПРАКТИКУМ ПО РАДИОФИЗИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ)

для студентов IV курса радиофизического факультета

Рекомендовано  
учебно-методической комиссией радиофизического факультета.  
Протокол № 6 от 21.04.89.

Харьков ХГУ 1990

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОФИЗИКЕ  
(ПРАКТИКУМ ПО РАДИОФИЗИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ)

для студентов IV курса радиофизического факультета

Составители: ТЫРНОВ Олег Федорович  
ЗИНЧЕНКО Глеб Николаевич  
ПОХИЛЬКО Сергей Николаевич

Ответственный за выпуск В.Т. Розуменко

Редактор Л.И. Сащенко

Технический редактор Т.Ф. Рыжикова  
Корректор Л.Г. Брежнева

План 1990, поз.20

Подп. к печ. 15.01.91. Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №  
Печать офсетная. Усл.печ.л 1,16. Усл.кр.-отт. 1,30. Уч.-изд. л.0,98.  
Изд.№ 2293. Тираж 300 экз. Зак.№ 6589. Бесплатно.

---

ХГУ. 310077, Харьков, пл.Дзержинского, 4.

---

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.  
310093, Харьков, ул.Свердлова, 115.

## Лабораторная работа 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УРОВНЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО СИГНАЛА

Цель работы – ознакомиться с принципом действия, устройством и основными параметрами аппаратуры регистрации и измерения характеристик частично отраженных КВ-сигналов; приобретение навыков по статистической обработке случайных временных рядов.

При подготовке к лабораторной работе следует ознакомиться с основными определениями статистических характеристик случайных процессов и изучить алгоритмы расчетов этих характеристик.

Л и т е р а т у р а: [1, 2, 3, 5, 7].

#### 1.1. Подготовка к работе

Лабораторная работа 1 выполняется на стационарном радиотехническом комплексе радиофизической обсерватории (пос. Гайдары Харьковской области). Стационарный радиотехнический комплекс аппаратуры кафедры космической радиофизики предназначен для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений.

В данном методе импульсного зондирования используется полное отражение волны при подходе ее к слою ионосферы с плазменной частотой, равной частоте волны. При наличии скачка концентрации, создающего скачок показателя преломления, возможны частичные отражения волны и при значении плазменной частоты, не равном частоте волны. Скачок показателя следует понимать как наличие заметного его изменения на расстоянии, меньшем длины волны. При этом требуется, чтобы скачок по фронту занимал площадь не менее зоны Френеля, расстояния от всех точек которой до точки приема или излучения волны различаются не более чем на  $\pi/2$ .

Эти условия выполняются в нижней ионосфере, где турбулентный перенос воздушных масс, содержащих различные концентрации электронов, создает контакт течений с различными концентрациями. Различия в концентрации, разумеется, могут быть очень малыми, и соответственно малыми окажутся скачки показателя преломления. Это, однако, не исключает возможность их использования, а лишь предъявляет более жесткие требования к потенциалу установки, к ее мощности и чувствительности.

В процессе зондирования ионосферы в реальных условиях регистрируется аддитивная смесь полезного сигнала и помехи. Для оценки статистических характеристик помехи и учета их при обработке экспериментальных данных организован режим работы, при котором, кроме регистрации смеси сигнала и помехи, производится регистрация амплитуды помехи, принимаемой на данной частоте в момент времени, предшествующий излучению зондирующего импульса.

Статистическая обработка экспериментальных данных (временных изменений  $E$  – относительного уровня КВ-сигнала) предполагает, в частности, определение среднего значения флуктуирующего параметра, построение распределения плотности вероятности для него, определение дисперсии, автокорреляционной функции и энергетического спектра.

В процессе выполнения данной работы необходимо провести сравнительный анализ статистических характеристик, полученных независимо для временного ряда  $E_n$ , соответствующего исходному процессу  $E(t)$ , и временных рядов, полученных из исходного ряда усреднением на временных интервалах  $T_1 = 2$  с (5 точек) и  $T_2 = 4$  с (9 точек).

