

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.А. Небольсин

_____/_____/_____
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Статистическая радиотехника»

Специальность 11.05.01 Радиозэлектронные системы и комплексы
Направленность Радиозэлектронные системы передачи информации
Квалификация выпускника Инженер
Нормативный период обучения 5,5 лет
Форма обучения Очная
Год начала подготовки 2020 г.

Автор программы  /Токарев А.Б./

Заведующий кафедрой  /Останков А.В./

Руководитель ОПОП  /Журавлёв Д.В./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины

Формирование у студентов базового объема знаний, позволяющего подходить к решению инженерных радиотехнических задач со статистических позиций.

1.2 Задачи освоения дисциплины

Изучение математического аппарата, применяемого при вероятностном описании явлений и процессов.

Освоение базовых методов статистического анализа и синтеза радиотехнических устройств и систем.

Получение навыка использования методов оптимального приема сигналов на фоне помех.

Приобретение знаний и навыков использования методов оптимального оценивания и фильтрации параметров сигналов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина (модуль) «Статистическая радиотехника» относится к дисциплинам обязательной части блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Статистическая радиотехника» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать специфику математического аппарата, применяемого при вероятностном описании явлений и процессов
	уметь осуществлять сбор, обработку, классификацию и критический анализ научной информации, составлять план физического эксперимента, включая выбор технических средств его реализации

	владеть навыками реализации математических и алгоритмических моделей из исследуемой предметной области
ОПК-2	знать методы статистической радиотехники, основы теории обнаружения и различения сигналов, оценивания параметров сигналов и фильтрации информационных процессов
	уметь применять статистические теории обнаружения-различения сигналов, оценивания их параметров сигналов и фильтрации информационных процессов; использовать теорию оптимального приёма сигналов при проектировании радиосистем передачи информации
	владеть навыками статистического анализа и синтеза радиотехнических устройств и систем, навыками оценивания и фильтрации параметров радиосигналов, методами оптимизации радиотехнических систем, комплексов и их подсистем

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Статистическая радиотехника» составляет 5 зачетных(е) единиц(ы).

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		6	7	
Аудиторные занятия (всего)	72	36	36	
В том числе:				
Лекции	36	18	18	
Практические занятия (ПЗ)		-	-	
Лабораторные работы (ЛР)	36	18	18	
Самостоятельная работа	72	36	36	
Часы на контроль	36	-	36	
Курсовой проект (работа) (есть, нет)		нет	нет	
Контрольная работа (есть, нет)		нет	нет	
Вид промежуточной аттестации (зачет, зачет с оценкой, экзамен)		Зачет	Экзамен	
Общая трудоемкость	час	180	72	108
	зач. ед.	5	2	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Все го, час
1	Случайные процессы (СП), их характеристики и классификация	Случайные процессы (СП) и их вероятностное описание. Одномерная и двумерная плотности распределения вероятностей СП. Числовые характеристики процесса (математическое ожидание, дисперсия). Классификация случайных процессов. Процессы нестационарные, стационарные в широком и узком смысле. Эргодические процессы и способы измерения их характеристик. Корреляционное описание случайных процессов. Свойства корреляционной и ковариационной функций, коэффициента корреляции. Спектральное описание случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум и его свойства.	4	12	8	24
2	Прохождение случайных процессов через линейные цепи	Частотный метод анализа характеристик стационарных сигналов после прохождения через линейные цепи. Временной метод анализа свойств стационарных сигналов после прохождения через линейные цепи. Понятие шумовой полосы пропускания линейной цепи и её применение для расчета мощности шумов, прошедших через цепь.	2	6	6	14
3	Характеристики узкополосных случайных процессов	Узкополосные случайные процессы. Особенности корреляционной функции узкополосных СП. Нормальный узкополосный случайный процесс. Преобразователь Гильберта и его свойства. Понятия огибающей и фазы случайного процесса. Вероятностные характеристики огибающей и фазы узкополосного нормального СП.	2	-	2	4
4	Нелинейные преобразования случайных процессов	Преобразование случайных процессов в нелинейных безынерционных цепях. Связь между плотностями вероятностей входного и выходного процессов; преобразование числовых характеристик. Расчет корреляционной функции и спектральной плотности мощности при нелинейном безынерционном преобразовании. Нелинейные преобразования, безынерционные по отношению к огибающей и фазе случайных процессов. Воздействие узкополосного процесса и смеси подобного СП с регулярным гармоническим сигналом на амплитудный детектор.	4	См. семестр 7	6	10

