



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ДФУ**

«СОГЛАСОВАНО»

«УТВЕРЖДАЮ»

Инженерная школа

Заведующая кафедрой  
электроники и средств связи

Руководитель ОП

 Л.Г. Стаценко  
(подпись) (Ф.И.О. рук. ОП)

«10» 07 2018 г

 Л.Г. Стаценко  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)

«10» 07 2018 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи

**Направление подготовки**

**11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

Форма подготовки очная

курс 1, семестр 2

лекции 18 час.

практические занятия 36 час.

лабораторные работы – не предусмотрены учебным планом

в том числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 20 час./лаб. 0

всего часов аудиторной нагрузки 54 час.

в том числе с использованием МАО 20 час.

самостоятельная работа 54 час.

курсовая работа/ курсовой проект – не предусмотрено учебным планом

зачет – 2-ой семестр

экзамен - не предусмотрен учебным планом

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования Дальневосточного федерального университета, принятого решением Ученого совета ДФУ, протокол от 04.06.2015 № 06-15, введен в действие приказом ректора ДФУ от 07.07.2015 № 12-13-1282

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроники и средств связи, протокол №16 от «10» июля 2018г.

Заведующая кафедрой: д.ф.-м.н., профессор Л.Г. Стаценко  
Составитель: Аксенов В.П.



**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **ABSTRACT**

**Master's degree in 11.04.02 "Infocommunication technologies and communication systems"**

**Study profile:** "Communication and radio-access systems"

**Course title:** "Efficient use of the radio spectrum in digital communication channels»

**Variable part of Block, 3 credits**

**Instructor:** V.P. Aksenov, associate professor of the Electronics and Communication Systems department, Engineering School of Far Eastern Federal University.

**At the beginning of the course a student should be able to:**

The initial requirements are knowledge, skills and activities, formed in the process of studying the disciplines: "Microprocessors and digital processing of radio signals", "Computing", "Mobile radio communication systems".

**Learning outcomes:**

Specific Professional Competences: For successful studying of discipline "Digital transmission of information " at students have to be created the following competences: PK-28 - willingness to study the periodic scientific and technical literature, the ability to identify trends in the development of information and communication technologies and methods.

**Course description:** The contents of discipline covers the formation of students' ideas about the spectral efficiency of modern systems of a radio communication:

methods for increasing the efficiency of the RF spectrum, criteria for efficiency, units for measuring the radio frequency resource, conversion of radio frequencies, cognitive radio CRS and programmable radio SDR, managing the use of the radio spectrum at the international and national levels, principles for increasing the efficiency of the RF spectrum in the USA, International

Telecommunication Union, Radiocommunication Sector, Radio Regulations, Dividing the World into Three Areas allocation of frequencies, joint and exclusive distribution of radio frequencies, primary and secondary services, radio services of the national RF MA table, radio frequency band use plans, world and regional plans for radio services, principles of cross-border coordination of radio communication networks, ECC / REC / (08) 02 European conferences, coordination distances for base stations, mandatory registration with the ITU Radiocommunication Bureau and international coordination with administrations of other countries, an application and registration to the ITU Radiocommunication Bureau, international reference frequency register (MIFR), international frequency assignments that need not be notified to the Radiocommunication Bureau, national spectrum management, documents defining the RFS management procedure, regulatory objectives, regulator, regulatory results , the order of use of the radio frequency spectrum in the Russian Federation, the life cycle of a civilian RES, the distribution of functions between the SCRF and the communications supervision authorities at the stage of ektirovaniya, production and operation of RES civil purposes, the Federal Law of 07.07.2003 N 126-FZ (ed. dated July 06, 2016) "About communication", assignment of a radio frequency or radio frequency channel, failure to allocate radio bands to users, change of radio frequency or radio frequency channel from a user with a radio frequency spectrum, block diagram of a CRS cognitive radio system, assignment, characteristics, cognitive radio functions, benefits of CRS studies of cognitive radio systems, IEEE 802.22 wireless communication standard, frequency range and bands of a cognitive radio system, application of the standard in the USA, modulation in cognitive radio systems, block K-scheme of adaptive modulation based on cognitive radio system, regulation of radio system parameters, probability of BER errors, calculation of BER at a given ratio signal  $E_0 / N_0$  interference, coherent receiver, amplitude, phase and frequency shift keying, comparison of AM, FM, FM noise immunity, non-coherent receiver, amplitude and frequency manipulation, two-level and multi-level manipulation.

### **Main course literature:**

1. Kornienko S.A. Fundamentals of state regulation of the use of the radio frequency spectrum in the Russian Federation [Electronic resource]: laboratory workshop / Kornienko S.A.— Electron. text data.— Stavropol: North Caucasus Federal University, 2016.— 154 p.— Access mode:

<http://www.iprbookshop.ru/66035.html>

2. Kornienko S.A. Technical support of state regulation of the use of the radio frequency spectrum in the Russian Federation [Electronic resource]: laboratory workshop / Kornienko S.A. — Electron. text data.— Stavropol: North Caucasus Federal University, 2016.— 193 p.— Access mode:

<http://www.iprbookshop.ru/66037.html>

3. Meglicki B.N. The efficiency of modulation techniques in digital radio systems [Electronic resource]: monograph/ Malicki B. N.— Electron. text data.- Novosibirsk: Siberian state University of telecommunications and Informatics, 2011.— 187 p.— Mode of access: <http://www.iprbookshop.ru/45497.html>

### **Additional literature:**

1. Malicki B. N. Assessment of the impact of distortion and noise on the quality of digital radio communication systems using simulation modeling [Electronic resource]: a tutorial/ Malicki B. N., Sergeeva A. S. Electron. text data.- Novosibirsk: Siberian state University of telecommunications and Informatics, 2016.- 122 c.— Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/69550.html>

2. Pustovoitov E.L. Study guide on the discipline Electromagnetic compatibility and radio frequency spectrum management [Electronic resource] / - Electron. text data.— M .: Moscow Technical University of Communications and Informatics, 2015.— 15 c .— Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/63374.htm>

**Form of final control:** pass-fail exam

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи**

Дисциплина «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» предназначена для направления 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Трудоемкость дисциплины 3 зачетные единицы, 108 академических часов, из них 18 часов лекций, 36 часов практических занятий, 54 часа самостоятельной работы. Данная дисциплина входит в блок вариативных обязательных дисциплин. Дисциплина реализуется на 1 курсе во 2-ом семестре. Дисциплина «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» базируется на подготовке, которую студенты получают при изучении дисциплин: «Микропроцессоры и цифровая обработка сигналов радиосвязи», «Вычислительная техника», «Мобильные системы радиосвязи».