#### 1.2. Описание лабораторной установки

Функциональная схема стационарного комплекса приведена на рис.1.1. Используемые обозначения: ПУ – передающее устройство; СУ – синхронизирующее устройство; УУ – управляющее устройство; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПП – переключатель поляризаций; П – приемник; О – осциллограф; К – кинокамера; РР – регистратор "Радуга"; С – самописец; ЦПУ – цифropечатающее устройство.

Радиотехническая система, используемая в комплексе, оснащена диапазонной антенной, мощным диапазонным передающим устройством, имеет возможность изменения поляризации излучаемых сигналов. Приемная система позволяет принимать радиоволны как линейной, так и обеих круговых поляризаций. Радиотехническая система сопряжена с ЭВМ. Передающая антенная система комплекса состоит из двух разнесенных антенных решеток, одна из которых предназначена для работы в диапазоне частот 1,5 ... 4,5 МГц, а другая – в диапазоне 4,5 ... 15 МГц. Элементарной ячейкой решетки диапазона 1,5 ... 4,5 МГц является двойная вертикальная ромбическая антенна Айзенберга, а решетки диапазона 4,5 ... 15 МГц – обычная ромбическая антенна. Обе антенные решетки содержат по восемь ячеек. Высота подвеса антенны – 20 м. Размеры антенных полей 300 x 300 м и 60 x 60 м. Расчетный коэффициент усиления по мощности для решетки диапазона 1,5 ..., 4,5 МГц равен 200.

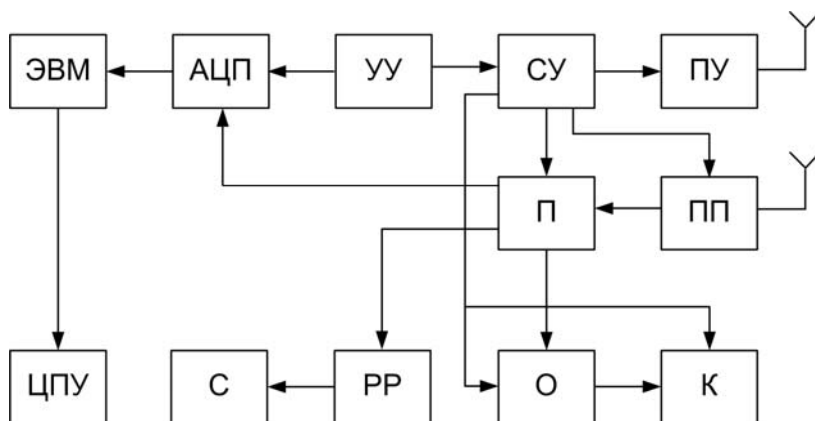


Рис. 1.1

Для приема сигналов диапазона частот 1,5 ... 4,5 МГц используются два ортогональных двойных ромба, а в диапазоне 4,5 ... 15 МГц – два ортогональных ромба. Конструкция антенного поля позволяет достаточно оперативно изменять соединение его элементов.

Радиопередающая система комплекса включает два радиопередающих устройства. Одно из них предназначено для работы в непрерывном и в импульсном режиме, что позволяет использовать его в экспериментах, как для нагрева, так и для зондирования ионосферы. Другое радиопередающее устройство работает только в импульсном режиме, однако обеспечивает большую выходную мощность. Оба устройства выполнены с использованием двухканальных широкополосных усилителей мощности. В качестве задающего генератора несущей частоты использован синтезатор частот Ч6-31 с высокой стабильностью частоты выходного сигнала и возможностью дистанционного управления частотой. Наличие двух каналов в передатчиках позволяет при работе на ортогональные антенны излучать радиоволны с круговой поляризацией. При этом в один из каналов вводится сдвиг фаз  $\pi/2$ . Основные технические характеристики радиопередающего устройства, предназначенного для работы в непрерывном и импульсном режимах: выходная мощность – до 200 кВт, длительность импульса – 25 ... 500 мкс, диапазон рабочих частот – 1,5 ... 15 МГц. Импульсный передатчик обеспечивает следующие параметры: выходная мощность – до 400 кВт, длительность импульса – 20 ... 500 мкс, частота повторения импульсов – до 100 Гц, скважность – не менее 1000, диапазон рабочих частот – 1,5 ... 6 МГц.