5	Оптимальная линейная фильтрация сигналов. Сложные сигналы и их применение	Оптимальная фильтрация случайных сигналов неизвестной формы с известными спектральными свойствами. Оптимальное обнаружение сигналов известной формы на фоне белого шума. Согласованные и квазиоптимальные фильтры. Проблема синхронизации при согласованной фильтрации радиосигналов. Некогерентный прием сигналов. Оптимальное обнаружение сигналов известной формы на фоне помехи с неравномерной спектральной плотностью мощности. Сложные сигналы и их применение.	6	См. семестр 7	6	12
		Подготовка к зачету			8	8
		Итого в 6 семестре	18	18	36	72
-	-	Лабораторные работы по темам 4-5, выполнение которых завершается в 7 семестре		10		
6	Основы теории измерения параметров сигналов	Байесовские оценки случайных параметров сигналов. Критерии качества оценивания параметров сигналов. Граница Крамера-Рао. Максимально правдоподобные оценки параметров сигналов. Дисперсии оценок и функции неопределенности. Аномальные ошибки и пороговые эффекты при оценивании параметров сигналов. Конкретные примеры процедур оценивания.	12	2	16	38
7	Элементы теории фильтрации сигналов	Оптимальная линейная фильтрация скалярного параметра. Уравнения фильтра Калмана. Фильтр Калмана при оценивании векторных параметров сигналов. Применение фильтров Калмана к задачам нелинейной фильтрации.	6	6	12	26
		Подготовка к экзамену			8	8
		Итого в 7 семестре	18	18	36	72
		Контроль				36
		Итого	36	36	72	180

5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы включают блок теоретических расчетов, выполнение домашних заданий, проведение лабораторных исследований, защиту результатов работы. Перечень работ включает следующие темы:

Вероятностные характеристики случайных процессов (6 часов).

Корреляционные и спектральные характеристики случайных процессов (6 часов).

Преобразование случайных процессов в линейных радиотехнических цепях (6 часов).

Безынерционные нелинейные преобразования стационарных процессов (6 часов).

Оптимальная линейная фильтрация сигналов неизвестной формы (4 часа).

Согласованная фильтрация сигналов известной формы (4 часа).

Калмановская фильтрация скалярного параметра сигнала (4 часа).

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы).

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать специфику математического аппарата, применяемого при вероятностном описании явлений и процессов	Знание учебного материала и готовность к его обсуждению и применению для выполнения практических заданий	Готовность представить аргументированные рассуждения в области вероятностного описания явлений и процессов	Неспособность представить аргументированные рассуждения по вероятностному описанию явлений и процессов
	уметь осуществлять сбор, обработку, классификацию и критический анализ научной информации, составлять план физического эксперимента, включая выбор технических средств его реализации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками реализации математических и алгоритмических моделей из исследуемой предметной области	Решение прикладных задач из области статистического анализа радиотехнических устройств и систем	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	знать методы статистической радиотехники, основы теории обнаружения и различения сигналов, оценивания параметров сигналов и фильтрации информационных процессов	Знание учебного материала и готовность к его обсуждению и применению для выполнения практических заданий	Готовность представить аргументированные рассуждения в области вероятностного описания явлений и процессов	Неспособность представить аргументированные рассуждения по вероятностному описанию явлений и процессов

уметь применять статистические теории обнаружения-различения сигналов, оценивания их параметров сигналов и фильтрации информационных процессов; использовать теорию оптимального приёма сигналов при проектировании радиосистем передачи информации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
владеть навыками статистического анализа и синтеза радиотехнических устройств и систем, навыками оценивания и фильтрации параметров радиосигналов, методами оптимизации радиотехнических систем, комплексов и их подсистем	Решение прикладных задач из области статистического анализа радиотехнических устройств и систем	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре обучения по системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знать специфику математического аппарата, применяемого при вероятностном описании явлений и процессов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь осуществлять сбор, обработку, классификацию и критический анализ научной информации, составлять план физического эксперимента, включая выбор технических средств его реализации	Самостоятельное решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками реализации математических и алгоритмических моделей из исследуемой предметной области	Самостоятельное решение прикладных задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	знать методы статистической радиотехники, основы теории обнаружения и различения сигналов, оценивания параметров сигналов и фильтрации информационных процессов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

уметь применять статистические теории обнаружения-различения сигналов, оценивания их параметров сигналов и фильтрации информационных процессов; использовать теорию оптимального приёма сигналов при проектировании радиосистем передачи информации	Самостоятельное решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
владеть навыками статистического анализа и синтеза радиотехнических устройств и систем, навыками оценивания и фильтрации параметров радиосигналов, методами оптимизации радиотехнических систем, комплексов и их подсистем	Самостоятельное решение прикладных задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Функцией распределения случайного процесса $\xi(t)$ называют вероятность

$$\begin{aligned} \text{A. } F_{\xi}(x;t) &= P\{ \xi(t) = x \}. & \text{B. } F_{\xi}(x;t) &= P\{ \xi(t) < x \}. & \text{C. } F_{\xi}(x;t) &= P\{ \xi(t) > x \}. \\ \text{D. } F_{\xi}(x;t) &= P\{ |\xi(t)| \geq x \}. & \text{E. } F_{\xi}(x;t) &= P\{ |\xi(t)| \leq x \} \end{aligned}$$

2. Спектральная плотность мощности случайного процесса $S_{\eta}(\omega)$ на выходе линейной цепи может быть рассчитана по спектральной плотности мощности воздействия $S_{\xi}(\omega)$ и комплексному коэффициенту передачи цепи $\dot{K}(\omega)$ по правилу

$$\begin{aligned} \text{A. } S_{\eta}(\omega) &= S_{\xi}(\omega) / \dot{K}(\omega). & \text{B. } S_{\eta}(\omega) &= S_{\xi}(\omega) \cdot \dot{K}(\omega). & \text{C. } S_{\eta}(\omega) &= S_{\xi}(\omega) + \dot{K}(\omega). \\ \text{D. } S_{\eta}(\omega) &= \dot{K}^2(\omega) \cdot S_{\xi}(\omega). & \text{E. } S_{\eta}(\omega) &= |\dot{K}(\omega)|^2 \cdot S_{\xi}(\omega) \end{aligned}$$

3. Шумовую полосу пропускания линейной цепи используют для расчета...

