

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра информационных систем и технологий

А.С. Овсянников

## **СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ СВЯЗИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

**Часть 1. Основы телекоммуникационных систем**

**САМАРА 2018**

**УДК 621.391**

**ББК**

**О -34**

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,  
протокол №\_\_\_, от \_\_.\_\_.2018 г.

**Рецензенты:**

Д.т.н., проф., зав. каф. ИСТСамарск. национ-гоисслед-гоунив-та им.акад.  
С.П. Королёва, С.А. Прохоров

К.т.н., доц.межвузовской кафедры информационных развивающих  
образовательных систем и технологий, директор информационно-  
аналитического центра учебного управления СамГТУКозлов В.В.

Овсянников А.С.

**О-34** Спектральный анализ сигналов связи: методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине “Инфокоммуникационные системы и сети”. Часть 1. “Основы телекоммуникационных систем” / А.С. Овсянников. - Самара: ПГУТИ, 2018.- 14 с.

Методические указания предназначены для студентов второго ускоренного и третьего полного курса факультета информационных систем и технологий ПГУТИ, обучающихся по специальности 09.03.02 “Информационные системы и технологии” в рамках специализации “Информационные системы и технологии”, изучающих дисциплину “Инфокоммуникационные системы и технологии”. Составлены применительно к действующему учебному плану по специальности 09.03.02 “Информационные системы и технологии”.

В указаниях учтены требования стандартов и нормативных документов, регламентирующих многоуровневую подготовку специалистов по направлению 09.03.02 Информационные системы и технологии.

Разработаны на кафедре информационных систем и технологий Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

Методические указания могут применяться для обучения студентов заочной и дистанционной форм обучения.

ISBN

©, Овсянников А.С., 2018

## **ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Работы выполняются в электронном виде и сопровождаются необходимым количеством “screenshot”. Номер варианта определяет преподаватель по списку группы. По номеру варианта определяется сигнал (номер) для выполнения работы. Текст задания вместе с номером варианта и исходными данными студент должен привести на отдельной странице. Отчёт обязательно сопровождается необходимыми и подробными пояснениями со ссылками на литературу. Список литературы, использованной при выполнении контрольных заданий, приводится в конце контрольной работы. В сроки, установленные учебным графиком, лабораторная работа представляется преподавателю на рецензирование.

Все исправления, дополнения и пояснения, сделанные студентом по замечаниям рецензента, выносятся на поля в том месте, где обнаружены ошибки, заданы вопросы или сделаны замечания. Допускается, при большом объёме доработок, исправления, дополнения и пояснения выполнять на отдельных страницах.

Лабораторная работа (допущенная к теоретическому зачёту преподавателем с замечаниями и исправлениями) предъявляется на теоретическом зачёте. Для успешного зачёта работы необходимо:

- внести исправления по замечаниям рецензента, ответить (письменно или устно в зависимости от требований рецензента) на поставленные вопросы;
- уметь полностью объяснить ход выполнения исследований, обосновать правильность использования расчётных формул,

понимать смысл входящих в них величин и символов, их размерность;

- ответить на все контрольные вопросы.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
1. Введение .....	3
2. Лабораторная работа №3 “Исследование спектров периодических сигналов” .....	8
3. Лабораторная работа №4 “ Исследование спектров непериодических сигналов” .....	13
4. Лабораторная работа №5 “ Исследование спектров случайных сигналов ” .....	15

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курс “ Инфокоммуникационные системы и сети ” является базовым для подготовки специалистов по специализациям ИСТ.

Настоящие методические пособия предназначены для проведения лабораторных работ по очной и заочной обучения.

Для проведения работ студенческая группа делится на две подгруппы, в которых формируются бригады по 2 – 3 человека.

Все работы должны выполняться постоянным составом.

## Лабораторная работа №3 “Исследование спектров периодических сигналов”

### Цель работы

Изучить особенности спектра периодического сигнала. Исследовать закономерности изменения спектра от первичных параметров сигнала.