Радиоприемная система стационарного комплекса создана на базе модернизированного приемника Р-250 и кроме собственно приемника включает широкополосную (1 ... 10 МГц) схему выделения поляризаций и антенный коммутатор. Схема выделения поляризаций включена на входе приемника. При использовании ортогональных антенн она обеспечивает одновременное выделение сигналов обеих поляризаций. Радиоприемное устройство имеет диапазон рабочих частот 1,5 ... 10 МГц и полосу пропускания по промежуточной частоте 60 кГц.

С выхода радиоприемной системы сигнал поступает в систему регистрации и обработки экспериментальных данных, где подается на одно из устройств регистрации непосредственно или после предварительной обработки.

Регистрация результатов с помощью специализированных устройств или с помощью ЭВМ может осуществляться на магнитную ленту, жесткие и гибкие магнитные диски, перфоленту, ленту самописца, рулонную бумагу, фотопленку. Для большей части регистрирующих устройств стационарного комплекса сигнал предварительно оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя. Шаг

дискретизации сигнала по высоте и интервал высот, с которых производится регистрация, задаются системой синхронизации.

Для обработки экспериментальных данных в реальном масштабе времени применяется ЭВМ СМ-1420 и микроЭВМ "Электроника 60М". Ввод данных в ЭВМ СМ-1420 осуществляется через КАМАК, а в "Электронике 60М" – в режиме прямого доступа к памяти.

Последовательность работы устройств, входящих в состав комплекса, задается системой синхронизации, собранной на базе делителей частоты – Ф5093. Система синхронизации обеспечивает высокую стабильность формируемых временных интервалов. Основные технические характеристики: период повторения импульсов запуска радиопередающего устройства – 1 мс ... 999 с, относительная нестабильность частоты повторения –  $+6 \cdot 10^{-7}$  шаг выборок – 20 мкс, количество выборок в одном цикле – 1 ...  $10^5$ .

Для выполнения лабораторной работы используется режим накопления информации на жестком магнитном диске с последующей обработкой в реальном масштабе времени.

### 1.3. Лабораторное задание

1.3.1. Подготовить к включению и включить радиотехнический комплекс.

1.3.2. Провести регистрацию временных изменений сигнала и предварительную обработку полученных результатов на ЭВМ. Обработка данных производится "Задачей обработки данных", которая обеспечивает следующий алгоритм получения результатов:

- запрос установки времени начала обработки данных;
- поиск указанных данных на диске и в случае успешного завершения поиска считывание данных в оперативную память ЭВМ;
- распечатка первых ста значений сигнала на печатающем устройстве;
- усреднение полученного временного ряда по 5 и 9 точкам и формирование двух дополнительных временных рядов;

1.3.3. Рассчитать средние значения, дисперсии, автокорреляционные функции и энергетические спектры для трех временных рядов  $E_n^{1,2,3}$ . Построить графики

1.3.4. Построить гистограммы для трех временных рядов  $E_n^{1,2,3}$ .

1.3.5. Для усредненных рядов  $E_n^{2,3}$  провести сравнение результатов расчета дисперсии, полученных тремя способами: а) из числовых массивов; б) интегрированием полученных для этих рядов энергетических спектров в бесконечных пределах; в) графическим определением результата интегрирования в конечной полосе частот энергетического спектра, соответствующего исходному статистическому ряду.

1.3.6. Сформулировать выводы по работе.

Выполнение пп.1.3.3 ... 1.3.5 провести в соответствии с методическими указаниями по работе.

### 1.4. Методические указания к выполнению работы

1.4.1. В соответствии с полученными экспериментальными значениями относительного уровня КВ-сигнала построим статистический ряд вида:

$t, c$	0,5	1	1,5	...	50
$E, \text{отн.ед.}$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	...	$E_{100}$

1.4.2. При усреднении методом скользящего среднего на интервале  $T$  получаем новую зависимость (статистический ряд)  $E(t)$ .