- A. математического ожидания процесса на выходе этой цепи.
- B. мощности случайного процесса на выходе линейной цепи, на вход которой воздействует белый шум.
- C. изменения амплитуды гармонического колебания при его прохождении через линейную цепь.
- D. диапазона частот, за пределами которого интенсивность спектральных составляющих процесса на выходе линейной цепи будет строго равно нулю.

4. **Огибающая** нормального шума с нулевым средним значением подчиняется
- A. Нормальному закону распределения.
 - B. Релеевскому закону распределения.
 - C. Равномерному закону распределения.
 - D. Экспоненциальному закону распределения.
5. Под эффектом нормализации случайных процессов при их прохождении через линейные цепи понимается...
- A. возникновение нормального закона распределения у случайного процесса на выходе цепи, если воздействующий процесс является широкополосным, а цепь – узкополосная.
 - B. нормировка по уровню значений случайного процесса, наблюдаемого на выходе узкополосной линейной цепи.
 - C. осуществление детектирования узкополосного случайного процесса при его прохождении через широкополосную линейную цепь.
 - D. отсутствие аномально больших по величине выбросов реализаций, наблюдаемых на выходе линейной цепи.
6. Критерием оптимальности обработки сигналов в аналоговых системах связи является обеспечение...
- A. точное совпадение сигнала, получаемого в результате фильтрации, с исходным сигналом, формируемым передатчиком системы.
 - B. максимально достижимой вероятности обнаружения сигнала, излучавшегося передатчиком, на приёмной стороне канала связи.
 - C. минимизация среднеквадратической погрешности, характеризующей отличие принятого сигнала от сигнала, излучавшегося передатчиком.
 - D. равенства нулю интенсивности шумовой составляющей обрабатываемой смеси принятого полезного сигнала и шума.
7. Критерием оптимальности обработки сигналов при цифровой передаче информации в системах связи...
- A. минимизация среднеквадратической погрешности отличия принятого сигнала от сигнала, излучавшегося передатчиком.
 - B. обеспечение максимально возможного отношения сигнал-шум q на выходе оптимального фильтра и, соответственно, на входе порогового устройства в заранее выбранный момент времени
 - C. максимизация отклика на полезный сигнал на выходе обрабатывающего линейного фильтра.
 - D. равенства нулю интенсивности шумовой составляющей обрабатываемой смеси принятого полезного сигнала и шума.

8. Оптимальный фильтр обеспечивает минимум среднеквадратической погрешности приёма сигнала за счет...

- А. за счет полного подавления шумовой составляющей обрабатываемой смеси принятого полезного сигнала и шума.
- В. за счет максимально возможного усиления наибольших спектральных составляющих полезного сигнала.
- С. за счет синфазного сложения спектральных составляющих, относящихся к полезному сигналу.
- Д. за счет нулевой или линейной ФЧХ фильтра и за счет повышения АЧХ для частот, где отношение сигнал-шум велико, и понижения АЧХ на частотах, где отношение сигнал-шум мало.

9. Белым шумом называют случайный процесс, обладающий ...

- А. линейно нарастающей спектральной плотностью мощности.
- В. прямоугольной формой корреляционной функции.
- С. постоянной для всех τ корреляционной функцией.
- Д. постоянной на всех частотах спектральной плотностью мощности.

10. Оптимальный фильтр обеспечивает максимально возможное отношение сигнал-шум в заранее выбранный момент времени за счет...

- А. за счет АЧХ, пропорциональной отношению сигнал-шум, и ФЧХ, обеспечивающей синфазное сложение спектральных составляющих, относящихся к полезному сигналу.
- В. за счет максимально возможного усиления наибольших спектральных составляющих полезного сигнала.
- С. за счет максимально возможного подавления шумовых спектральных составляющих принимаемого колебания.
- Д. за счет строго линейной ФЧХ фильтра и повышения АЧХ для частот, где отношение сигнал-шум велико.

