

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Учебно-методическое объединение по образованию  
в области информатики и радиоэлектроники

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра  
образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ И.А.Старовойтова

**21.11.2019**

Регистрационный № ТД-1.1520/тип.

**ТЕОРИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ И КОМПЬЮТЕРНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ**

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине  
для специальностей**

**1-39 01 01 «Радиотехника (по направлениям)»;**

**1-39 01 04 «Радиоэлектронная защита информации»**

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Управления электроники и  
приборостроения, электротехнической,  
оптико-механической и  
станкоинструментальной  
промышленности  
Министерства промышленности  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ А.С.Турцевич

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель Учебно-методического  
объединения по образованию в  
области информатики и  
радиоэлектроники

\_\_\_\_\_ В.А.Богуш

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Главного управления  
профессионального образования  
Министерства образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ С.А.Касперович

**СОГЛАСОВАНО**

Проректор по научно-методической  
работе Государственного учреждения  
образования «Республиканский  
институт высшей школы»

\_\_\_\_\_ И.В.Титович

Эксперт-нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

В. В. Дубровский, доцент кафедры информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования» Белорусского национального технического университета (протокол № 9 от 05.03.2018);  
Г.И.Мельянец, заведующий кафедрой радио и информационных технологий учреждения образования «Белорусская государственная академия связи», кандидат технических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:**

Кафедрой информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 10 от 12.02.2018);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 7 от 20.06.2018);

Научно-методическим советом по схемам радиоэлектронных устройств и систем Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 10 от 12.02.2018).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Теория цифровой радиосвязи и компьютерное моделирование устройств» разработана для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1-39 01 01 «Радиотехника» (по направлениям) и 1-39 01 04 «Радиоэлектронная защита информации» в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования I ступени и типовых учебных планов вышеуказанных специальностей.

«Теория цифровой радиосвязи и компьютерное моделирование устройств» – это фундаментальная учебная дисциплина, значительно определяющая своим содержанием профессиональную подготовку радиоинженеров.

Учебная дисциплина предусматривает изучение вопросов кодирования источника полезного сигнала, основ математической теории связи, вопросов канального кодирования, принципов и техники цифровой модуляции, моделей канала передачи информации, методов демодуляции и декодирования сигналов, схемного построения и анализа физических процессов в устройствах и системах цифровой радиосвязи, а также вопросов эффективного численного моделирования.

В учебной дисциплине используется современный математический аппарат для решения задач синтеза и анализа систем и устройств цифровой радиосвязи.

### ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, РОЛЬ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: приобретение студентами знаний о теоретических основах функционирования и методах численного моделирования систем цифровой радиосвязи, что позволит эффективно проектировать, эксплуатировать и модернизировать цифровые телекоммуникационные системы и устройства.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение принципов кодирования источника полезного сигнала, алгоритмов канального кодирования, методов демодуляции и декодирования сигналов, схемного построения;
- приобретение знаний об основах математической теории связи;
- изучение принципов и техники цифровой модуляции;
- овладение методами анализа моделей канала передачи информации;
- приобретение навыков анализа физических процессов в устройствах и системах цифровой радиосвязи, а также вопросов эффективного численного моделирования.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных студентами при изучении учебных дисциплин «Математика», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Основы алгоритмизации и программирования». В свою очередь учебная дисциплина «Теория цифровой радиосвязи и компьютерное моделирование устройств» является базой для таких учебных дисциплин, как «Системы и сети цифровой радиосвязи», «Моделирование радиоэлектронных систем».

## ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Теория цифровой радиосвязи и компьютерное моделирование устройств» формируются следующие компетенции:

### **академические:**

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть системным и сравнительным анализом;
- владеть исследовательскими навыками;
- уметь работать самостоятельно;
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации с использованием компьютерной техники;
- владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

### **социально-личностные:**

- обладать качествами гражданственности;
- быть способным к социальному взаимодействию;
- уметь работать в команде;

### **профессиональные:**

- разрабатывать и внедрять технологические процессы настройки, испытаний и контроля качества изделий;
- обеспечивать сопровождение разрабатываемых устройств и систем на этапах проектирования и выпуска их опытных образцов;
- формулировать цели и ставить задачи проектирования;
- осуществлять сбор, анализ и изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта;
- проводить проектные расчеты и технико-экономическое обоснование принимаемых решений;