### Литература

1. Овсянников А.С. Теория информационных процессов и систем: В 2 ч., ч.2. Основы телекоммуникационных систем: учебное пособие /А. С.Овсянников; ПГУТИ.- Самара, 2018.- 152 с.

### Содержание работы

Выполнить исследования зависимости спектра периодического сигнала (спектра амплитуд и спектра фаз) при изменении следующих первичных параметров сигнала (сигнал задаётся преподавателем).

- 1) Периода сигнала  $T_1$ ;
- 2) Длительности импульсов  $\tau_n$ ;
- 3) Напряжений положительной  $U_1$  и отрицательной  $U_2$  частей сигнала;
- 4) Смещения  $dt$  сигнала относительно начала координат.

### Методические рекомендации по выполнению работы

1. Пункты 1 и 2 для некоторых типов сигналов необходимо разделить на два подпункта. В первом подпункте аргумент необходимо изменять таким образом, чтобы скважность сигнала  $\theta$ , была равна целому числу. Во втором подпункте скважность должна равняться дробному числу (между двумя целыми). По выполнению и результатам исследований пункты 1 и 2 во многом совпадают, но имеется существенное различие, которое необходимо аргументированно отразить в отчёте.
2. Исследования по третьему пункту относятся к многофакторному анализу (изменяются два аргумента). Рекомендуется следующий метод выполнения исследований. Фиксируется, например  $U_2$ , изменяется параметр  $U_1$ . Далее – наоборот. При выполнении исследований по этому пункту следует учесть, что изменение амплитуд всех гармонических составляющих при изменении аргумента происходит пропорционально, а изменение нулевой гармоники не связано с изменениями по другим. Поэтому рекомендуется исследовать зависимости нулевой и первой гармоник при изменении  $U_1$  и  $U_2$ .

## **Порядок выполнения работы**

Запустить программу SpecManager. В появившемся меню “кликнуть” левой кнопкой мышки на “Периодический сигнал”. Ознакомиться с описанием пользовательского интерфейса программы.

1. Получить от преподавателя задание (исследуемый сигнал).
2. Выполнить исследования заданного сигнала. При этом по каждому пункту исследований необходимо выявить закономерности изменения спектра сигнала, с учётом того что спектр периодического сигнала состоит из спектра амплитуд и спектра фаз, количество спектральных составляющих бесконечно. Выявленные закономерности сформулировать в виде выводов.
3. Составить письменный отчёт по работе.

### **Содержание отчёта**

1. Цель работы.
2. По каждому пункту (и подпункту) указать условия выполнения исследований (численные значения параметров), краткое описание выполненных действий, выводы с необходимым количеством графиков спектра, подтверждающих эти выводы.
3. Общий вывод по проделанной работе.
4. Для подготовки к теоретическому зачёту ответить на все контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