Содержание дисциплины охватывает следующий круг вопросов:

методы повышения эффективности РЧ – спектра, критерии эффективности, единицы измерения радиочастотного ресурса, конверсия радиочастот, когнитивное радио CRS и программируемого радио SDR, управление использованием радиочастотного спектра на международном и национальном уровнях, принципы повышения эффективности РЧ спектра в США, согласование регулирования спектра Администрациями связи с Международным союзом электросвязи, сектор радиосвязи, регламент радиосвязи, разделение мира на три района Регламентом радиосвязи для распределения частот, совместное и исключительное распределение радиочастот, первичные и вторичные службы, радиослужбы национальной таблицы ТРЧ России, планы использования полос радиочастот, всемирные и региональные планы для радиослужб, принципы приграничной координации сетей радиосвязи, Рекомендация ECC/REC/(08)02 Европейской конференции, координационные расстояния для базовых станций, обязательная регистрация в Бюро радиосвязи МСЭ и международная координация с

Администрациями других стран, заявление и регистрация частотного назначения в Бюро радиосвязи МСЭ, международный справочный регистр частот (МСРЧ), международные частотные назначения, которые не нужно заявлять в Бюро радиосвязи, управление использованием спектра на национальном уровне, документы, определяющие в России порядок управления РЧС, цели регулирования, регулятор, результаты регулирования, порядок использования радиочастотного спектра в Российской Федерации, жизненный цикл РЭС гражданского назначения, распределение функций между ГКРЧ и органами службы надзора за связью на этапе проектирования, производства и эксплуатации РЭС гражданского назначения, Федеральный закон от 07.07.2003 N 126-ФЗ (ред. от 06.07.2016) "О связи", присвоение радиочастоты или радиочастотного канала, отказ выделения пользователям полос радиочастот, изменение радиочастоты или радиочастотного канала у пользователя радиочастотным спектром, структурная схема системы когнитивного радио CRS, назначение, характеристики, функции когнитивного радио, преимущества CRS, исследования систем когнитивного радио, стандарт беспроводной связи IEEE 802.22, частотный диапазон и полосы системы когнитивного радио, применение стандарта в США, модуляция в системах когнитивного радио, блок-схема адаптивной модуляции на основе когнитивной радиосистемы, регулирование параметров радиосистемы, вероятность ошибок BER, расчет BER при заданном отношении сигнал помеха  $E_0/N_0$ , когерентный приемник, амплитудная, фазовая и частотная манипуляция, сравнение помехоустойчивости АМ, ФМ, ЧМ, некогерентный приемник, амплитудная и частотная манипуляция, двухуровневая и многоуровневая манипуляция.

**Цель** - дать студентам знания для развития навыков, дающих им возможность оценивать эффективность использования частот в системах радиосвязи. Современные системы радиосвязи - сотовые, спутниковые сети - используют узкополосные и широкополосные каналы для передачи и приема цифровой информации. Существующие технические, экономические и

функциональные критерии эффективности невозможно объединить в один критерий.

**Задачи:**

- сформировать у обучающихся представление о направлении повышения использования природного радиочастотного ресурса;
- дать комплекс базовых теоретических знаний о способах технической реализации новых радиосистем, повышающих количество радиослужб в одной и той же полосе частот;
- дать базовые знания о технической реализации методов помехоустойчивого кодирования в беспроводных системах для повышения технической эффективности.

В результате практического изучения дисциплины студент должен уметь:

- анализировать основные характеристики каналов связи, влияющие на занимаемую полосу частот;
- рассчитывать характеристики каналов связи;
- оценивать параметры программируемого радио;
- декодировать сигналы программируемого радио;
- оценивать характеристики когнитивного радио.
- анализировать работу программируемых радиопередатчиков USRP.

Для успешного изучения дисциплины «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» у обучающихся должны быть сформированы следующие компетенции:

ПК-28 - готовность к изучению периодической научно-технической литературы, способностью выявления тенденций в развитии инфокоммуникационных технологий и методов

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-28 - готовность к изучению	Знает	направления развития технических средств с лучшим использованием радиочастотного ресурса; преимущества и недостатки программируемого

периодической научно-технической литературы, способностью выявления тенденций в развитии инфокоммуникационных технологий и методов		радио; проблемы внедрения когнитивного радио; преимущества когнитивного радио.
	Умеет	составлять программы для программируемого радио; проводить исследования программируемого радио по результатам измерений; измерять основные характеристики каналов связи программируемых приемопередатчиков USRP.
	Владеет	навыками работы с новой радиоаппаратурой программируемого радио, необходимой для проведения практических занятий; приемами расчета основных характеристик каналов радиосвязи.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: проблемная лекция, дискуссия, денотатный граф.

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (18 час.)**

## **Модуль 1. Принципы использования радиочастотного спектра**

### **Раздел I. Международная практика регулирования использования радиочастотного ресурса (5 час.)**

#### **Тема 1. Критерии эффективности использования РЧС (1 час.)**

Экономические, технические, функциональные оценки эффективности использования радиочастотного спектра. Единицы измерения радиочастотного ресурса. Конверсия радиочастот. Определения когнитивного радио CRS и программируемого радио SDR.

Национальный и международный аспект проблемы использования радиочастотного спектра. Спрос на радиочастотный ресурс превышает предложение. Радиочастотный ресурс как совокупность действующих и потенциально возможных частотных назначений на определенной территории, предназначенных для работы в эфире, удовлетворяющих требованиям МСЭ, и учитывающих диапазон частот, ширину занимаемого спектра частот, используемые технологии, временной период действия разрешения на использование указанного ресурса.

Радиочастотный ресурс (РЧР), диапазон частот, пригодный для связи, локации. Потребители РЧР - регионы, страны, области, радиослужбы, радиосистемы. Единица измерения радиочастотного ресурса, частота \* пространство \* время.

Например,  $[РЧР] = \text{МГц} * \text{Кв. км} * \text{Год}$ .

#### **Тема 2. Регулирование использования радиочастотного спектра (1 час.)**

Регулирование использования радиочастотного спектра в Российской Федерации. Межведомственный коллегиальный орган по радиочастотам при федеральном органе исполнительной власти в области связи – государственная комиссия по радиочастотам.

