

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге
(УрТИСИ СибГУТИ)



УТВЕРЖДАЮ
директор УрТИСИ СибГУТИ
Минина Е.А.
« » 2025 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Б1.О.16 Цифровая обработка сигналов

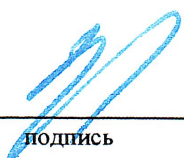
Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) /специализация: **Программирование и администрирование систем связи**

Форма обучения: **очная**

Год набора: **2026**

Разработчик (-и):
доцент


_____ /В.Т. Куанышев/
подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры высшей математики и физики (ВМиФ)

Протокол от 20.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой _____ /В.Т. Куанышев/


подпись

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге
(УрТИСИ СибГУТИ)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.16 Цифровая обработка сигналов


Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) /специализация: **Программирование и администрирование систем связи**

Форма обучения: **очная**


Год набора: **2026**

Разработчик (-и) рабочей программы:
доцент



_____ / В.Т. Куанышев /
подпись

Утверждена на заседании кафедры высшей математики и физики (ВМиФ) протокол от
20.11.2025 г. № 3


Заведующий кафедрой ВМиФ


_____ / В.Т. Куанышев /
подпись

Согласовано:
Заведующий выпускающей кафедрой



_____ / Н.В. Будылдина /
подпись

Ответственный по ОПОП


_____ / Н.В. Будылдина /
подпись

Основная и дополнительная литература, указанная в п.6 рабочей программы, имеется в наличии
в библиотеке института и ЭБС.

Заведующий библиотекой


_____ / С.Г. Торбенко /
подпись

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге
(УрТИСИ СибГУТИ)

УТВЕРЖДАЮ
директор УрТИСИ СибГУТИ
Минина Е.А.
« ____ » _____ 2025 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Б1.О.16 Цифровая обработка сигналов

Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) /специализация: **Программирование и администрирование систем связи**

Форма обучения: **очная**

Год набора: 2026

Разработчик (-и):
доцент

_____ /В.Т. Куанышев/
подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры высшей математики и физики (ВМиФ)

Протокол от 20.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой _____ /В.Т. Куанышев/
подпись

1. Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин)
ОПК-3. Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности	<p>ОПК-3.2- Знает принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов; принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи;</p> <p>ОПК-3.3- Умеет решать задачи обработки данных с помощью современных средств цифровой вычислительной техники</p>	2	Этап 1. Б.О.06 Информатика; Б.О.06 Основы телекоммуникаций

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен 4 семестр

2. Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1 Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Индикатор освоения компетенции	Показатель оценивания	Критерий оценивания
ОПК-3.2. Знать: основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования	Знает основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования	<p>Знаком с основами высшей математики, физики и вычислительной техники</p> <p>Знает основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и элементами программирования</p> <p>Знает твердо основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования</p>
ОПК-3.3. Уметь: решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и	Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	<p>Решает стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний</p> <p>Решает стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов</p>

моделирования		<p>математического анализа и моделирования</p> <p>Решает стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования</p>
---------------	--	---

Шкала оценивания.

Экзамен

5-балльная шкала	Критерии оценки
«отлично»	<p>На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на итоговом уровне, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала по всем разделам дисциплины. Студент усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при выполнении заданий.</p>
«хорошо»	<p>На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы, но с замечаниями преподавателя. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на среднем уровне: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при ответе на поставленные вопросы, по основным разделам дисциплины. Допущены ошибки при решении задач</p>
«удовлетворительно»	<p>На экзаменационные вопросы даны ответы со слабой аргументацией, преподаватель задал множество наводящих вопросов. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на базовом уровне: в ходе выполнения практических заданий, решения задач допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, по некоторым дисциплинарным разделам, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и по основным разделам дисциплины</p>
«неудовлетворительно»	<p>Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на уровне ниже порогового, проявляется недостаточность знаний. Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний по темам дисциплины, отсутствуют навыки решения задач.</p>

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания по дисциплине

3.1. В ходе реализации дисциплины используются следующие формы и методы текущего контроля