- разрабатывать модели объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая стандартные пакеты прикладных программ;
- разрабатывать структурные, функциональные схемы радиоэлектронных систем и сетей передачи данных, принципиальные схемы устройств с использованием средств компьютерного проектирования;
- проводить испытание аппаратных и программных средств радиоэлектронных устройств и систем, сетей передачи данных;
- разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ;
- контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации техническим регламентам, национальным стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;
- осуществлять качественную эксплуатацию, ремонт и настройку радиоэлектронных устройств различного назначения;
- выполнять профилактическую работу с радиоэлектронным оборудованием различного назначения с целью обеспечения его надежного функционирования;
- владеть методами диагностики и тестового контроля радиоэлектронных устройств и систем, сетей передачи данных, методами анализа их характеристик;
- осуществлять наладку, настройку, регулировку и испытания оборудования и тестирование, настройку и обслуживание аппаратно-программных средств;
- оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемых технологий;
- анализировать состояние научно-технической проблемы на основе подбора и изучения литературных и патентных источников;
- составлять обзоры и отчеты по результатам проводимых исследований;
- учитывать результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в процессе разработки технических заданий на проектируемые радиоэлектронные и информационные системы;
- применять знания требований отечественных и зарубежных стандартов и технических условий, технических характеристик и экономических показателей образцов современных радиоэлектронных систем, сетей передачи данных;
- взаимодействовать со специалистами смежных профилей;
- анализировать и оценивать собранные данные;
- вести переговоры с другими заинтересованными участниками;
- готовить доклады, материалы к презентациям;
- разрабатывать планы и технические задания на проектирование или модернизацию радиоэлектронных устройств и систем, информационных систем;
- готовить научные статьи, сообщения, рефераты и заявки на изобретения;

- владеть современными средствами инфокоммуникаций;
- организовывать мероприятия по охране труда и требованиям безопасности в процессе ввода в эксплуатацию, технического обслуживания и ремонта радиотехнического оборудования.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

***знать:***

- математические модели и методы анализа цифровых каналов связи;
- основы теории кодирования источников информации;
- методы цифровой модуляции радиосигналов и синхронизации систем цифровой радиосвязи;
- основные пакеты прикладного программного обеспечения для моделирования систем и устройств цифровой радиосвязи;

***уметь:***

- анализировать качественные характеристики передачи цифровых радиосигналов по каналам связи;
- определять пропускную способность цифровых каналов связи;
- синтезировать алгоритмы кодирования и декодирования источника информации;
- реализовать алгоритмы и устройства синхронизации и демодуляции радиосигналов с цифровой модуляцией;

***владеть:***

- методами определения и анализа характеристик передачи цифровых радиосигналов по каналам связи;
- методами синтеза алгоритмов кодирования и декодирования источника информации;
- навыками экспериментального анализа алгоритмов функционирования основных устройств систем цифровой радиосвязи, оформлять результаты экспериментов и формулировать соответствующие выводы.

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Теория цифровой радиосвязи и компьютерное моделирование устройств» рассчитана на 162 учебных часа, из них 84 часа – аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций – 34 часа, лабораторных занятий – 32 часа, практических занятий – 18 часов.

Программа разработана без учета часов, отводимых на проведение текущей аттестации, определенной типовым учебным планом.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела, темы	Всего аудиторных, часы	Лекции, часы	Практические занятия, часы	Лабораторные занятия, часы
Введение. Общая характеристика цифровой радиосвязи и проблем компьютерного моделирования цифровых устройств	2	2	-	-
<b>Раздел 1. Модели каналов цифровой радиосвязи</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
Тема 1. Классификация и основные характеристики каналов передачи информации	2	2	-	-
Тема 2. Канал с замираниями в условиях прямой видимости	8	2	2	4
Тема 3. Дисперсионный канал с замиранием	2	2	-	-
<b>Раздел 2. Принципы и техника цифровой модуляции</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>12</b>
Тема 4. Общие принципы модуляции дискретными сигналами	2	2	-	-
Тема 5. Количественные характеристики сигналов в системах цифровой радиосвязи	2	2	-	-
Тема 6. Амплитудная манипуляция	8	2	2	4
Тема 7. Фазовая и квадратурная амплитудная манипуляция	6	2	-	4
Тема 8. Частотная манипуляция	8	2	2	4
<b>Раздел 3. Формирование сигналов в системах цифровой радиосвязи</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>12</b>
Тема 9. Основные понятия и теоремы математической теории связи	8	2	2	4
Тема 10. Кодирование источника информации	8	2	2	4
Тема 11. Канальное кодирование	8	2	2	4
<b>Раздел 4. Демодуляция и декодирование сигналов</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
Тема 12. Приём сигналов на фоне аддитивного белого гауссовского шума	2	2	-	-
Тема 13. Приём сигналов со случайными параметрами	8	2	2	4
<b>Раздел 5. Основы теории синхронизации</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>
Тема 14. Принципы синхронизации сигнала по частоте, такту и блоку	2	-	2	-
Тема 15. Принципы синхронизации сигнала по частоте	2	2	-	-
<b>Раздел 6. Моделирование телекоммуникационных систем и устройств</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>