Регулирование использования радиочастотного спектра, исключительное право государства. Обеспечение регулирования законодательством и международными договорами при проведении экономических, организационных и технических мероприятий по конверсии радиочастотного спектра.

Принципы использования радиочастотного спектра в Российской Федерации. Разрешительный порядок доступа пользователей к радиочастотному спектру. Сближение российского распределения полос радиочастот и международного распределения частот. Право доступа всех пользователей к радиочастотному спектру с учетом приоритета государственных служб.

Платность использования радиочастотного спектра. Недопустимость бессрочного выделения полос радиочастот, присвоения радиочастот или радиочастотных каналов. Конверсия радиочастотного спектра. Прозрачность и открытость процедур распределения и использования радиочастотного спектра.

### **Тема 3. Конверсия спектра (1 час.)**

Процесс конверсии, его организационно-технические мероприятия. Разработка условий совместного использования РЧС РЭС различного назначения, модернизация РЭС военного и спецназначения. Внедрение в полном объеме сети сотовой связи и МШПД на базе ИМТ почти во всех ранее выделенных для них в Российской Федерации полосах радиочастот категории ПР (правительственные), а также в диапазоне 1800 МГц категории СИ (совместного использования). Исключение - диапазоны ПР 2300 и 800 МГц.

Распределение на ВКР-15 полос радиочастот для ИМТ в Регионе 1 в диапазоне 1,5 ГГц категории ПР, в диапазоне 3,5 ГГц категории СИ. Диапазон 700 МГц (СИ), распределенный на ВКР-12, Невозможность использования полос радиочастот сетями ИМТ.

Конверсия радиочастотного спектра, расширение использования радиочастотного спектра радиоэлектронными средствами гражданского назначения, Федеральный закон от 7 июля 2003 года № 126\_ФЗ "О связи".

Составляющие конверсии. Передача неиспользуемых частот от силовых структур в гражданское использование (несущественные затраты). Перевод РЭС силовых структур или гражданских пользователей в другие диапазоны (существенные затраты, проектирование). Показатели эффективности конверсии РЧР. Динамика роста доли радиочастотного спектра гражданского назначения. Ежегодный прирост налоговых доходов государства за счет конверсии. Ежегодный прирост налоговых доходов государства за счет перевода гражданских РЭС в другие диапазоны частот. Суммарная стоимость проектов конверсии и перевода РЭС в другие диапазоны частот.

#### **Тема 4. Регламент радиосвязи (1 час.)**

Три сектора МСЭ: Сектор радиосвязи, Бюро радиосвязи (БР) и Радиорегламентарный комитет (РПК), Сектор развития электросвязи, в состав которого входит Бюро развития электросвязи (БРЭ), и Сектор стандартизации электросвязи.

Документ, определяющий порядок управления использованием РЧС на международном уровне, Регламент радиосвязи МСЭ. Международная таблица распределения частот (МТРЧ) между службами.

Регламент радиосвязи, сборник основных международных постановлений, принятых Всемирными административными конференциями по радиосвязи. Определения терминов, относящихся к РЧС, к параметрам излучения радиосредств, к классификации излучений.

Порядок международного присвоения частот и координации действий стран в области использования частот, меры борьбы с радиопомехами. Регламент радиосвязи (РР): решения всемирных конференций радиосвязи, в том числе все Приложения, Резолюции и Рекомендации, а также Рекомендации МСЭ-Р.

Утверждение Радиорегламентарным комитетом правил процедуры. Дополнение Регламента радиосвязи разъяснениями применения регламентных положений.

### **Тема 5. Международная таблица распределения частот МСЭ (1 час.)**

Международная таблица распределения частот МСЭ, компонент Регламента. Распределение полос частот внутри стран с учетом или в полном соответствии с Таблицей МТРЧ. Администрации связи определяют особенности использования радиочастот в данной стране.

Распределение РЧС и регистрация присвоений радиочастот, обеспечение работы радиостанций различных стран, координация деятельности по исключению вредных помех между ними и повышению эффективности использования спектра частот.

Участки МТРЧ всего диапазона радиочастот (9 кГц...400 ГГц) для 40 радиослужб, определенные Регламентом. Исключительное распределение для интернационального использования оборудования. Совместное распределение, когда несколько радиослужб могут эффективно работать в одной и той же полосе частот.

## **Раздел II. Регулирование спектра в Российской Федерации (4 час.)**

### **Тема 6. Распределение радиочастот в Российской Федерации (1 час.)**

Распределение радиочастотного спектра в таблице на полосы радиочастот для радиослужб. Признаки: назначение радиосвязи, трасса распространения радиоволн, подвижность технических средств. Изменения в развитии радиосвязи, радиотехнологии и конвергенция. Использование в таблице принципа распределения спектра на полосы по радиослужбам не отвечает достигнутому уровню развития радиосвязи. Необходимо изменение принципов построения таблицы.

Использование в научно-технической литературе и нормативно-правовых документах терминов, которые не имеют общепризнанных определений (радиотехнология, радиочастотный ресурс, перераспределение радиочастотного спектра). В терминологии МСЭ определение термина

"радиочастотный спектр" отсутствует, а в ФЗ "О связи" он трактуется как совокупность радиочастот в установленных МСЭ пределах, которые могут быть использованы для функционирования РЭС. Установленное Федеральным законом определение этого термина не тождественно близкому понятию "спектр", под которым понимается частотное распределение мощности, амплитуды тока или напряжения сигнала и представляется в координатах "уровень электромагнитного поля – радиочастота".

#### **Тема 7. Комиссии и агентства по связи (1 час.)**

Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, функции Администрации связи РФ при осуществлении международной деятельности в области связи.

Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ), межведомственный координационный орган, действующий при Министерстве связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Полномочия ГКРЧ в области регулирования радиочастотного спектра.

Организационные и технические меры по обеспечению использования радиочастот или радиочастотных каналов и соответствующих радиоэлектронных средств или высокочастотных устройств гражданского назначения во исполнение решений ГКРЧ Обеспечение регулирования использования радиочастот и радиоэлектронных средств при Минсвязи - Государственной радиочастотной службой (ГРЧС).

Государственная радиочастотная служба Российской Федерации: Главный радиочастотный центр и семь радиочастотных центров федеральных округов. Главный радиочастотный центр, регулирование использования радиочастот централизованного назначения и РЭС гражданского применения на всей территории РФ, международно-правовая защита частотных присвоений РЭС наземных и спутниковых радиослужб РФ.