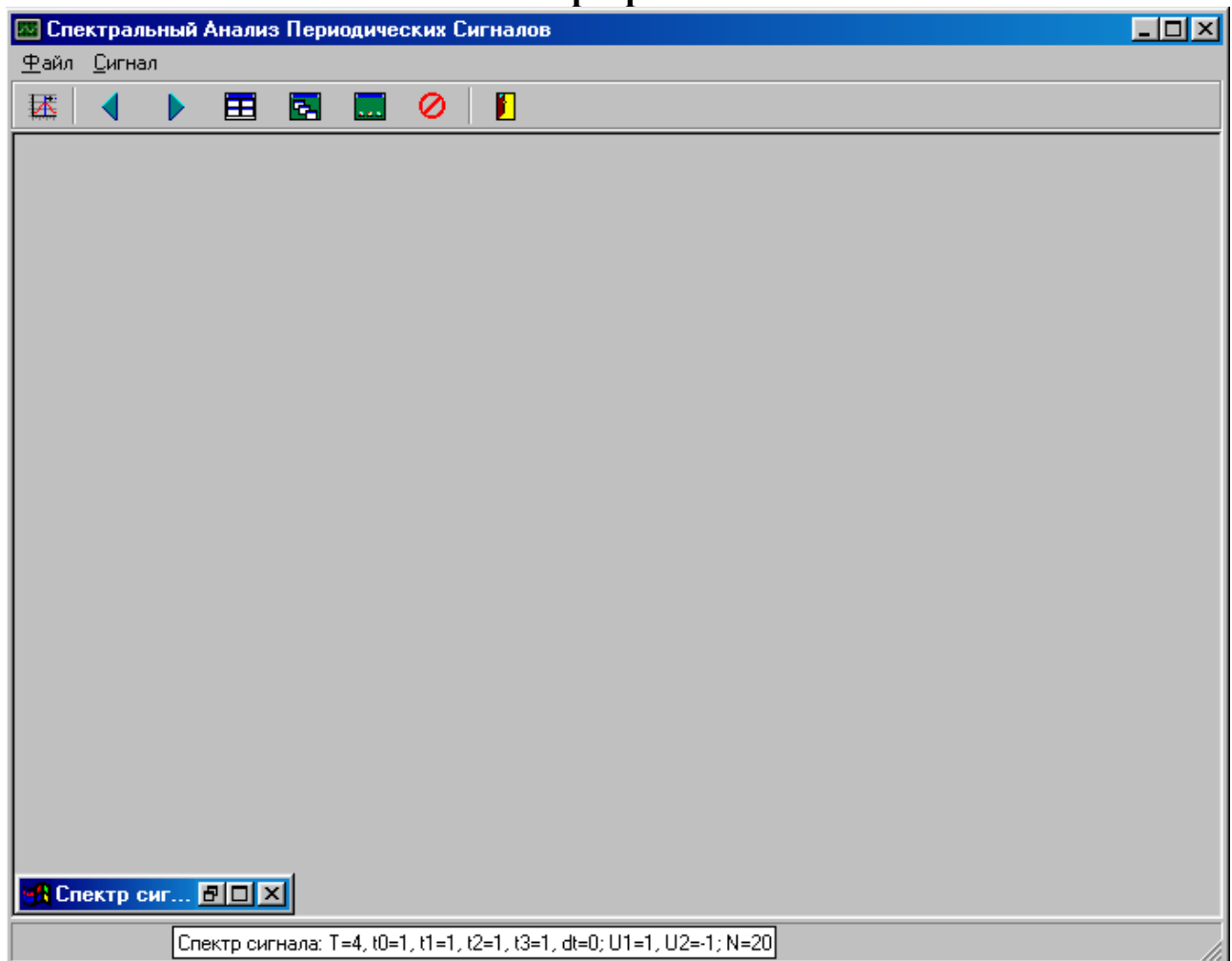
1. Определение спектра периодического сигнала.
2. Определение периодического сигнала.
3. Перечислить первичные параметры сигнала. Их физический смысл.
4. Перечислить вторичные параметры сигнала. Их физический смысл.
5. Состав спектра амплитуд периодического сигнала. Физический смысл составляющих спектра.
6. Состав спектра фаз периодического сигнала. Физический смысл составляющих спектра.
7. Какова связь между спектром амплитуд и спектром фаз периодического сигнала?
8. Нарисовать спектр сигнала, состоящего из одной гармонической составляющей.
9. Нарисовать сигнал, соответствующий одной составляющей спектра периодического сигнала.
10. Чему равен интервал ортогональности при расчёте гармонических составляющих спектра периодического сигнала?
11. Укажите два способа частотного представления (спектра) периодического сигнала.

12. Что такое “постоянная составляющая” периодического сигнала? В каких случаях (для каких сигналов) её можно не рассчитывать.
13. Каким образом рассчитывается комплексная составляющая спектра периодического сигнала?
14. Состав комплексной составляющей спектра периодического сигнала. Для каких сигналов можно не рассчитывать соответствующие составляющие?

## Интерфейс пользователя программы SpecManager

*Системные требования:* рекомендуются параметры экрана 800x600 24(32)bit, во время работы программы нежелательно изменять параметры экрана.