Тема и/или раздел	Формы/методы текущего контроля успеваемости
ОПК-3.2. Знать: основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования	
Основные приемы работы в системе GNU Octave (Matlab)	Лабораторные работы Экзамен
Моделирование дискретных сигналов и последовательностей сигналов	Лабораторные работы Экзамен
Детерминированные и случайные дискретные сигналы	Лабораторные работы Экзамен
Линейные дискретные системы (ЛДС)	Лабораторные работы Экзамен
Описание ЛДС в z-области	Лекция Экзамен
Другие дискретные преобразования	Лекция Экзамен
ОПК-3.3. Уметь: решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	
Синтез КИХ-фильтров методом окон	Лабораторные работы Экзамен
Синтез БИХ-фильтров методом z-преобразования	Лабораторные работы Экзамен
Спектральный анализ сигнала	Лабораторные работы Экзамен
Цифровые фильтры	Лекция Экзамен

3.2. Типовые материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

ОПК-3.2. Знать: основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования

ОПК-3.3. Уметь: решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования

Тема для дискуссии «Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ)»

1. Вопросы базового уровня:
2. Что такое преобразование Фурье.
3. Какова основная идея БПФ.
4. Какие преимущества имеет алгоритм БПФ перед прямым вычислением преобразования Фурье.
5. Почему важно использовать комплексные числа в представлении сигналов.
6. Опишите принцип разбиения входного сигнала на чётные и нечётные компоненты.

Практические вопросы средней сложности:

1. Какой временной порядок (сложность) имеют стандартные методы прямого вычисления ДПФ и БПФ.
2. Покажите, почему размер входного массива должен быть степенью двойки в классическом варианте БПФ Радемахера-Кастинера.
3. Чем отличается прямое и обратное быстрое преобразование Фурье.
4. Приведите пример реализации простого варианта рекурсивного БПФ на Python.
5. Объясните, как влияет выбор начального порядка элементов сигнала («бит-реверс») на эффективность БПФ.
6. Сложные теоретические вопросы:
7. Каковы ограничения классического БПФ и способы их преодоления.
8. Объясните отличие различных реализаций БПФ — Radix-2, Cooley-Tukey, Split-Radix и Winograd FFT.
9. Для какого класса функций подходит метод БПФ.
10. Рассмотрите особенности многомерного БПФ и расскажите, как оно применяется на практике.
11. Можно ли применить БПФ для произвольных размеров входных массивов? Если да, каким образом.

Применение и практика:

1. Где используется алгоритм БПФ в современной цифровой обработке сигналов.
2. Расскажите, как применение БПФ помогает решать проблемы спектрального анализа.
3. Поясните связь между быстрым преобразованием Фурье и цифро-аналоговым преобразованием.
4. Обсудите, как использование БПФ ускоряет умножение больших чисел.
5. Назовите основные направления оптимизации алгоритмов БПФ применительно к современным вычислительным архитектурам.

Типовые контрольные задания

Представить один пример задания по каждому типу оценочных средств для каждой компетенции, формируемой данной дисциплиной:

Типовая лабораторная работа по теме: «Детерминированные и случайные дискретные сигналы»

Цель работы:

1. Моделирование случайных последовательностей и расчет их характеристик программными средствами Octave (MATLAB).

1. Задание на лабораторную работу

Лабораторная работа выполняется на основе script-файла lab_rabota_2.m который предоставляется преподавателем. Вся группа студентов разбивается на бригады по два человека, каждой бригаде присваивается номер, на основе которого формируются все исходные данные (см. табл. 1). Для выполнения лабораторной работы в исходную таблицу добавлены две строки со значениями математического ожидания и дисперсии, в соответствии с вариантом

Перед выполнением работы необходимо сохранить путь к папке LAB-2 по команде контекстного меню **Add to Path | Selected Folders**.

Исходные данные для пунктов задания приводятся в табл. 1 для номера бригады $N_{бр}$, где $N_{бр} = 1, 2, \dots, 30$. Целочисленная функция $N_{бр} \bmod M$ в записи исходных данных означает вычисление значения $N_{бр}$ по модулю M , то есть на выходе функции **a mod b** получаются два целых числа – неполное частное и остаток от деления **a** на **b**. Например, если **a = 1** и **b = 5**, то **1 mod 5** дает следующие два числа: неполное частное 0 и остаток 1, а если **a = 5** и **b = 5**, то **5 mod 5** – неполное частное 1 и остаток 0 и т.д. Пример использования таблицы 1 приведен в файле Excel ishod_data LAB-2.