Государственная комиссия по радиочастотам, проведение работ по реализации технической политики в области использования РЧС и

обеспечения электромагнитной совместимости. Координация действий федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц, связанных с обеспечением международно-правовой защиты частотных присвоений РЭС РФ.

### **Тема 8. Координация частот (1 час.)**

Управление использованием РЧС на международном уровне, координация частот. Координация, процедура достижения соглашения между несколькими странами (Администрациями связи) о совместном использовании радиочастот. Цель координации, при введении в действие нового радиосредства обеспечить отсутствие вредных помех между всеми существующими и планируемыми системами радиосвязи. Процедуры координации частот - средство динамического планирования спектрального и/или орбитального ресурса, обеспечивающее его более эффективное использование.

Участие в координации частот двух или более стран (Администраций связи). Действия координации: определение сопредельных стран, частотные назначения РЭС которых могут быть затронуты; выполнение расчетов параметров возможных помех с применением рекомендаций и решений международных организаций связи; выполнение процедуры координации, определенной Регламентом радиосвязи, обмен данными. Публикация результатов координации в циркуляре Бюро радиосвязи МСЭ.

### **Тема 9. Система регулирования использования спектра (1 час.)**

Управление использованием спектра на национальном уровне: государственное законодательство, политические принципы, Регламент радиосвязи и перспективный план использования спектра.

Основные документы, определяющие порядок управления РЧС на национальном уровне в России: национальная таблица распределения частот (НТРЧ), решения ГКРЧ и положения о порядке рассмотрения материалов, проведения экспертизы и принятия решения о выделении полос радиочастот для РЭС и высокочастотных устройств и

о порядке проведения экспертизы, рассмотрения материалов и принятия решения о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов для РЭС в пределах выделенных полос радиочастот.

В соответствии с нормативными правовыми документами всей полнотой полномочий в области регулирования использования радиочастотного спектра обладает межведомственный коллегиальный орган по радиочастотам – Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ), созданная Правительством Российской Федерации. Объект регулирования – порядок использования радиочастотного спектра, регулятор этого объекта – ГКРЧ.

Регулирование использования радиочастотного спектра обеспечивается проведением экономических, организационных и технических мероприятий, связанных с конверсией радиочастотного спектра. Оценка эффективности использования радиочастотного спектра РЭС различного назначения - не основной фактор при решении вопросов использования радиочастотного спектра.

## **Модуль 2. Технические способы повышения эффективности**

### **Раздел III. Программируемое радио (5 час.)**

#### **Тема 10. SDR-устройства программируемого радио (1 час.)**

SDR (Software-Defined Radio) - цифровые системы радиосвязи, в которых задачи обработки сигнала решаются в основном программными средствами. Определение систем радиосвязи с программируемыми параметрами SDR Международного союза электросвязи: " Радиопередатчик и/или радиоприемник, использующий технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры. Включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность".

Преимущество SDR-устройств — добавление новых опций и протоколов с помощью простой замены программного обеспечения. В соответствии с

Регламентом Радиосвязи системы SDR и CRS не являются службами радиосвязи, SDR и CRS и могут работать в рамках любой радиослужбы.

Применение программируемого радио для военных целей и для служб сотовой телефонии, обслуживание множеством радиопrotocolов, меняющихся в реальном времени. Гибкость устройств, на одной плате можно создать устройство с поддержкой физических уровней различных протоколов беспроводной связи (WCDMA, WiMAX, TD-SCDMA).

SDR адаптируется к спектру протоколов, так что могут взаимодействовать разные модели и сети. Применение SDR обеспечивает соответствие постоянно развивающимся стандартам, снижает стоимость изделия и затраты на его разработку.

Военный проект США, названный SpeakEasy, одна из первых инициатив по SDR. Цель проекта - использование программируемой обработки для эмуляции более десяти существующих военных систем радио, работающих в диапазоне от 2 до 2000 МГц. Создание возможности быстрой реализации новых стандартов кодирования и модуляции в будущем.

Европейский институт стандартизации (ETSI) планирует работу SDR на всех частотах от 9 кГц до 300 ГГц. SDR-устройство сможет принимать/передать и модулировать/демодулировать сигнал во всех полосах частот и всех режимах модуляции.

### **Тема 11. Схемы и компоненты программируемого радио (2 час.)**

Использование в первых SDR-приемниках вместо демодулятора аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Демодуляция и частично фильтрация сигнала в сигнальном процессоре DSP (digital signal processor). Современные микросхемы АЦП обладают достаточным быстродействием, чтобы преобразовывать аналоговый сигнал промежуточной частоты в цифровой код.

Процессоры DSP с мощной вычислительной структурой реализуют различные алгоритмы обработки информационных потоков. Невысокая цена,

развитые средства разработки программного обеспечения позволяют легко внедрять подобные системы для реализации радиосхем.

Приемная часть микросхемы DSP CMX980A обеспечивает прием синфазной I и квадратурной Q составляющих сигналов и преобразование их в цифровую форму после соответствующей фильтрации. Микросхема содержит вспомогательные АЦП, ЦАП и три канала связи с последовательным портом PC. Через эти каналы могут быть загружены коэффициенты для цифровых фильтров.

Структурная схема современного SDR-приемника. Входной сигнал усиливается малошумящим усилителем и делится на компоненты I и Q путем смешивания с сигналом гетеродина из синтезатора частот в ФАПЧ, для получения квадратурной компоненты смещается на  $90^\circ$ .

Частота гетеродина подстраивается под частоту сигнала, чтобы разность выходных сигналов смесителей была равна нулю в отсутствие модуляции. Для модулированного сигнала она равна сигналу основной полосы или исходному модулированному сигналу. Архитектура прямого преобразования или преобразования с нулевой промежуточной частотой.

В современных передатчиках DSP-модулятор разделяет передаваемые данные на I и Q и передает их на повышающий преобразователь и ЦАП. Сигнал фильтруется и поступает в смеситель для повышения частоты до частоты передачи. Затем сигнал проходит через усилитель и подается на антенну.

Цифровыми методами выполняются следующие функции: фильтрация (НЧ, ВЧ, полосовые и заграждающие фильтры), модуляция (AM, FM, PM, FSKM, BPSK, QPSK, QAM, OFDM, др.), демодуляция, выравнивание, сжатие и восстановление, анализ спектра. Сигнальный процессор берет на себя большую часть функций, которые раньше выполнялись в аналоговых схемах.