11. При приёме случайного полезного сигнала, характеризуемого спектральной плотностью мощности $S(\omega)$, на фоне аддитивного шума, характеризуемого спектральной плотностью мощности $N(\omega)$, комплексный коэффициент передачи оптимального фильтра Колмогорова-Винера определяется выражением

$$\begin{aligned} \text{А. } \dot{K}(\omega) &= S(\omega) / N(\omega). & \text{В. } \dot{K}(\omega) &= \frac{S(\omega)}{S(\omega) + N(\omega)}. & \text{С. } \dot{K}(\omega) &= \frac{N(\omega)}{S(\omega) + N(\omega)}. \\ \text{Д. } \dot{K}(\omega) &= \frac{S(\omega) \cdot N(\omega)}{S(\omega) + N(\omega)}. & \text{Е. } \dot{K}(\omega) &= \frac{S(\omega) + N(\omega)}{S(\omega) \cdot N(\omega)}. \end{aligned}$$

12. При обнаружении полностью известного сигнала $u(t)$ на фоне аддитивного белого шума решение следует принимать на основе сравнения в момент времени t_0 с порогом отклика согласованного фильтра, импульсная характеристика которого определяется выражением

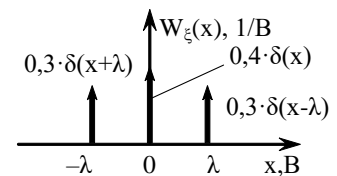
- A. $g_{C\Phi}(t) = A \cdot u(t_0 - t)$. B. $g_{C\Phi}(t) = A \cdot u(t)$. C. $g_{C\Phi}(t) = A \cdot u(t_0)$.
 D. $g_{C\Phi}(t) = 1 / u(t_0 - t)$. E. $g_{C\Phi}(t) = t_0 - u(t)$

13. При обнаружении на фоне аддитивного белого шума полностью известного сигнала, характеризуемого комплексной спектральной плотностью $\dot{G}_u(\omega)$, решение следует принимать на основе сравнения в момент времени t_0 с порогом отклика согласованного фильтра, комплексный коэффициент передачи которого определяется выражением

- A. $\dot{K}_{C\Phi}(\omega) = A \cdot |\dot{G}_u(\omega)|^2$. B. $\dot{K}_{C\Phi}(\omega) = A / \dot{G}_u(\omega)$.
 C. $\dot{K}_{C\Phi}(\omega) = |\dot{G}_u(\omega)|^2 \cdot e^{+j\omega t_0}$ D. $\dot{K}_{C\Phi}(\omega) = A \cdot \dot{G}_u(\omega) \cdot e^{-j\omega t_0}$

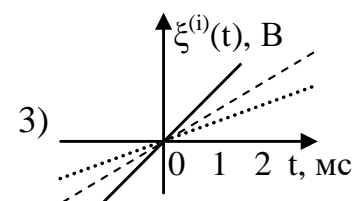
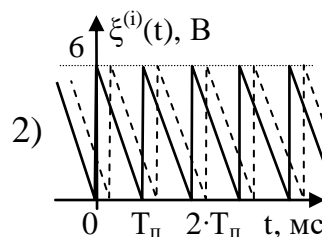
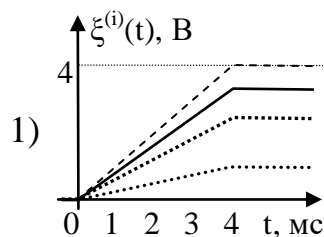
7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Представленная на рисунке справа плотность вероятности случайного процесса $\xi(t)$ указывает, что этот процесс



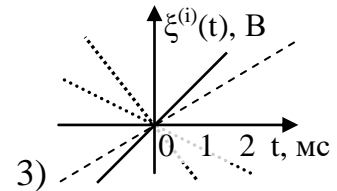
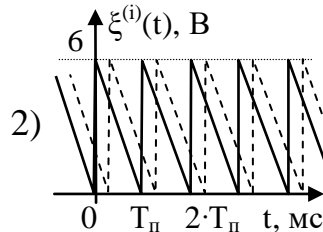
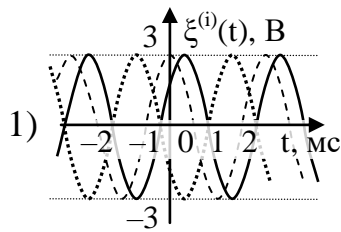
- A. Является нормальным белым шумом.
 B. Представляет собой сигнал, принимающий в каждый момент времени одно трёх разрешенных значений ($-\lambda$; 0 и λ) и, возможно, перепрыгивающий между этими уровнями в случайные моменты времени.
 C. Представляет собой сумму трёх гармонических колебаний разных частот.
 D. Представляет собой сигнал из трёх импульсов очень малой длительности.

2. Среди представленных на рисунках случайных процессов стационарными являются...



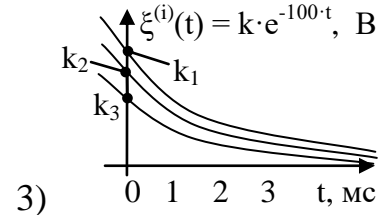
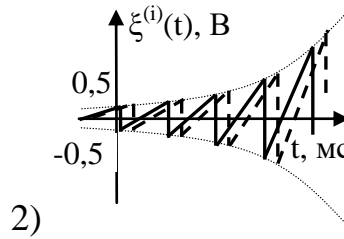
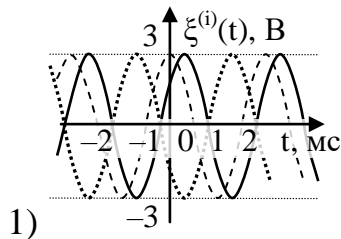
- A. только первый. B. только второй. C. только третий.
 D. первый и второй. E. второй и третий. F. первый и третий.