Таблица 1 - Таблица исходных данных

Переменная	Назначение	Значение	Идентификатор в командном окне Matlab
$N_{бр}$	Номер бригады	$N_{бр}$	Nb =
N	Длина последовательности	$N = 30 + N_{бр} \bmod 5$	N =
T	Период дискретизации	$T = 0,0005(1 + N_{бр} \bmod 5)$	T =
a	Основание экспоненты	$a = (-1)^{N_{бр}} (0,8 + 0,001 N_{бр} \bmod 5)$	a =
C	Амплитуда гармонического сигнала	$C = 1 + N_{бр} \bmod 5$	C =
$\hat{\omega}_0$ (рад)	Частота гармонического сигнала	$\hat{\omega}_0 = \pi / (6 + N_{бр} \bmod 5)$	w0 =
m	Задержка	$m = 5 + N_{бр} \bmod 5$	m =
U	Амплитуда импульса	$U = N_{бр}$	U =
n_0	Начальный момент импульса	$n_0 = N_{бр} \bmod 5 + 3$	n0 =
n_{imp}	Длина импульса	$n_{imp} = N_{бр} \bmod 5 + 5$	n_imp =
B_1, B_2, B_3	Амплитуды гармонических сигналов	$B_1 = 1,5 + N_{бр} \bmod 5$ $B_2 = 5,7 - N_{бр} \bmod 5$ $B_3 = 2,2 + N_{бр} \bmod 5$	Вектор B = [...]
$\hat{\omega}_1, \hat{\omega}_2, \hat{\omega}_3$	Частоты гармонических сигналов	$\hat{\omega}_1 = \pi / (4 + N_{бр} \bmod 5)$ $\hat{\omega}_2 = \pi / (8 + N_{бр} \bmod 5)$ $\hat{\omega}_3 = \pi / (16 + N_{бр} \bmod 5)$	Вектор w = [...]
a_1, a_2, a_3	Коэффициенты линейной комбинации гармонических сигналов	$a_1 = 1,5 - N_{бр} \bmod 5$ $a_2 = 0,7 + N_{бр} \bmod 5$ $a_3 = 1,4 + N_{бр} \bmod 5$	Вектор A = [...]
mean	Математическое ожидание	$mean = N_{бр} \bmod 5 + 3$	Mean =
var	Дисперсия	$var = N_{бр} \bmod 5 + 5$	Var =

Задание на лабораторную работу связано с моделированием и анализом случайных последовательностей и включает в себя следующие пункты:

1. Детерминированные дискретные сигналы (последовательности).

Детерминированным дискретным сигналом называют сигнал, значения которого в любой момент времени n (или nT) заранее известны или могут быть определены точно по заданной математической модели.

Детерминированный дискретный сигнал, как известно, описывается последовательностью $x(nT)$ или $x(n)$, при этом термин "детерминированный" принято опускать. Для детерминированного дискретного сигнала (последовательности) представляют интерес такие его характеристики, как среднее значение, энергия, средняя мощность, автокорреляционная и автоковариационная функции.

Средним значением последовательности называют сумму ее значений, отнесенную к

длине.

Энергией последовательности называют сумму квадратов ее значений, а средней мощностью — энергию, отнесенную к длине последовательности.

В MATLAB среднее значение M вычисляется с помощью функции:

$$M = \text{mean}(x)$$

где x — вектор отсчетов последовательности.

Энергия E и средняя мощность P вычисляются согласно их определению:

$$E = \text{sum}(x.^2)$$

$$P = \text{sum}(x.^2)/\text{length}(x)$$

где $\text{length}(x)$ — длина последовательности.

Автокорреляционная функция (АКФ) $R_x(m)$ последовательности длины N позволяет оценить зависимость между ее отсчетами при различных сдвигах по времени m :

$$R_x(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} x(n)x(n+m), \quad -(N-1) \leq m \leq (N-1) \quad (1)$$

Автоковариационная функция $r_x(m)$ позволяет оценить зависимость между отклонениями отсчетов последовательности от среднего значения μ_x при различных сдвигах по времени m :

$$r_x(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} [x(n) - \mu_x][x(n+m) - \mu_x], \quad -(N-1) \leq m \leq (N-1) \quad (2)$$

Согласно определению, $R_x(m)$ (1) и $r_x(m)$ (2) являются четными функциями длины $L = 2N - 1$, центрированными относительно $m=0$:

$$R_x(m) = R_x(-m);$$

$$r_x(m) = r_x(-m).$$

В точке $m = 0$ имеем:

$$R_x(0) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n) = P_{cp\ x} = \sigma_x^2 + \mu_x^2, \quad (3)$$

$$r_x(0) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [x(n) - \mu_x]^2 = \sigma_x^2 \quad (4)$$