Наименование раздела, темы	Всего аудиторных, часы	Лекции, часы	Практические занятия, часы	Лабораторные занятия, часы
Тема 16. Задачи моделирования систем и устройств цифровой радиосвязи	2	2	-	-
Тема 17. Численное моделирование в среде MatLab	4	2	2	-
<b>Итого:</b>	<b>84</b>	<b>34</b>	<b>18</b>	<b>32</b>

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ И ПРОБЛЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Дисциплина «Теория цифровой радиосвязи и компьютерное моделирование устройств», необходимость и особенности её изучения. Общая характеристика методов формирования сигналов, каналов передачи информации. Современное состояние теории и техники цифровой радиосвязи, сред схемотехнического моделирования.

#### Раздел 1. МОДЕЛИ КАНАЛОВ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

##### Тема 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Классификация каналов связи по характеру среды распространения электромагнитных волн: беспроводные (радиоканалы), проводные (кабельные), оптические, подводные, космические. Характеристики каналов связи. Распространение в свободном пространстве, энергетические соотношения, потери распространения радиоволн. Физика возникновения искажений сигнала в радиоканале: поглощение в атмосфере и гидрометеорах, влияние естественных и искусственных преград, шумов и помех. Построение пути распространения волны, распространение в атмосферном волноводе, тропосферное рассеяние, мерцание (сцинтилляция) сигнала.

##### Тема 2. КАНАЛ С ЗАМИРАНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

Передача сигнала в зоне прямой видимости. Многолучевое распространение электромагнитных волн при наличии прямой видимости. Канал с райсовским замиранием сигнала, его импульсная и передаточная характеристики. Распределение огибающей и фазы сигнала. Групповое время задержки и предельный уровень замирания сигнала. Пример модели для двух и трёхлучевого канала.



### Тема 3. ДИСПЕРСИОННЫЙ КАНАЛ С ЗАМИРАНИЕМ

Канал с замираниями и рассеянием энергии. Модель в виде линейного фильтра с изменяющимися во времени параметрами. Многолучевое распространение электромагнитных волн в отсутствие прямой видимости. Отражение, рефракция, дифракция сигнала. Интерференция сигналов. Импульсная и передаточная характеристики многолучевого канала. Огибающая полезного сигнала.

## Раздел 2. ПРИНЦИПЫ И ТЕХНИКА ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

### Тема 4. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МОДУЛЯЦИИ ДИСКРЕТНЫМИ СИГНАЛАМИ

Определение системы цифровой радиосвязи, понятие цифровой модуляции. Общее выражение для цифрового модулированного сигнала, его геометрическое представление. Сигнальное пространство. Ортогональное разложение сигналов.

### Тема 5. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Полосовые сигналы, представление полосовых сигналов. Полоса занимаемых частот. Полоса частот, определяемая по уровню половинной мощности. Эквивалентная ширина шумовой полосы частот. Полоса частот, определяемая шириной главного лепестка спектра сигнала. Полоса частот, определяемая заданной величиной энергии. Полоса частот, ограниченная заданным уровнем внеполосного излучения. Отклик системы с ограниченной полосой пропускания по частоте на полосовой сигнал. Представление случайных сигналов с ограниченной полосой частот. Отношение сигнал-помеха в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ). Частотная эффективность метода модуляции. Вероятность ошибки на символ в канале с АБГШ.

### Тема 6. АМПЛИТУДНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ

Амплитудная манипуляция (АМн) как метод одномерной линейной модуляции, геометрическое представление сигнала с АМн, аналитическая запись сигнала. Вероятность ошибки на символ в канале с АБГШ. Отношение пиковой спектральной плотности энергии к средней. Эффективность использования полосы частот. Структурные и функциональные схемы формирования сигнала с АМн.