Программным методом настраиваются рабочая частота, полоса пропускания, скорость, количество несущих частот, тип модуляции и другие параметры. Новые параметры либо загружаются с носителя или

по беспроводному каналу, либо вводятся напрямую и другими методами. Программируемое радио может заменить их и работать как на одной полосе частот, так и на нескольких одновременно.

## **Тема 12. Компьютерная реализация программируемого радио (2 час.)**

Система SDR может состоять из ПК с устройствами ввода-вывода (АЦП и ЦАП), перед которыми включены некоторые РЧ-устройства. Часть обработки сигналов выполняется на процессоре общего назначения, а не на специальном аппаратном обеспечении. Такая схема позволяет реализовывать радиоустройства, которые могут принимать и передавать различные радиопротоколы при помощи программного обеспечения.

Принцип SDR технологий - слияние компьютера и радиопередатчика или радиоприемника. Ранее радиостанции имели набор встроенных функций, которые были ограничены оборудованием. SDR использует несколько уровней программного обеспечения для выполнения различных задач пользователя. Как правило, применяемые SDR устройства строятся на основе сигнальных процессоров DSP или программируемых матрицах FPGA.

Широкополосный приёмник принимает, не расшифровывая, любые радиосигналы. Скоростной аналого-цифровой преобразователь конвертирует их в поток битов, а компьютер со специальным программным обеспечением определяет, что же именно было принято и преобразует эти биты, например, в голос человека или формирует страницу интернет.

Основные элементы SDR — АЦП, ЦАП и сигнальные процессоры DSP. Частота выборки преобразователя постоянно повышается, преодолев уже гигагерцевый рубеж. Например, преобразователь ADC12Dxx00RF Texas Instruments имеет частоту выборки до 3,6 млрд выб/с. Процессор должен успевать обрабатывать данные.

Часто DSP реализуются на матрицах FPGA. Такие функции как быстрое преобразование Фурье могут быть выполнены с помощью цифровых логических схем и легко реализуются на FPGA. Поскольку стоимость

матрицы постоянно снижается, они приобретают все большую привлекательность в качестве замены сигнальным процессорам.

Другой вариант — логические элементы с жесткими соединениями, которые можно использовать для реализации функций, не требующих гибкости программирования, таких как протоколы связи. Логические схемы имеют высокое быстродействие и малое потребление, занимают немного места на кристалле. Такие логические блоки часто называют аппаратными ускорителями. Например, микросхема TMS320TC6614. Ее структура. Блок логического ускорителя делится на три части. В большинстве ускорителей первого уровня используются алгоритмы DSP.

#### **Раздел IV. Когнитивное радио CRS (4 час.)**

##### **Тема 13. Автоматическая перестройка частоты (2 час.)**

Внедрение технологии радиосвязи с программируемыми параметрами и использованием когнитивного управления - один из подходов обеспечения эффективного использования радиочастотного спектра, основанного на его динамичном управлении и гибком использовании.

Следующий шаг после SDR - создание радиостанции с интеллектуальным управлением, которая автоматически сможет устанавливать связь в реальном времени. Подход к построению интеллектуальных радиосистем, получивший название когнитивное радио, является передовой технологией, позволяющей обеспечить рациональное использование радиочастотного спектра.

Когнитивный блок должен обладать следующей функциональностью:

Возможностью наблюдать за окружающей радиосредой; адаптироваться в этой постоянно изменяющейся среде; планировать действия; решать; обучаться; действовать.

Радиосвязь предлагает все больше услуг, использующих различные технологии и радиоинтерфейсы. В таком сложном радиопространстве

когнитивная способность терминала является ключевой и может обеспечить оптимизацию использования радиоресурсов.

Когнитивное радио можно определить как технологию беспроводной связи, которая способна адаптироваться к условиям среды распространения сигнала с автоматическим управлением на основе измерений, сделанных самим радиоустройством. Учитывая информацию о радиопространстве, когнитивное радио сможет переключаться на наиболее подходящую технологию и частоту для предоставления требуемой услуги.

Стандарт беспроводной связи может отличаться в разных странах мира. С такой проблемой когнитивное радио справится тоже. Такая технология позволит пользователю мобильного устройства не задумываться о переходе со стандарта на стандарт и связанной с этим необходимостью иметь несколько мобильных устройств. Когнитивное устройство получит доступ к связи по различным стандартам и их различным национальным вариациям.

#### **Тема 14. Техническая реализация когнитивного радио (2 час.)**

Определение систем когнитивного радио CRS рабочей группы 1В МСЭ-Р. "Система когнитивного радио (CRS): Радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей; и учиться на основе полученных результатов".

Когнитивные радиостанции должны иметь встроенные системы для автоматического мониторинга окружающей среды. Система мониторинга оценивает, в первую очередь, анализ применения средств радиоэлектронного подавления, состояние канала связи, на основе чего принимается решение о лучшем способе эксплуатации. Они смогут выбирать менее загруженные

участки диапазона, выбирать наилучшие схемы модуляции и кодирования сигнала и т.д.

Функции когнитивного радио:

- осуществление мониторинга спектра (spectrum sensing) с целью обнаружения неиспользуемых в данный момент времени диапазонов радиочастот (спектральных дыр) первичными пользователями, т. е. пользователями, закрепленными за данным диапазоном;

- выполнение анализа параметров радиоканала, оценка канальной информации, предсказание состояния радиоканала;

- осуществление в режиме реального времени динамического управления спектром, с коррекцией значений своих операционных параметров (несущей частоты, вида модуляции, излучаемой мощности);

- предоставление вторичным пользователям (не закрепленным за данным частотным диапазоном) возможности использовать диапазоны первичных пользователей на время, в течение которого данный диапазон не используется первичным пользователем.

Систему когнитивного радио можно организовать следующими двумя способами:

- с использованием базы данных, содержащей информацию об окружающем радиопространстве (например, о технологиях радиодоступа);

- с использованием контрольного канала (Cognitive Pilot Channel, CPC).

Концепция использования базы данных может применяться для работы в «белых пятнах» (незанятых или частично занятых полосах частот).

В настоящее время вопросы разработки исследования алгоритмов, предназначенных для использования в системах когнитивного радио, находятся в стадии исследования.

Работы по изучению программируемого радио SDR и когнитивного радио CRS проводились и проводятся в Международном союзе электросвязи.