где $P_{cp\ x}$ и σ_x^2 — средняя мощность и дисперсия последовательности $x(n)$. Очевидно, что при $\mu_x = 0$ получаем равенства:

$$R_x(m) = r_x(m);$$

$$R_x(0) = r_x(0) = \sigma_x^2$$

АКФ и автоковариационная функция рассчитываются с помощью функций (без учета множителя $1/N$):

$$R = \text{xcorr}(x)$$

$$r = \text{xcov}(x)$$

где x — вектор отсчетов исходной последовательности длины N ; R и r — векторы длины $L = 2N - 1$ значений АКФ $R_x(m)$ и автоковариационной функции $r_x(m)$, соответственно, центрированных относительно $m = N$:

$$R_x(N+m) = R_x(N-m), \quad m = 1, 2, \dots, N-1; \quad (5)$$

$$r_x(N+m) = r_x(N-m), \quad m = 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

При этом в точке $m = N$ имеем:

$$R_x(N) = P_{cp\ x} = \sigma_x^2 + \mu_x^2 \quad (7)$$

$$r_x(N) = \sigma_x^2. \quad (8)$$

Для вывода графика АКФ, центрированного относительно $m = 0$, следует выбрать

интервал $m \in [-(N-1); (N+1)]$.

2. Случайные дискретные сигналы (последовательности)

Случайным (стохастическим) дискретным сигналом называют сигнал, значения которого в дискретные моменты времени n (или nT) заранее неизвестны и могут быть определены лишь с некоторой вероятностью.

Случайный дискретный сигнал описывается совокупностью случайных последовательностей $x_k(n)$, $k=1,2,\dots,K$, $n=0,1,2,\dots,N-1$, и закономерностями, характеризующими свойства совокупности.

Описание случайного дискретного сигнала удобно представить в виде матрицы X :

$$X = \begin{bmatrix} x_1(0) & x_1(1) & \dots & x_1(n) & \dots & x_1(N-1) \\ x_2(0) & x_2(1) & \dots & x_2(n) & \dots & x_2(N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_K(0) & x_K(1) & \dots & x_K(n) & \dots & x_K(N-1) \end{bmatrix}$$

Ансамблем реализаций называют совокупность случайных последовательностей $x_k(n)$ (строки матрицы X), а реализацией — одну из последовательностей.

Любая реализация случайного сигнала представляет собой детерминированный сигнал.

В большинстве случаев в качестве закономерностей, характеризующих свойства дискретного случайного сигнала X , ограничиваются одномерной и двумерной плотностями вероятности.

Одномерная плотность вероятности случайного дискретного сигнала $p(x,n)$, где x — значения случайного сигнала X в моменты времени n , позволяет посредством статистического усреднения (под статистическим усреднением понимают усреднение по ансамблю реализаций в фиксированный момент времени n) при достаточно большом K (теоретически $K \rightarrow \infty$) определить следующие статистические характеристики случайного дискретного сигнала:

- математическое ожидание $\mu_X(n)$ — средние значения элементов столбца в моменты времени n , $n = 0,1,\dots,(N-1)$;

- дисперсию $\sigma_X^2(n)$ — средние значения квадратов разностей между элементами столбца и его средним значением $\mu_X(n)$ в моменты времени n , $n = 0,1,\dots,(N-1)$.

Двумерная плотность вероятности случайного дискретного сигнала $p(x_1, x_2, m, n)$, где x_1, x_2 — значения сигнала X в моменты времени m и n , позволяет посредством статистического усреднения определить дополнительные статистические характеристики случайного дискретного сигнала:

- АКФ $R_X(m, n)$ — АКФ (1), где последовательности $x(n)$ соответствует усредненная по ансамблю последовательность $\mu_X(n)$, $n = 0,1,\dots,(N-1)$; —

- автоковариационную функцию $r_X(m, n)$ — автоковариационная функция (2), где значению μ_X соответствует среднее значение $\mu_X(n)$ — константа.

Случайный дискретный сигнал X называют **стационарным в широком смысле**, если его одномерная плотность вероятности не зависит от времени n , а двумерная — зависит только от сдвига по времени m .

Случайный дискретный сигнал X называют **стационарным в узком смысле** (строго стационарным), если сказанное справедливо для его любой n -мерной плотности вероятности.