3. Среди представленных на рисунках случайных процессов эргодическими являются...



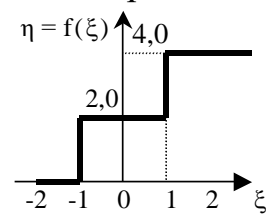
- A. только первый. В. только второй. С. только третий.
 D. первый и второй. Е. второй и третий. F. первый и третий.

4. Среди представленных на рисунках случайных процессов нестационарными являются...

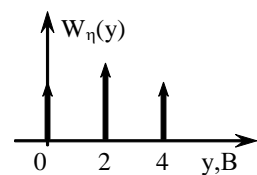


- A. только первый. В. только второй. С. только третий.
 D. первый и второй. E* второй и третий. F. первый и третий.

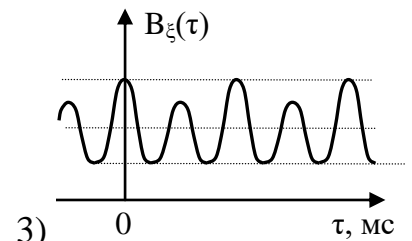
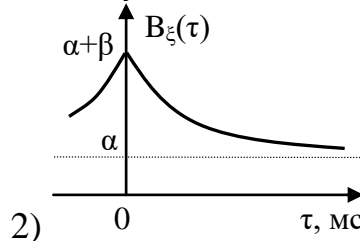
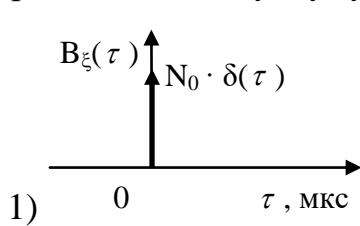
5. При воздействии нормального случайного процесса $\xi(t)$ на нелинейный преобразователь с представленной на рисунке справа характеристикой процесс $\eta(t)$ на выходе преобразователя будет обладать



- A. Равномерным законом распределения.
 B. Релеевским законом распределения.
 C. Плотностью вероятности, имеющей вид \rightarrow
 D. Экспоненциальным законом распределения.



6. Среди представленных на рисунках корреляционных функций случайных процессов белому шуму соответствует...



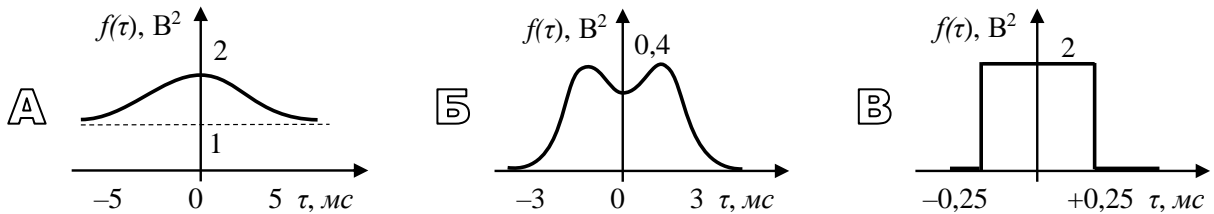
- A. только первая. В. только вторая. С. только третья.
 D. первая и вторая. Е. вторая и третья. F. первая и третья.

7. **Нормально** распределенное случайное напряжение ξ с математическим ожиданием 2 В и эффективным значением 3 В, характеризуется плотностью распределения вероятности

А. $\frac{1}{3} \cdot e^{-\frac{(x-2)^2}{2}}$ В. $\frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 3} \cdot e^{-\frac{(x-2)^2}{2 \cdot 3^2}}$ С. $\frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-3)^2}{2 \cdot 2^2}}$ Д. $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-3)^2}{2 \cdot 2^2}}$

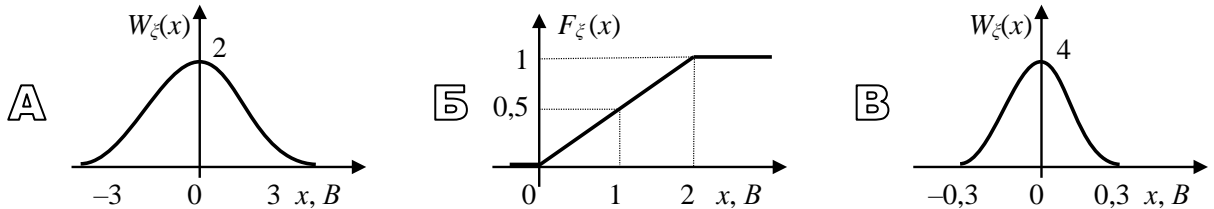
8. Построить график импульсной характеристики фильтра, согласованного с сигналом $s(t) = k \cdot t$, $0 \leq t \leq T_c$.

9. Для набора графиков укажите:



Какие из представленных зависимостей не могут служить корреляционными функциями случайных процессов и почему? Для графиков, соответствующих возможным корреляционным функциям СП, укажите, как они изменятся, если математическое ожидание СП сделать равным минус 1 вольту?