### Работа с программой



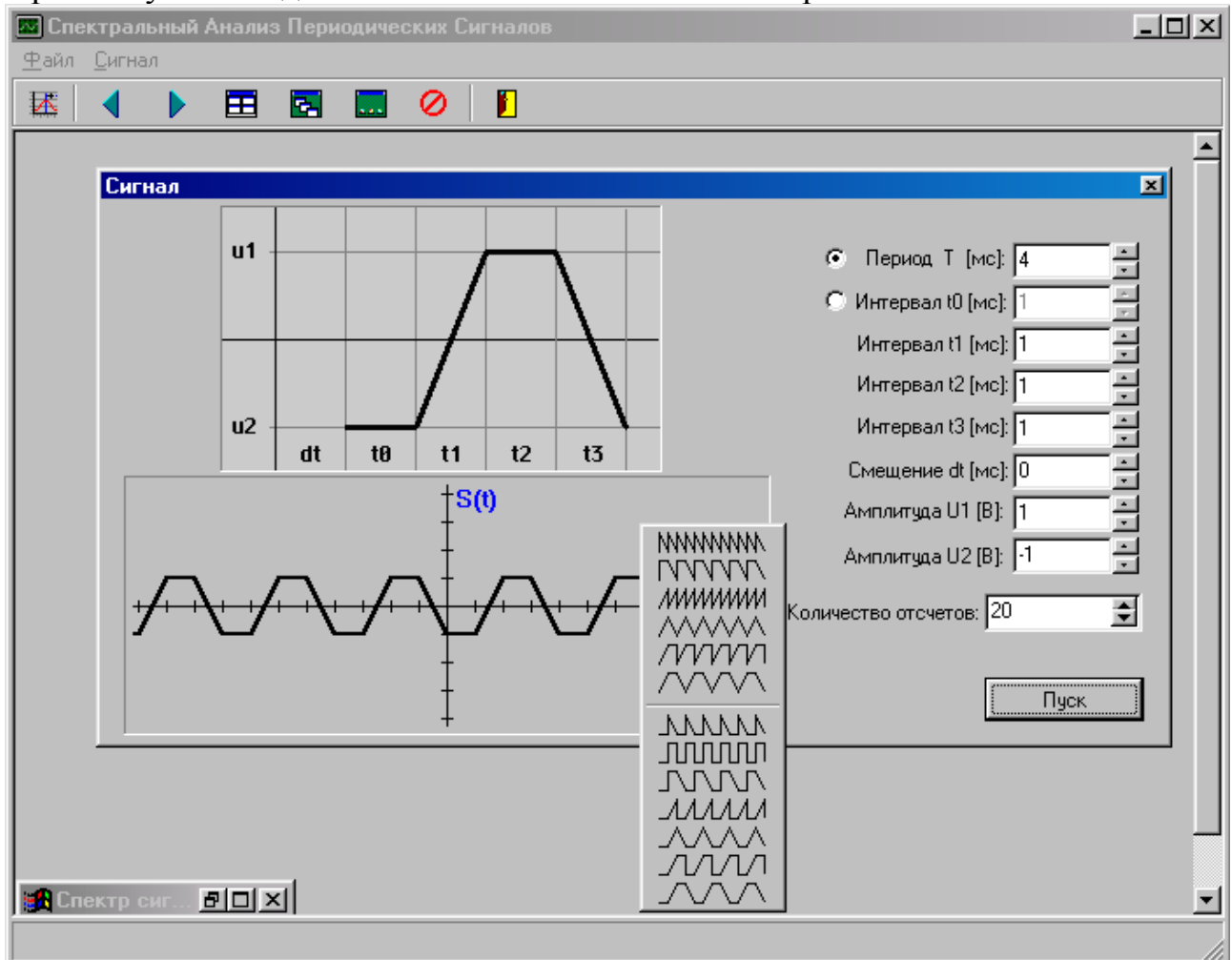
Главное окно программы

**Панель инструментов** содержит стандартные функции для работы с дочерними окнами.

F2- Сохранить спектр.