Таким образом, сигнал, стационарный в узком смысле, всегда стационарен в широком смысле, но не наоборот.

По умолчанию под стационарностью случайного дискретного сигнала будем подразумевать его стационарность в широком смысле.

Следствием стационарности случайного дискретного сигнала будет независимость от времени n его статистических характеристик: математического ожидания μ_X и дисперсии σ_X^2 . При этом АКФ $R_X(m)$ и автоковариационная функция $r_X(m)$ будут зависеть только от сдвига по времени m .

Иными словами, статистические характеристики стационарного случайного дискретного

сигнала обладают свойством инвариантности во времени.

Соответственно, статистические характеристики нестационарного случайного дискретного сигнала будут зависеть от времени n (не обладают свойством инвариантности во времени).

В теории ЦОС понятие ансамбля реализаций широко используется как удобная математическая концепция при выводе многих соотношений. Однако на практике при обработке сигналов, как правило, доступна для наблюдения лишь одна реализация случайного дискретного сигнала.

Стационарный случайный дискретный сигнал называется эргодическим, если при определении его статистических характеристик усреднение по ансамблю реализаций эквивалентно усреднению по времени одной реализации, теоретически бесконечной длины $N \rightarrow \infty$.

Эргодический случайный дискретный сигнал — случайная последовательность $x(n)$ — описывается математическим ожиданием (средним значением) μ_x , дисперсией σ_x^2 , АКФ $R_x(m)$ и автоковариационной функцией $r_x(m)$.

При конечной длине N последовательности говорят о вычислении их оценок:

$$\hat{\mu}_x = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n);$$
$$\hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [x(n) - \hat{\mu}_x]^2.$$

Оценки АКФ $\hat{R}_x(m)$ и автоковариационной функции $\hat{r}_x(m)$ получают соответственно по формулам (1) и (2).

Очевидно, что статистические характеристики эргодического случайного дискретного сигнала, по определению стационарного, обладают свойством инвариантности во времени.

При обработке случайного сигнала в реальном времени его статистическая модель может быть заранее не определена. В этом случае принято говорить о текущих оценках статистических характеристик $\mu_x(n)$, $\sigma_x^2(n)$, $R_x(m,n)$, $r_x(m,n)$ на интервале $[0; n]$.

Далее по умолчанию подразумеваются эргодические случайные дискретные сигналы.

В MATLAB для вычисления оценок математического ожидания M и дисперсии D используются функции:

$M = \text{mean}(x)$

$D = \text{var}(x)$

где x — вектор отсчетов исходной последовательности длины N .

При моделировании методов и алгоритмов ЦОС часто используют случайные последовательности в виде белого шума. Две его широко применяемые разновидности генерируются в MATLAB:

- равномерный белый шум — последовательность случайных чисел из диапазона $[0;1]$, распределенных по равномерному закону (математическое ожидание — 0,5 и дисперсия — 1/12) — с помощью функции:

$x = \text{rand}(1,N)$

где x — вектор-строка отсчетов случайной последовательности длины N . Автоковариационная функция данного равномерного белого шума при $N \rightarrow \infty$

имеет вид цифрового единичного импульса;

- нормальный белый шум — последовательность случайных чисел, распределенных по нормальному закону (математическое ожидание — 0 и дисперсия — 1) — с помощью функции:

$x = \text{randn}(1,N)$

АКФ данного нормального белого шума при $N \rightarrow \infty$ имеет вид цифрового единичного импульса.

Для моделирования нормального белого шума с заданными математическим ожиданием (средним значением) и дисперсией воспользуемся свойствами дисперсии $D\{X\}$ и

математического ожидания $M\{X\}$ случайной величины X :

$$M\{X+C\} = M\{X\}+C;$$

$$D\{X+C\} = D\{X\} + D\{C\} = D\{X\};$$

$$M\{BX\} = BM\{X\};$$

$$D\{BX\} = B^2D\{X\};$$

где C , B — константы.

Таким образом, на основе случайной величины X с нулевым математическим ожиданием $M\{X\} = 0$ и единичной дисперсией $D\{X\} = 1$ можно получить случайную величину \check{X} :

$$\check{X} = BX + C \quad (9)$$

с математическим ожиданием $M\{\check{X}\} = C$ и дисперсией $D\{\check{X}\} = B^2$.