Для интервала усреднения  $T_1 = 2 c$  (5 точек) каждый член нового ряда вычисляем по формуле:

$$E_{T_1}(t_n) = \frac{1}{5} \sum_{k=n-2}^{n+2} E_k.$$

где  $n = 3, 4, 5, \dots, 98$ .

Для интервала  $T_2 = 4 c$  (9 точек)

$$E_{T_2}(t_n) = \frac{1}{9} \sum_{k=n-4}^{n+4} E_k.$$

где  $n = 5, 6, 7, \dots, 96$ .

Обозначим исходный ряд как  $E(t) = E^1(t)$ , а два ряда, полученных усреднением, как  $E_{T_1}(t) = E^2(t)$ ,  $E_{T_2}(t) = E^3(t)$ . Для удобства дальнейших вычислений сведем их в табл. 1.1.

1.4.3. Вычисленные математические ожидания и дисперсии для каждого из рядов сравним между собой.

1.4.4. Вычисленные центрированные величины для каждого ряда также сведем в табл.1.1 ( $\hat{E}^1 = E^1 - \bar{E}$ ,  $\hat{E}^2 = E^2 - \bar{E}$ ,  $\hat{E}^3 = E^3 - \bar{E}$ ).

1.4.5. Для построения гистограммы дискретного случайного процесса  $E_n$  весь диапазон значений  $E$  делим на  $l$  интервалов и вычисляем количество значений  $m_i$ , приходящихся на каждый  $i$ -й интервал. По этому количеству определяем частоту наблюдений, соответствующую данному интервалу:

$$P_i = \frac{m_i}{n_{\max}}, \Delta E = (E_{\max} - E_{\min})/l; n_{\max}^{1,2,3} = 100; 96; 92.$$

Таблица 1.1

n	1	2	3	4	5	...	96	97	98	99	100
$E^1(t_n)$	$E_1^1$	$E_2^1$	$E_3^1$	$E_4^1$	$E_5^1$	...	$E_{96}^1$	$E_{97}^1$	$E_{98}^1$	$E_{99}^1$	$E_{100}^1$
$E^2(t_n)$			$E_3^2$	$E_4^2$	$E_5^2$	...	$E_{96}^2$	$E_{97}^2$	$E_{98}^2$		
$E^3(t_n)$					$E_5^3$	...	$E_{96}^3$				
$\hat{E}^1(t_n)$	$\hat{E}_1^1$	$\hat{E}_2^1$	$\hat{E}_3^1$	$\hat{E}_4^1$	$\hat{E}_5^1$	...	$\hat{E}_{96}^1$	$\hat{E}_{97}^1$	$\hat{E}_{98}^1$	$\hat{E}_{99}^1$	$\hat{E}_{100}^1$
$\hat{E}^2(t_n)$			$\hat{E}_3^2$	$\hat{E}_4^2$	$\hat{E}_5^2$	...	$\hat{E}_{96}^2$	$\hat{E}_{97}^2$	$\hat{E}_{98}^2$		
$\hat{E}^3(t_n)$					$\hat{E}_5^3$	...	$\hat{E}_{96}^3$				

Сведем полученные значения  $\Delta E_i$ , и  $P_i$  в табл. 1.2.

Таблица 1.2

$\Delta E_i$	$\Delta E_1$	$\Delta E_2$	$\Delta E_3$	...	$\Delta E_{l-1}$	$\Delta E_l$
$P_i$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	...	$P_{l-1}$	$P_l$

Если случайная величина приходится точно на границу двух интервалов, то данное значение можно считать принадлежащим в равной мере к обоим интервалам; при этом прибавляем к числам обоих интервалов по 1/2.

Выберем число интервалов  $l = 10$ .

Построим гистограммы для всех статистических рядов.

При увеличении числа опытов  $n_{\max}$  можно выбирать все более мелкие интервалы, при этом гистограмма будет приближаться к кривой, представляющей собой график распределения плотности вероятности измеряемой случайной величины.