Исследования по тематике Cognitive Radio и Software Defined Radio ведутся в ряде международных и национальных институтов: IEEE (США),

Communication Research Centre (Канада), National Institute of Information and Communications Technology (Япония), Radio Communications Agency (Нидерланды).

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 час.)**

### **Практические занятия (36 час.)**

#### **Занятие 1. Подключение радио USRP-2920 к локальной сети (4 час.)**

Аппаратура модуля USRP обращается к управляющему ПК по локальной подсети, используя постоянные IP адреса. Хотя многие современные ПК включают встроенный сетевой интерфейс Gigabit, NI рекомендует установить сетевую карту Gigabit Ethernet для каждого ПК и настроить ее для использования с аппаратным оборудованием USRP. Это позволит поддерживать отдельные сетевые подключения ПК к локальной сети университетского городка, Интернету, и т.д.

Сетевому адаптеру управляющего ПК и каждому USRP необходимо назначить уникальный постоянный IP адрес. Драйвер NI-USRP включает Утилиту Настройки, позволяющую установить IP адрес для аппаратного оборудования USRP. Обратитесь к Руководству «Приступая к Работе» для дополнительной информации по настройке IP адресов USRP и сетевого адаптера управляющего ПК.

Подключение радиомодуля USRP 2920 к компьютеру, присваивание модулю IP адреса. Ознакомление с запуском радиоприемника, изучение FM приема. Запуск Module Tool Kit (Progr. Files-National Instruments-LabVIEW-example-instr.- niUSRP - Module tool kit). Поиск радиостанций Владивостока в диапазоне 70-110 МГц.

Запись параметров радиоприема в файл для каждой принятой радиостанции. Анализ уровня принимаемого сигнала и качество звучания при частоте дискретизации 200 kS/sec, девиации частоты 30 кГц.

Запись осциллограмм спектра принятых радиоприемником сигналов в файл для каждой принятой радиостанции.

Анализ влияния полосы пропускания на качество звукового сигнала радиостанции. Определение минимальной полосы пропускания, при которой возможно прослушивание звукового сигнала приемника.

Анализ работы отдельных блоков радиоприемника, составленной в LabVIEW.

## **Занятие 2. Формирование и измерение ВЧ сигналов в LabVIEW с помощью радиомодуля NI-USRP 2920 (4 час.)**

Подключение генератора и осциллографа в среде LabVIEW. Изменение частоты генератора и измерение частоты с помощью осциллографа.

Запуск программы LabVIEW. Открытие блок-диаграммы собранной схемы Show Block Diagram через вкладку Window. Для подключения осциллографа необходимо правой кнопкой мыши открыть окно осциллографа Controls-Graph-Waveform Graph.

Для подключения генератора правой кнопкой мыши открыть Function-Waveform-Analog Waveform-Generation-Basic FuncGeneration. В окне Block Diagram необходимо блочно собрать передатчик. Через панель Functions-Instrument-NI-USRP-TX. Необходимо подсоединить все 4 блока в TX (Open+Conf+Write+Close). Для сборки схемы использовать цикл.

Open Tx Session инициализирует сессию передатчика, генерирует идентификатор сессии и кластер ошибок, которые передаются через все четыре функции. При использовании этой функции необходимо добавить элемент управления “device names” (имена устройств), посредством которого сообщается LabVIEW IP адрес или имя ресурса USRP.

Configure Signal - используется для задания значений параметров USRP. Подключение четырех элементов управления и трех индикаторов к функции (Create-Control).

Установить параметры передатчика: Частота IQ равна 200 кОтчетов/с (наименьшее возможное значение), несущая частота равна 915.1 МГц,

коэффициент усиления равен 0 дБ. В качестве активной антенны установить TX1.

Как правило, реальные значения параметров будут совпадать с заданными, однако если значения одного или нескольких заданных параметров лежат за пределами возможностей USRP, вместо сообщения об ошибке будет выбрано ближайшее допустимое значение параметра.

Write Tx Data записывает модулирующий (baseband) сигнал в USRP для передачи. Помещение этой функции в цикл while позволяет циклически посылать блок отсчетов модулирующего сигнала, пока не будет нажата кнопка "stop". Цикл while запрограммирован на остановку при обнаружении ошибки.

### **Занятие 3. Основы программирования в LabVIEW (4 час.)**

Ознакомление с учебными пособиями для изучения основ программирования “Васильев\_Основы программирования LabView.pdf”, “Климентьев Основы LabView.pdf”, “Михеев\_Учебный курс LabVIEW.pdf”.

Прочтение правил программирования в LabVIEW в пособии “Васильев А.С., Лашманов О.Ю. Основы программирования в среде LabVIEW. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 82 с.”

Выполнение нескольких примеров программирования из указанных трех источников. Выполнение примеров программирования из файла LabVIEW Intro (RUS).pdf (“Исследование физического уровня с использованием программируемого приемопередатчика NI USRP”), файл находится на компьютере преподавателя.

Выполнение примера программирования “3.1 Создание устройства генерирования основных синусоидальных импульсов ВИ” из файла DWC-USRP - Manual for Student.pdf. Используемые виртуальные приборы (ВП): USRP, USRP\_ArbGen, USRP\_Spectral Monitoring.

Формирование в передатчике массивов чисел, передача их в приемник:

- числовая последовательность задана случайно
- числовая последовательность задается вручную.

Для передачи массива чисел используется готовый передатчик с применением 4QAM модуляции. В выбранный передатчик уже встроен генератор числовых последовательностей, он формирует их случайно, для того чтобы идентифицировать ее необходимо подключить индикатор (modulated bitstream) к этому генератору.

#### **Занятие 4. Детектирование сигналов в LabVIEW (4 час.)**

Элементы амплитудного детектора, устанавливаемые на блок-схеме виртуального прибора в LabVIEW: умножение на -1 при отрицательных напряжениях сигнала на входе детектора, фильтр Чебышева нижних частот, для сглаживания пульсаций сигнала, пиковый вольтметр для фиксации амплитудных значений за период сигнала, компаратор для формирования дискретного сигнала. Выходной сигнал компаратора содержит два дискретных уровня логического нуля и логической единицы.

Настройку собранной схемы необходимо выполнить при синусоидальном входном сигнале детектора.

Элементы фазового детектора, устанавливаемые на блок-схеме виртуального прибора в LabVIEW: умножение на сигнал опорного генератора, фильтр Чебышева нижних частот, для сглаживания пульсаций сигнала, пиковый вольтметр для фиксации амплитудных значений за период сигнала, компаратор для формирования дискретного сигнала. Выходной сигнал компаратора содержит два дискретных уровня логического нуля и логической единицы.