### Тема 7. ФАЗОВАЯ И КВАДРАТУРНАЯ АМПЛИТУДНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ

Фазовая манипуляция (ФМн) как метод двумерной линейной модуляции, геометрическое представление сигнала с ФМн, аналитическая запись сигнала. Вероятность ошибки на символ в канале с АБГШ. Эффективность использования полосы частот. Структурные и функциональные схемы формирования сигнала с ФМн. Геометрическое представление и аналитическая запись сигнала с

квадратурной амплитудной манипуляцией (КАМ). Вероятность ошибки приёма сигнала в канале с АБГШ. Структурные и функциональные схемы формирования сигнала с КАМ.

### Тема 8. ЧАСТОТНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ

Частотная манипуляция (ЧМн) как метод многомерной модуляции, аналитическая запись сигнала. Манипуляция с минимальным сдвигом. Структурные и функциональные схемы формирования сигнала с ЧМн. Вероятность ошибки на символ в канале с АБГШ, спектральная эффективность сигнала.

## Раздел 3. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

### Тема 9. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕОРЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СВЯЗИ

Потенциальные возможности систем цифровой радиосвязи с точки зрения информационных критериев. Математические модели источников информации. Количество информации. Частная, общая и дифференциальная энтропия. Эпсилон-энтропия. Потеря информации в канале с помехами. Информационные критерии выбора сигналов. Представление операций кодирования и декодирования. Основная теорема для канала без шума. Представление дискретного канала с шумом. Надёжность и пропускная способность канала. Основная теорема для дискретного канала с шумом.

### Тема 10. КОДИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ИНФОРМАЦИИ

Динамический диапазон источника сигнала. Аналого-цифровое преобразование. Шумы квантования. Компандирование. Временное сигнальное кодирование. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ). Дельта-модуляция. Адаптивная ИКМ и ДИКМ. Спектральное кодирование сигнала. Кодирование подполос. Адаптивное преобразующее кодирование. Модельное кодирование источника. Кодирование дискретных источников информации. Кодовые слова фиксированной и переменной длины. Неравенство Крафта.

### Тема 11. КАНАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ

Необходимость канального кодирования. Перемежение и скремблирование информационного потока. Кодирование с предсказанием. Проверка на чётность. Блочное кодирование. Эффективность кодирования. Коды Хемминга. Коды Рида–Соломона. Свёрточное кодирование: кодирование материнским кодом, перфорирование материнского кода. Турбокодирование. Циклический избыточный код.

## Раздел 4. ДЕМОДУЛЯЦИЯ И ДЕКОДИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ

## Тема 12. ПРИЁМ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ АДДИТИВНОГО БЕЛОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА

Оптимальный приём на фоне АБГШ. Качественные показатели и критерии оптимального приёма. Корреляционный демодулятор, его качественные показатели. Согласованная фильтрация. Реализация согласованных фильтров. Различение ансамблей сигналов. Последовательный демодулятор на основе максимального правдоподобия (алгоритм А. Витерби). Посимвольная демодуляция для сигналов с памятью.

## Тема 13. ПРИЁМ СИГНАЛОВ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Приём сигналов с непрерывной фазой и случайной начальной фазой. Приём сигналов с амплитудной, частотной и фазовой манипуляцией. Качественные показатели приёма сигналов со случайными параметрами. Структурные схемы устройств приёма сигналов в системах цифровой радиосвязи, квадратурный приём.

## Раздел 5. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИНХРОНИЗАЦИИ

### Тема 14. ПРИНЦИПЫ СИНХРОНИЗАЦИИ СИГНАЛА ПО ЧАСТОТЕ, ТАКТУ И БЛОКУ

Когерентность, некогерентность, квазикогерентность. Слежение за частотой сигнала. Схемы слежения с замкнутой и разомкнутой петлёй. Граница Крамера–Рао для оценки частоты. Слежение за фазой сигнала. Фильтрация фазы немодулированной несущей в условиях действия аддитивного шума.

### Тема 15. ПРИНЦИПЫ СИНХРОНИЗАЦИИ СИГНАЛА ПО ЧАСТОТЕ

Функциональные схемы слежения с замкнутой и разомкнутой петлёй. Дисперсия оценки фазы. Метод последовательного и параллельного поиска временного положения сигнала. Методы обеспечения кадровой синхронизации: маркер кадра, синхронизирующее кодовое слово. Последовательности Баркера и Уилларда в качестве синхронизирующих.