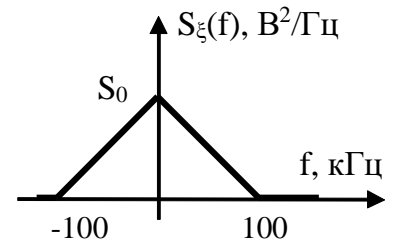
10. Для набора графиков укажите:



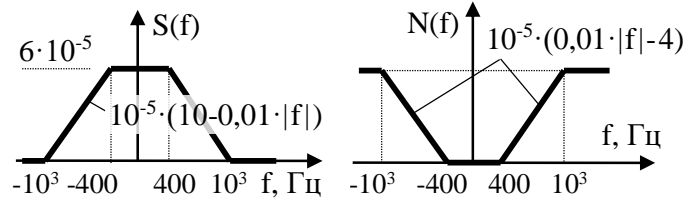
какие из представленных зависимостей не могут служить законами распределения нормального случайного процесса и почему?

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

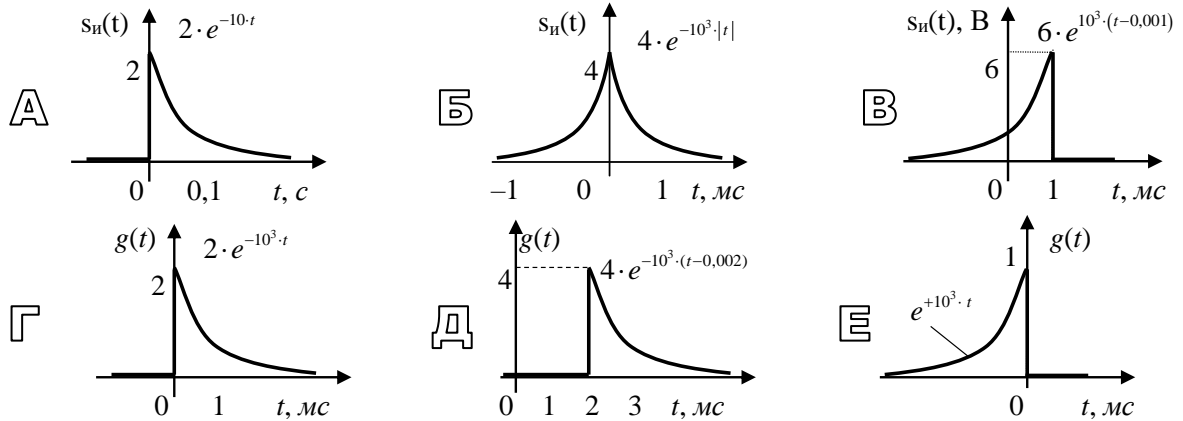
1. Случайный процесс со спектральной плотностью мощности $S_\xi(f)$, воздействует на идеальный фильтр нижних частот (ИФНЧ) с граничной частотой полосы пропускания $f_c = 40$ кГц. Определите коэффициент передачи в полосе пропускания ИФНЧ, если известно, что эффективные значения процессов, наблюдаемых на входе и выходе фильтра, одинаковы.



2. Определите комплексный коэффициент передачи линейного фильтра, обеспечивающего наименьшую среднеквадратическую ошибку фильтрации полезного сигнала с СПМ $S(f)$ на фоне помехи с СПМ $N(f)$.



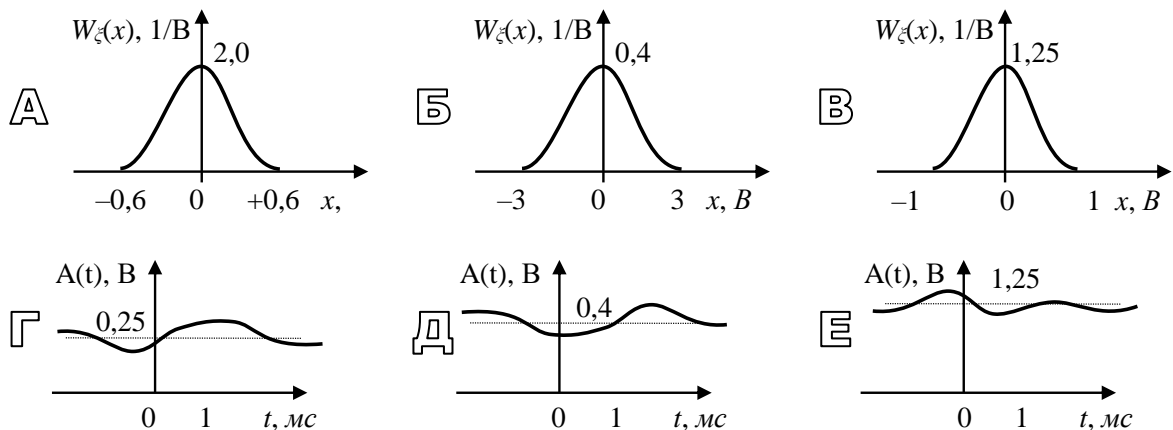
3. Для набора графиков укажите:



есть ли среди представленных на рисунках «Г»-«Е» импульсные характеристики реализуемых фильтров, согласованных с сигналами с рисунков «А»-«В»?