Для активного дочернего окна сохраняет вид спектра в \*.bmp файле.  
**Внимание!!!** Сохраняется текущее изображение окна, так что перед сохранением желательно убрать увеличение и выбрать нулевую гармонику. F5 - Задать сигнал – вызывает окно выбора сигнала.



### **Правила задания сигналов:**

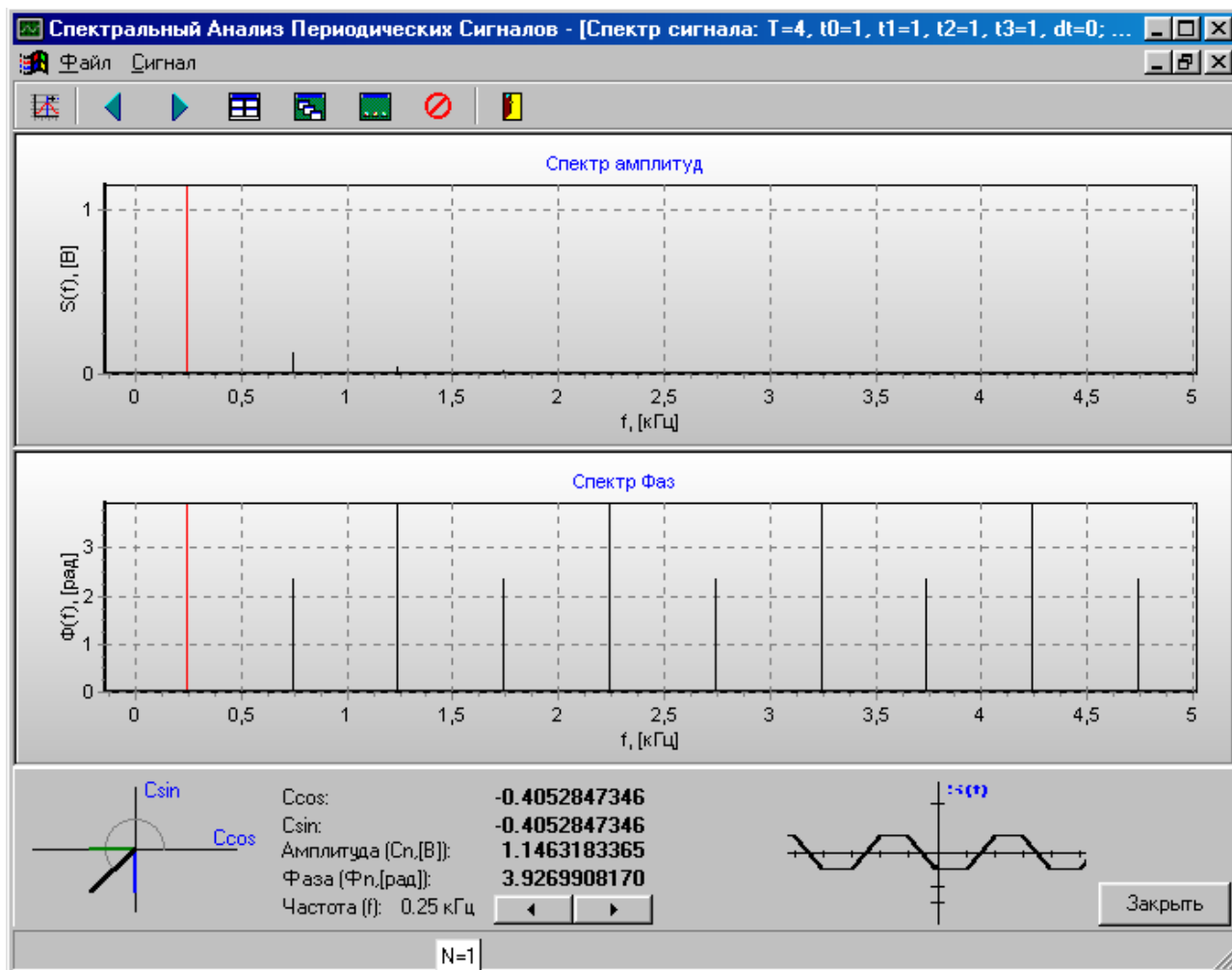
Отрезок  $t_0$  определяет длительность амплитуды  $U_2$   
 Отрезок  $t_1$  определяет длительность нарастания амплитуды от  $U_2$  до  $U_1$   
 Отрезок  $t_2$  определяет длительность амплитуды  $U_1$   
 Отрезок  $t_3$  определяет длительность спада амплитуды от  $U_1$  до  $U_2$   
 Смещение сигнала изменяется с шагом 0,5 в пределах  $|dt| < T$  от начала координат.