## Раздел 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ

### Тема 16. ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Модели детерминированных и случайных радиосигналов, линейных и нелинейных систем. Численное моделирование устройств формирования сигналов. Численное моделирование каналов связи. Численное моделирование устройств обработки сигналов. Оптимизация моделей.

### Тема 17. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB

Описание и структура среды. Методика создания и договорённости при создании m-файла в среде MatLab. Модели источников сигнала. Функции

оценки производительности. Кодирование источника информации. Помехоустойчивое кодирование. Перемежение и обратное перемежение. Цифровая модуляция и демодуляция. Формирование импульсов. Модели каналов связи. Канальные эквалайзеры. Обработка статистических данных. Законы распределения случайных процессов. Модели марковских процессов. Описательная статистика.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### ЛИТЕРАТУРА

#### ОСНОВНАЯ

1. Теоретические основы цифровой радиосвязи / Н. И. Листопад, В. М. Козел, В. В. Дубровский и др. – Минск: БГУИР, 2012. – 330 с.
2. Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи [+ электр. вариант] : базовые методы и характеристики : учебное пособие / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. - М.: Эко-Трендз, 2005. - 392 с. : ил.
3. Феер, К. Беспроводная цифровая связь / К. Феер – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
4. Прокис, Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
5. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2003. – 1099 с.
6. Системы и сети цифровой радиосвязи: учебное пособие [доп. МО РБ] / Н. И. Листопад [ др.]. - Минск: Издательство Гревцова, 2009. - 200 с. : ил.
7. Чердынцев, В.А. Оптимизация информационных систем / В.А. Чердынцев, В. В. Дубровский – Минск: БГУИР, 2005. – 180 с.
8. Чердынцев, В. А. Системы передачи информации с расширением спектра сигналов / В. А. Чердынцев, В. В. Дубровский – Минск: БГУИР, 2009. – 132 с.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

9. Чердынцев, В. А. Радиотехнические системы / В. А. Чердынцев – Минск: Выш. школа, 1988. – 369 с.
10. Muller, N. J. Wireless from A to Z / N. J. Muller. – McGraw-Hill, 2003. – 560 p.
11. Панфилов, И. П. Цифровая связь. Справочник / И. П. Панфилов и др. – М.: Радио и связь, 1992. – 228 с.
12. Дансмор, Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям / Б. Дансмор, Т. Скандьер. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 640 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку конспекта лекций и учебной литературы;
- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме дисциплины;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям.

### ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТА

Типовыми учебными планами по специальностям 1-39 01 01 «Радиотехника (по направлениям)» и 1-39 01 04 «Радиоэлектронная защита информации» в качестве формы текущей аттестации по учебной дисциплине «Теория цифровой радиосвязи и компьютерное моделирование устройств» рекомендован зачёт.

Для промежуточного контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов могут использоваться следующие формы:

- собеседования;
- доклады на практических занятиях;
- контрольные опросы;
- отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

### РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые методы (технологии) обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

- объяснительно-иллюстративный метод с использованием современных информационных технологий;
- метод проблемного изложения;
- исследовательский метод.

### ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Исследование прохождения сигналов через радиоканал с аддитивными и мультипликативными помехами.
2. Исследование процессов формирования и характеристик сигналов с амплитудной манипуляцией.

3. Исследование процессов формирования и характеристик сигналов с фазовой и квадратурной амплитудной манипуляцией.
4. Исследование процессов формирования и характеристик сигналов с частотной манипуляцией.
5. Исследование блочного кодирования сообщения.
6. Исследование свёрточных кодеров сообщений.
7. Исследование системы связи с кодовым разделением каналов.
8. Алгоритмы слежения за фазой колебания несущей частоты.

### ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Расчёт и анализ передаточной функции канала с замираниями.
2. Расчёт численных характеристик сигналов с амплитудной и фазовой манипуляцией.
3. Вероятность ошибки обработки при приёме сигнала с частотной манипуляцией.
4. Информационные характеристики источника дискретного сообщения.
5. Расчёт пропускной способности дискретного канала.
6. Блочное и свёрточное кодирование.
7. Сравнение когерентной и некогерентной обработки цифровых сигналов.
8. Расчёт дисперсии оценки фазы в схемах восстановления несущей при условии действия АБГШ.

### ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

(необходимого оборудования, наглядных пособий и т. п.)

1. Мультимедийный проектор и персональный компьютер.
2. Методические указания для выполнения лабораторных работ.
3. Пакет математического моделирования MatLab, включая пакет Communications ToolBox.
4. Расширение Simulink и соответствующие BlokSets.