Для пар сигнал/согласованный фильтр определите, какое отношение сигнал-шум будет обеспечиваться при обнаружении на фоне шума с СПМ $N_0 = 4 \cdot 10^{-4}$ ($B^2/Гц$)?

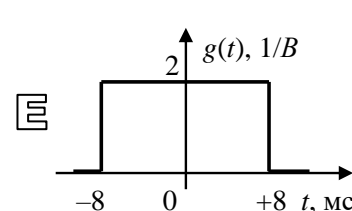
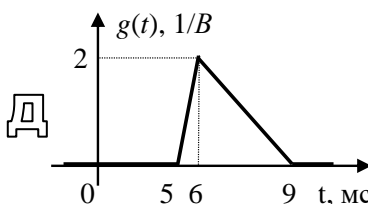
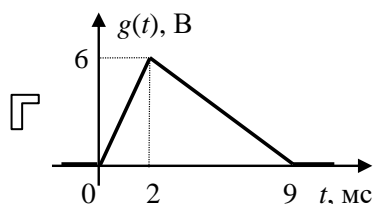
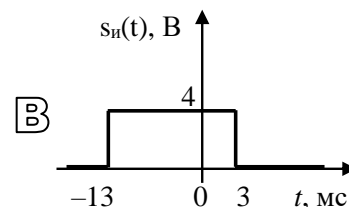
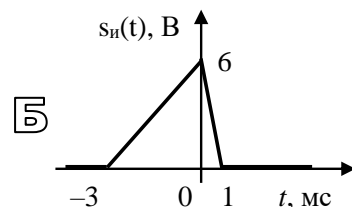
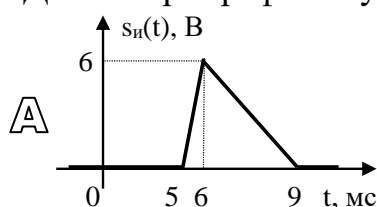
4. Для набора графиков укажите:



есть ли среди представленных на рисунках «Г»-«Е» графиков такие, которые могут служить осциллограммами огибающих шумовых СП, с законами распределения с рисунков «А»-«В»?

Для шума, закон распределения которого показан на рисунке «А», нарисуйте приближенно закон распределения огибающей и закон распределения фазы?

5. Для набора графиков укажите:



есть ли среди представленных на рисунках «Г»-«Е» импульсные характеристики реализуемых фильтров, согласованных с сигналами с рисунков «А»-«В»?

Если организовать согласованную фильтрацию сигналов «А»-«В», то для какого (каких) сигналов отношение сигнал-шум q будет наибольшим, а для каких – наименьшим?

6. Имеется n независимых отсчетов x_i случайного процесса, характеризуемого плотностью вероятности $W_{\xi}(x) = \frac{2x}{\theta^2}$, при $x \in [0, \theta]$.

Доказать, что оценка максимального правдоподобия для параметра распределения, может рассчитываться в соответствии с выражением $\hat{\theta} = \max x_i$.

7. Имеется n независимых отсчетов x_i случайного процесса, характеризуемого плотностью вероятности $W_{\xi}(x) = \begin{cases} \exp(\beta - x), & x \geq \beta \\ 0, & x < \beta \end{cases}$, где параметр β распределен равномерно на отрезке $[0, 1]$. Доказать, что байесовская оценка параметра распределения при квадратичной функции потерь может рассчитываться в соответствии с выражением $\hat{\beta} = \min(x_{(1)}, 1)$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Случайные процессы (СП) и их вероятностное описание. Числовые характеристики случайных процессов.
2. Многомерные функции распределения и плотности распределения вероятностей случайных процессов и их свойства.
3. Классификация случайных процессов. Признаки стационарности случайных процессов. Эргодические случайные процессы и экспериментальные способы оценки их числовых и вероятностных характеристик.
4. Нормальный эргодический случайный процесс, его числовые характеристики.
5. Корреляционная функция эргодического СП; ее свойства и методы экспериментального измерения. Понятие интервала корреляции СП.