На параметры наложены ограничения:  $T \leq 20$ ,  $t_1 \leq 5$ ,  $t_2 \leq 5$ ,  $t_3 \leq 5$ ,  $4 \geq U_1 > U_2$ ,  $-4 \leq U_2 < U_1$

При этом вид отображаемого сигнала точно соответствует введенным параметрам.

При задании параметров можно выбрать параметр  $t_0$ , тогда  $T$  вычисляется автоматически  $T = t_0 + t_1 + t_2 + t_3$ , либо выбрать  $T$ , тогда  $t_0 = T - (t_1 + t_2 + t_3)$ .

При нажатии правой кнопки мыши на графике сигнала появляется меню с набором стандартных единичных сигналов. Окно спектра



Перемещение по спектру осуществляется по нажатию на кнопки  . Активная ненулевая гармоника выделяется красным цветом и для этой гармоники выводятся значения  $C_{sin}$ ,  $C_{cos}$ ,  $C_n$ ,  $\Phi_n$ ,  $f$ . Для наглядности строится векторная диаграмма, показывающая фазу текущей гармоники. Когда указатель мыши находится над значением частоты  $f$  - выдается подсказка с номером текущей гармоники.

Компонент Delphi - TChart предоставляет возможность увеличения изображения: для этого надо зафиксировать верхнюю левую точку – нажать левую кнопку мыши и, не отпуская кнопки, выделить прямоугольник - зафиксировать нижнюю правую точку и отпустить кнопку. Для возвращения к исходному изображению надо выделить прямоугольник начиная с нижней правой точки.

## **Лабораторная работа №4**

### **“Исследование спектров непериодических сигналов”**

#### **Цель работы**

Изучить особенности спектра непериодического сигнала. Исследовать основные закономерности изменения спектра непериодического сигнала от первичных параметров сигнала.

#### **Литература**

1. Овсянников А.С. Теория информационных процессов и систем: В 2 ч., ч.2. Основы телекоммуникационных систем: учебное пособие /А. С.Овсянников; ПГУТИ.- Самара, 2018.- 152 с.

#### **Содержание работы**

Выполнить исследования зависимости спектра непериодического сигнала (спектра амплитуд и спектра фаз) при изменении следующих первичных параметров сигнала (сигнал задаётся преподавателем).

1. Длительности импульса  $\tau_{и}$ ;
2. Смещения  $dt$  сигнала относительно начала координат.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Запустить программу SpecManager. В появившемся меню “кликнуть” левой кнопкой мышки на “Непериодический сигнал”. Ознакомиться с описанием пользовательского интерфейса программы..
2. Получить от преподавателя задание (исследуемый сигнал).
3. Выполнить исследования заданного сигнала. При этом по каждому пункту исследований необходимо выявить закономерности изменения спектра сигнала, с учётом того что спектр непериодического сигнала состоит из спектра амплитуд и спектра фаз. При расчёте спектра на ПЭВМ методом ДПФ на графике спектра изображены дискретные отсчёты непрерывного спектра. Выявленные закономерности сформулировать в виде выводов.
4. Составить письменный отчёт по работе.