1.4.6, Автокорреляционная функция может быть вычислена как

$$R_E(\tau) = \frac{1}{n-k} \sum_{n=1}^{n-k} \hat{E}_n \hat{E}_{n+k}$$

где  $\tau = k\Delta t$ .

Вычисление корреляционных функций проведем для  $k = 1, 2, \dots$  вплоть до таких значений  $k$ , при которых  $R_E(\tau)$  существенно меньше дисперсии. При вычислении  $R_E(\tau)$  центрированные величины  $\hat{E}_n$  брать из табл. 1.1.

1.4.7. Для каждой из трех корреляционных функций определим радиус корреляции  $\tau_0$ , исходя из условия:

$$R_E(\tau_0) = e^{-1} R(0).$$

Аппроксимируем функции  $R_E(\tau)$  для каждого ряда функциями:

$$R_E(\tau) = \sigma_E^2 e^{-\tau^2/\tau_0^2} \quad (1.1)$$

или

$$R_E(\tau) = A(\tau) \cos \omega_0 \tau, \quad (1.2)$$

где:  $A(\tau) = \sigma_E^2 e^{-\beta \tau} \cos \Omega \tau_0$ .

В качестве аппроксимирующей функции выбирается функция (1.1) или (1.2) в зависимости от вида графика  $R_E(\tau)$ , построенного по экспериментальным данным.  $\sigma_E^2, \tau_0, \beta, \Omega$  – свои для каждого ряда. В случае усредненных рядов следует положить  $\Omega = 0$ .

1.4.8. Для каждого ряда с использованием (1.1) или (1.2) рассчитаем энергетический спектр по формуле Винера-Хинчина:

$$S_E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_E(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

и определим эффективную ширину спектра  $\Delta\omega$  из условия:

$$S_E(\Delta\omega) = e^{-1} S_E(0).$$

1.4.9. Помимо вычислений  $\sigma_E^2$  на основе данных о статистическом ряде, эта величина может быть определена еще двумя способами:

а) интегрированием найденных энергетических спектров в бесконечных пределах

$$\sigma_E^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_E(\omega) d\omega;$$

б) графическим определением результата интегрирования в конечной полосе частот спектра, соответствующего исходному статистическому ряду. Полосы частот, в которых производится интегрирование, могут быть вычислены как  $\Delta\omega_{1,2} = 4\pi/T_{1,2}$  (здесь  $T_{1,2}$  – интервал усреднения); центр полосы соответствует величине  $\omega=0$ .

Справедливость такого подхода следует из того, что усреднение исходного случайного процесса на интервале времени  $T$  эквивалентно пропусканию его через фильтр с частотной характеристикой

$$\frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}}$$

Полоса пропускания этого фильтра (расстояние между первыми нулями  $\pm 2\pi/T$ ) равна  $4\pi/T$ .

#### Контрольные вопросы

1. Каковы статистические характеристики случайных процессов вы знаете? Приведите их определения.
2. Как связаны между собой автокорреляционная функция и энергетический спектр случайного процесса?
3. Как определяется интервал корреляции и ширина энергетического спектра?
4. Какими функциями можно аппроксимировать автокорреляционные функции широкополосного и узкополосного процессов?
5. Для чего используется статистическая обработка случайных процессов?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973. – 502 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1962. – 576 с.
3. Фукс И.М. Статистическая радиофизика и теория информации: Текст лекций. – Харьков: ХГУ, 1965. – Ч.1. – 60 с.
4. Фукс И.М. Статистическая радиофизика и теория информации: Текст лекций. – Харьков: ХГУ, 1969. – Ч.2. – 87 с.
5. Методические указания к решению задач по курсу "Статистическая радиофизика и теория информации" // Сост. О.Ф.Тырнов, Г.Н.Зинченко. – Харьков: ХГУ, 1964. – 72 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М. : Сов.радио, 1974. – Кн.1. – 550 с.
7. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на Фортране. – М.: Мир, 1977. – 584 с.