Элементы частотного детектора, устанавливаемые на блок-схеме виртуального прибора в LabVIEW: умножение на сигналы двух опорных генераторов, фильтр Чебышева нижних частот, для сглаживания пульсаций сигнала, пиковый вольтметр для фиксации амплитудных значений за период сигнала, компаратор для формирования дискретного сигнала. Выходной сигнал компаратора содержит два дискретных уровня логического нуля и логической единицы.

## **Занятие 5. Программирование генератора несущей частоты в среде LabVIEW (4 час.)**

Запуск программы LabVIEW. Создание нового файла и сохранение его в рабочей папке. Составление схемы, состоящей из генератора синусоидальных колебаний и подключенного к нему осциллографа. В блок-диаграмме необходимо использовать элементы палитры Functions – Waveform – Analog Wfm – Generation для создания генератора и Functions – Waveform – Analog Wfm – Measurements для создания осциллографа.

Установка частоты генератора высокочастотного сигнала  $F_{\text{ген}} = 900$  МГц и измерение ее осциллографом. Частоту квантования точек синусоиды  $F_s$  необходимо подобрать из условия  $F_s \gg F_{\text{ген}}$ . Регулировка частоты квантования  $F_s$  выполняется блоком Sampling info.

Сборка схемы передатчика Tx на одном компьютере и схемы приемника Rx на другом компьютере из руководства для студентов “Цифровая беспроводная связь. Лаборатория исследования физического уровня с использованием платформы NI USRP. Руководство по лабораторному практикуму для студента.” Руководство составлено как на русском языке, так и на английском в файлах документации DWC-USRP.

Установка частоты генератора передатчика 900 МГц и измерение осциллографом принятый сигнал в приемнике немодулированной несущей. В приемнике должен приниматься сигнал при включенном генераторе передатчика. Выключение генератора передатчика должно свести к нулю принятый сигнал Rx.

## **Занятие 6. Модели распространения радиосигнала (4 час.)**

Исследователями выделяются три группы моделей (методов) расчета зоны покрытия радиосети : статистические, детерминированные, квазидетерминированные.

К статистическим методам расчета относятся модели Окамура-Хата, COST 231, Уолфиш-Икегами и пр. В их основе лежат обобщенные статистические формулы затухания радиосигнала в различных типах

застройки (городская, пригородная, сельская). Точность расчета зависит от тщательного подбора эмпирических коэффициентов, основанного на анализе карт местности. В настоящий момент большинство операторов сотовой связи использует для планирования сетей программные продукты, основанные именно на этих моделях, однако несовершенство компьютерных карт местности и усредненные коэффициенты приводят к достаточно большой ошибке. К числу достоинств данных моделей можно отнести сравнительно небольшое время расчета.

Детерминированные методы расчета зон покрытия основаны на использовании физических моделей распространения радиоволн. В них учитываются ослабление в свободном пространстве, отражение от местных объектов, дифракция на препятствиях, поглощение, преломление электромагнитных волн. Расчет основан на многолучевой модели распространения радиоволн. Плюсом данной технологии является достаточно высокая точность расчета. На практике детерминированный метод практически не применяется, т.к. в условиях городской застройки со сложной архитектурой расчет покрытия занимает огромное количество времени, сопоставимое со временем развертывания сети. Это вызвано не только вычислительными затратами на расчет многолучевого распространения радиоволн, но и необходимостью точного моделирования городской среды с учетом архитектурных особенностей, материалов строений, что практически невозможно в масштабах крупного населенного пункта.

Квазидетерминированный метод отличается следующими особенностями: применяется многолучевая модель распространения радиоволн, преломление заменяется ослаблением; используются среднестатистические коэффициенты отражения для каждого диапазона частот; поглощение рассчитывается с учетом длины луча в строении/лесу/парке; используется адаптивный алгоритм расчета, учитывающий различные направления прихода прямой и отраженной волн;

существует возможность учета диаграмм направленности каждой антенны. Данная модель имеет большую точность по сравнению со статистическими методами, однако вычислительные затраты гораздо больше.

В документации по LTE предусматривается использование для моделирования 3 сценариев распространения радиоволн, в зависимости от расстояний между базовыми станциями (БС) и других условий:

- пригородная макросота (ориентировочное расстояние между БС 3км);
- городская макросота (ориентировочное расстояние между БС 3км);
- городская микросота (ориентировочное расстояние между БС менее 1км).

Для каждого из сценариев необходимо использовать свои модели распространения радиоволн в пространстве:

#### **Занятие 7. Спектры и ширина полосы излучений (4 час.)**

Полоса частот  $\Delta f$ , которая отводится отдельному каналу связи, является одним из основных параметров в системе связи. С уменьшением полосы частот увеличивается количество каналов связи в выделенном участке спектра  $\Delta F$ , следовательно, и количество одновременно работающих пользователей в сети. Эффективность использования радиоспектра сотовой связи оценивается по количеству абонентов, которое может быть обслужено на территории действия радиосети в пределах выделенного частотного диапазона.

Уменьшение полосы частот модулированного сигнала  $\Delta f$  приводит к уменьшению скорости передачи информации. Поэтому наряду с фильтрами, ограничивающими полосу частот модулированного сигнала, применяют многоуровневую модуляцию. В результате сохраняется скорость передачи информации для передачи низкоскоростных данных, но возрастает вероятность ошибок после обработки высокочастотного сигнала в приемном тракте.

Чрезмерное уменьшение полосы частот канала до величины меньшей оптимального значения приводит к недопустимому искажению формы

принятого сигнала в высокочастотном тракте, снижению его помехозащищенности и увеличению количества неправильно принятых бит в приемнике с цифровым каналом связи.

Оценка спектра на основе сравнения внеполосной излучаемой мощности и необходимой полосы. Пунктирной линией показан расчетный спектр с шириной  $B_n$ , оптимальной для конкретного класса излучения – амплитудной, частотной или фазовой манипуляции, однополосной с подавленной несущей или двухполосной.

Сплошной линией изображен спектр, формируемый передатчиком, который уже оптимального спектра. Его внеполосный спектр слева и справа от полосы  $B_n$  меньше заданной относительной величины  $\beta$ . Мощность внеполосного излучения равна сумме заштрихованных площадей спектральной плотности, расположенных слева и справа от основной занимаемой полосы  $B_n$ .