#### **Содержание отчёта**

1. Цель работы.
2. По каждому пункту указать условия выполнения исследований (численные значения параметров), краткое описание выполненных действий, выводы с необходимым количеством графиков спектра, подтверждающих эти выводы.
3. Общий вывод по проделанной работе.
4. Для подготовки к теоретическому зачёту ответить на все контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Дать определение спектра непериодического сигнала.
2. Дать определение непериодического сигнала.
3. Привести первичные параметры непериодического сигнала.
4. Привести формулу дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Пояснить назначение всех обозначений.
5. Пояснить физический смысл ДПФ.
6. Привести матричное представление формулы ДПФ. Каким образом вычисляются индексы поворачивающих коэффициентов?
7. Привести пример спектра непериодического сигнала. Объясните эффект “зеркального” повторения спектра от середины спектральной характеристики.
8. В чём отличие спектров периодического и непериодического сигналов?
9. В чём отличие расчёта спектров периодического и непериодического сигналов?
10. Объясните ход зависимости изменения спектра непериодического сигнала при изменении длительности импульса.
11. Объясните ход зависимости изменения спектра непериодического сигнала при изменении сдвига импульса относительно начала координат.
12. Чем определяется частота дискретизации при ДПФ?
13. Чему равна частота  $k$ -й составляющей спектра непериодического сигнала?
14. Область применения ДПФ.

## **Лабораторная работа №5** **“Исследование спектров случайных сигналов”**

### **Цель работы**

Изучить особенности спектра случайного сигнала. Исследовать основные закономерности изменения спектра случайного сигнала от его первичных параметров.

### **Литература**

1. Овсянников А.С. Теория информационных процессов и систем: В 2 ч., ч.2. Основы телекоммуникационных систем: учебное пособие /А. С.Овсянников; ПГУТИ.- Самара, 2018.- 152 с.

### **Содержание работы**

Выполнить исследования зависимости спектра случайного сигнала при изменении следующих первичных параметров гармонического сигнала (сигнал и распределение задаётся преподавателем).

1. Амплитуды  $U_1$ ;
2. Частоты  $f_1$ ;
3. Фазы  $\varphi_1$

### **Порядок выполнения работы**

1. Запустить программу SpecManager. В появившемся меню “кликнуть” левой кнопкой мышки на “Случайный сигнал”. Ознакомиться с описанием пользовательского интерфейса программы..
2. Получить от преподавателя задание (исследуемый сигнал).
3. Выполнить исследования заданного сигнала. При этом по каждому пункту исследований необходимо выявить закономерности изменения спектра сигнала, с учётом того что спектр непериодического сигнала состоит из спектра амплитуд и спектра фаз. При расчёте спектра на ПЭВМ методом ДПФ на графике спектра изображены дискретные отсчёты непрерывного спектра. Выявленные закономерности сформулировать в виде выводов.
4. Составить письменный отчёт по работе.

### **Содержание отчёта**

1. Цель работы.
2. По каждому пункту указать условия выполнения исследований (численные значения параметров), краткое описание выполненных

действий, выводы с необходимым количеством графиков спектра, подтверждающих эти выводы.

3. Общий вывод по проделанной работе.
4. Для подготовки к теоретическому зачёту ответить на все контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

1. Дать определение случайного сигнала.
2. Дать определение спектра случайного сигнала.
3. Привести первичные параметры случайного сигнала.
4. Привести формулу спектральной плотности средней мощности случайного сигнала  $\xi(t)$ . Пояснить назначение всех обозначений.
5. Дать определение автокорреляционная функция случайного сигнала  $B_{\xi}(\tau)$ .
6. Привести прямое и обратное преобразования теоремы Хинчина – Винера.
7. Привести тригонометрические формулы теоремы Хинчина - Винера.
8. Привести определение и формулу теоретической ширины энергетического спектра случайного сигнала.
9. Привести определение и формулу интервала корреляции случайного сигнала
10. Привести формулу соотношения ширины энергетического спектра и интервала корреляции случайного сигнала.
11. Привести формулу абсолютной интегрируемости автокорреляционной функции  $B_{\xi}(\tau)$ .