2 Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Исходные данные.
3. Графики зависимостей мгновенных значений анализируемого сигнала от времени для заданных частот дискретизации.
4. Спектры сигналов для заданных значений длительностей интервалов анализа.
5. Зависимости частоты гармоник, соответствующей максимальному значению спектра сигнала, от длительности интервала анализа.
6. Зависимости амплитуды гармоник, соответствующей максимальному значению спектра, от длительности интервала анализа.
7. Выводы по результатам сравнительного анализа зависимостей, представленных в отчете.

3. Контрольные вопросы:

1. Какой сигнал называется детерминированным сигналом?
2. Взаимосвязь между дискретным и непрерывным нормированным временем;
3. Назовите основные статистические характеристики случайных сигналов, объясните их физический смысл на примере зависимости мгновенного значения тока $i(t)$ в электрической цепи.
4. Что показывает автокорреляционная функция?
5. Что показывает автоковариационная функция?
6. Приведите определение стационарного случайного сигнала.
7. Приведите определение строго стационарного случайного сигнала.

3.3. Типовые материалы для проведения промежуточной аттестации обучающихся

ОПК-3.3. Уметь: решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования

Перечень вопросов на устный экзамен:

1. Преимущества цифровой обработки сигналов (ЦОС).
2. Особенности применения ЦОС для обработки речи и звука.
3. Особенности применения ЦОС для обработки изображений и видео.
4. Применение ЦОС в телекоммуникации.
5. Назвать базовые операции ЦОС и их основные свойства.
6. Типичная функциональная схема системы цифровой обработки сигналов.
7. Процессы дискретизации и квантования.
8. Сформулировать теорему отсчетов и ее значение для ЦОС.
9. Аналого-цифровые преобразователи. Линейная импульсно-кодовая модуляция (ИКМ).
10. Процесс цифро-аналогового преобразования: восстановление аналогового сигнала. Цифро-аналоговые преобразователи.

11. Применение фильтров нижних частот в системах ЦОС.
12. Ряд Фурье. Преобразование Фурье.
13. Разложение периодических функций в ряд Фурье.
14. Эффект Гиббса.
15. Спектральный анализ непрерывных непериодических сигналов.
16. Спектральный анализ дискретных сигналов.
17. Спектральный анализ дискретных сигналов конечной длительности
18. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и обратное ДПФ. Свойства ДПФ.
19. Операция свертки.
20. Автокорреляция и взаимная корреляция последовательностей.
21. Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ) с децимацией во временной области: схема «бабочка», вычислительные преимущества БПФ перед ДПФ.
22. Обратное быстрое преобразование Фурье.
23. БПФ с частотной децимацией.
24. Сравнение алгоритмов с временной децимацией и частотной децимацией.
25. Дискретное косинус-преобразование (ДКП).
26. Преобразование Уолша и преобразование Адамара.
27. Вейвлет-преобразование сигналов.
28. Применение ДКП для сжатия изображений: квантование коэффициентов двумерного ДКП, кодирование.
29. Определение и примеры z-преобразования.
30. Обратное z-преобразование и его вычисление с помощью метода степенных рядов.
31. Обратное z-преобразование и его вычисление с помощью метода разложения на элементарные дроби.
32. Обратное z-преобразование и его вычисление с помощью метода вычетов.
33. Свойства z-преобразования.
34. Применение z-преобразования для описания систем дискретного времени.
35. Методы вычисления частотной характеристики.
36. Оценка импульсной характеристики.
37. Применение z-преобразования при проектировании цифровых фильтров.
38. Определение процесса корреляции.
39. Взаимная корреляция и автокорреляция.
40. Применение корреляции: детектирование зашумленных периодических сигналов.
41. Согласованный фильтр.
42. Применение корреляции для оценки отношения сигнал-шум в зашумленном периодическом сигнале.
43. Определение процесса свертки. Свойства свертки.
44. Идентификация систем. Обращение свертки.
45. Связь между корреляцией и сверткой.
46. Типы цифровых фильтров: КИХ- и БИХ-фильтры.
47. Выбор между КИХ- и БИХ-фильтрами.
48. Проектирование цифровых фильтров.
49. Функциональные схемы цифровых фильтров.

Банк контрольных вопросов, заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации находится в учебно-методическом комплексе дисциплины и/или представлен в электронной информационно-образовательной среде по URI: <http://www.aup.uisi.ru/>.

3.4.Методические материалы проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся

Перечень методических материалов для подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации:

1. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».–URL:<https://aup.uisi.ru/3583981/3>.
2. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».– URL – <https://aup.uisi.ru/3583981/>