6. Спектральная плотность мощности эргодического СП. Экспериментальное измерение спектральной плотности мощности СП. Понятие ширины спектра СП. Связь между спектральной плотностью мощности СП и корреляционной функцией СП.
7. Узкополосный нормальный эргодический процесс. Огибающая и фаза этого процесса, их плотность распределения и числовые характеристики.
8. Аддитивная смесь регулярного гармонического сигнала и узкополосного нормального СП. Плотность распределения значений огибающей. (Воздействие смеси гармонического сигнала и узкополосного нормального шума на линейный амплитудный детектор).
9. Частотный и временной методы определения спектральной плотности мощности и корреляционной функции случайного процесса на выходе линейной цепи.
10. Плотность вероятности и числовые характеристики случайных процессов на выходе нелинейной безынерционной цепи.
11. Предельно достижимое отношение сигнал/шум на выходе линейной цепи при оптимальном обнаружении сигнала известной формы в условиях действия белого шума (согласованная фильтрация).
12. Согласованный фильтр; импульсная характеристика и комплексный коэффициент передачи согласованного фильтра.
13. Проблема синхронизации при когерентном обнаружении сигнала известной формы. Некогерентное обнаружение сигналов, его достоинства и недостатки.
14. Оптимальное обнаружение сигналов известной формы в условиях действия помехи с произвольной формой спектральной плотности мощности. Оптимальный фильтр и его комплексный коэффициент передачи.
15. Квазиоптимальные фильтры; их достоинства и недостатки в сравнении с согласованными фильтрами.
16. Оптимальное выделение сигналов неизвестной формы в условиях действия помехи с произвольной формой спектральной плотности мощности. Коэффициент передачи оптимального фильтра.
17. Оптимальная фильтрация сигнала неизвестной формы в условиях действия помехи с произвольной формой спектральной плотности мощности. Минимально достижимая среднеквадратическая ошибка фильтрации сигнала.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Векторное представление сигнала. Основные характеристики сигнала в функциональном пространстве (расстояние между двумя разными сигналами, угол между векторами этих сигналов, удаление сигнала от начала координат).
2. Функциональное пространство сигналов; размерность пространства. Понятие базы сигнала (ансамбля сигналов).
3. Простые и сложные сигналы. База простого и сложного сигналов. Преимущества и недостатки сложного сигнала по сравнению с простым.
4. Простые и сложные сигналы. Методы формирования сложных сигналов.
5. Байесовские оценки случайных параметров сигналов.

6. Максимально правдоподобные оценки случайных параметров сигналов.
7. Критерии качества оценивания параметров сигналов. Дисперсии оценок и функции неопределенности.
8. Граница Крамера-Рао при оценивании параметров сигналов.
9. Оценка параметров сигналов. Матрица Фишера.
10. Аномальные ошибки и пороговые эффекты при оценивании параметров сигналов.
11. Оптимальная линейная фильтрация скалярных параметров радиосигналов. Уравнения фильтра Калмана.
12. Особенности фильтрации векторных параметров сигналов.
13. Применение фильтров Калмана к задачам нелинейной фильтрации.

Представленный набор вопросов дополняется вопросами из п. 7.2.4.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов, одну стандартную и одну прикладную задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, стандартная задача оценивается в 5 баллов, прикладная задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

При проведении зачета разрешается использование:

- конспектов лекций;
- учебной литературы в бумажной форме;
- настольных микрокалькуляторов или приложения «Инженерный калькулятор» на ПЭВМ (при проведении зачета в аудитории, содержащей вычислительную технику).

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Случайные процессы (СП), их характеристики и классификация	ОПК-1, ОПК-2	Тест, зачет, экзамен
2	Прохождение случайных процессов через линейные цепи	ОПК-1, ОПК-2	Тест, зачет, экзамен

3	Характеристики узкополосных случайных процессов	ОПК-1, ОПК-2	Тест, зачет, экзамен
4	Нелинейные преобразования случайных процессов	ОПК-1, ОПК-2	Тест, зачет, экзамен
5	Оптимальная линейная фильтрация сигналов. Сложные сигналы и их применение	ОПК-1, ОПК-2	Тест, зачет, экзамен
6	Основы теории измерения параметров сигналов	ОПК-1, ОПК-2	Тест, зачет, экзамен
7	Элементы теории фильтрации сигналов	ОПК-1, ОПК-2	Тест, зачет, экзамен

7.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 15 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 20 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8. УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Гоноровский И.С., Радиотехнические цепи и сигналы. – М, Дрофа, 2006.
 Лебедько Е.Г. Теоретические основы передачи информации. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 352 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/1543/#2>

Токарев, А.Б. Статистическая радиотехника. Лабораторный практикум. – Воронеж, Воронеж. гос. техн. ун-т, 2015. – 209 с.

Токарев А.Б. Теория вероятностей и случайные процессы в радиотехнике: учеб. пособие. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. Ч. 1. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Токарев А.Б. Теория вероятностей и случайные процессы в радиотехнике. Часть 2: учеб. пособие. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Специализированное ПО, разработанное на кафедре радиотехники ВГТУ, для проведения комплекса лабораторных работ по курсу «Статистическая радиотехника».

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Дисплейный класс № 219, оснащенный компьютерами со специализированными программными средствами для проведения лабораторных работ.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основой изучения дисциплины «Статистическая радиотехника» являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе, а также лабораторные занятия, ориентированные на детальное обследование свойств случайных процессов и результатов их преобразования в различных радиотехнических цепях.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится устным опросом. Освоение дисциплины оценивается путем экзамена (7 семестр).

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Освоение теоретических основ по лекциям, учебным пособиям, материалам сети Интернет, анализ методов решения типовых задач по

	материалам учебных пособий, осуществление самостоятельных теоретических расчетов для стандартных и прикладных задач, выполнение домашних заданий к лабораторным исследованиям и непосредственное проведение лабораторных исследований, анализ и обсуждение результатов работы в рамках малых исследовательских групп (бригад). Если самостоятельно разобраться в материале не удастся, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на лабораторном занятии.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации, а последние дни перед экзаменом следует использовать для повторения и систематизации материала.

При наличии среди обучающихся студентов-инвалидов и лиц с ОВЗ особенности изучения ими дисциплины согласуются с преподавателем в индивидуальном порядке.