Рекомендуемой относительной величиной мощности является уровень  $\beta=0,01$ . Это означает, что 99% мощности излучаемого сигнала находится в основной полосе, и 1% мощности приходится на внеполосное излучение. По 0,5%, т.е.  $\beta/2$ , слева и справа от основной полосы  $B_n$ . Приведенный вариант показывает, что внеполосное излучение составляет менее рекомендуемого уровня 1% при  $\beta=0,01$ . Несмотря на то, что уровень побочных излучений снизился, сигнал на приемной стороне будет приниматься с большими искажениями, качество приема недостаточное. Полоса выбрана меньше необходимого значения.

Выделение ширины полосы сверх оптимальной величины уменьшает отношение полезного сигнала к помехе, что также снижает достоверность принятой информации. В этом случае процент помех возрастает из-за увеличения полосы частот, выделенной передатчику и приемнику для отдельно взятого канала связи  $\Delta f$ .

Расчет и выбор оптимальной полосы частот  $B_n$  зависит не только от вида манипуляции, но и от назначения системы радиосвязи. В радиолокации

достаточно широкая полоса выбирается исходя из точности воспроизведения импульсного сигнала приемником. Точность измерения расстояния зависит от времени запаздывания отраженного импульса относительно излучаемого импульса передатчиком. Чем больше отведенная радиолокационной системе полоса частот, тем ближе форма переданного и принятого импульса к прямоугольной. Тем точнее измеряется время между двумя импульсами.

В системах передачи данных первоочередное значение имеет не прямоугольность импульса, а способность приемника отличить один логический уровень сигнала от другого для достоверного приема информации. Форму прямоугольного сигнала в передатчике преднамеренно искажают, чтобы сузить спектр и уменьшить уровень помех, действующих в радиоканале. По этой причине нельзя сравнивать эффективность использования радиоспектра радиолокационных систем и систем передачи данных.

Расчет и сравнение полосы частот при амплитудной, фазовой и частотной манипуляции.

### **Занятие 8. Вероятность ошибок BER (4 час.)**

Качество работы демодулятора и декодера характеризуется частотой, с которой возникают ошибки декодируемой последовательности. Средняя вероятность ошибки на бит для выходных символов декодера - характеристика качества демодулятора-декодера. Вероятность ошибки функция от характеристик кода, формы сигналов, используемых для передачи информации по каналу, мощности передатчика, характеристик канала, методов демодуляции и декодирования.

Характеристики переданного по каналу связи сигнала синусоиды - амплитуда, частота и фаза. Разность между исходным и восстановленным сигналом - мера искажения, внесённого цифровой системой связи.

Один и тот же процент ошибок канала связи - разное влияние на качество предоставляемых услуг. Передача речевого сигнала или данных (файлы, интернет) требуют разной вероятности ошибки на бит. В

измерительных приборах среднюю вероятность ошибок обозначают величиной BER (bit error rate), или коэффициентом битовых ошибок. Параметр ошибки BER - основной параметр измерения цифровых систем передачи и коммутации.

Для линий телефонной связи принят пороговый уровень  $BER_{MAX} = 0,03$ . Не более 3 искаженных помехами бит в блоке из 100 бит речевого сигнала. В канале передачи данных высокого качества требуется  $BER_{MAX} = 10^{-6}$ . Большинство приборов для измерения параметров сигналов с цифровой модуляцией имеют нижнюю границу диапазона измерения параметра BER  $10^{-8}$  или  $10^{-9}$ , реже —  $10^{-10}$ ,  $10^{-11}$ .

Достоверность принятия решения в приемнике о переданном цифровом сигнале по каналу связи прямо пропорциональна энергии принятого символа  $E_0$  и обратно пропорциональна спектральной плотности помехи  $N_0$ . В отличие от аналоговых систем связи в цифровой связи качество приема оценивается не отношением мощностей  $P_{сигнал}/P_{помехи}$ , а отношением энергий полезного сигнала и помехи  $E_0/N_0$ .

Расчет вероятности ошибок для амплитудной, фазовой и частной манипуляции.

### **Занятие 9. Расчет спектра (4 час.)**

Расчет спектра в среде Matlab. Составление программ по расчету спектра в Matlab для амплитудной, фазовой и частной манипуляции.

Ширина спектра по рекомендации МККР с составляющими не менее 1% от амплитуды немодулированного сигнала.

Исходные данные для расчета спектра: амплитуда и частота сигнала, скорость передачи. Графики спектрального состава.

Сравнение двухуровневых и многоуровневых схем манипуляции по занимаемой полосе частот при одинаковой скорости передачи.

### III УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

#### САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### IV КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули, разделы, темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
2	Раздел I	ПК-28	знает	отчет №1	контрольная работа №1
			умеет	отчет №2	контрольная работа №1
			владеет	отчет №1, отчет №2	контрольная работа №1
3	Раздел II	ПК-28	знает	отчет №3	контрольная работа №2
			умеет	отчет №4	контрольная работа №2
			владеет	отчет №3, отчет №4	контрольная работа №2
5	Раздел III, IV	ПК-28	знает	отчет №5	контрольная работа №3
			умеет	отчет №6	контрольная работа №3
			владеет	отчет №5, отчет №6	контрольная работа №3

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература:**

1. Корниенко С.А. Основы государственного регулирования использования радиочастотного спектра в Российской Федерации [Электронный ресурс]: лабораторный практикум/ Корниенко С.А.— Электрон. текстовые данные.— Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016.— 98 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66035.html>
2. Корниенко С.А. Техническое обеспечение государственного регулирования использования радиочастотного спектра в Российской Федерации [Электронный ресурс]: лабораторный практикум/ Корниенко С.А.— Электрон. текстовые данные.— Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016.— 98 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66037.html>
3. Меглицкий Б.Н. Эффективность методов модуляции в цифровых радиосистемах [Электронный ресурс]: монография / Малицкий Б.Н.— Электрон. текстовые данные.- Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2011.— 187 с .— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45497.html>

### **Дополнительная литература**

1. Малицкий Б. Н. Оценка влияния искажений и шума на качество цифровых систем радиосвязи с использованием имитационного

моделирования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Малицкий Б. Н., Сергеева А. С. Электрон. текстовые данные.- Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016.- 122 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69550.html>

2. Пустовойтов Е.Л. Учебное пособие по дисциплине Электромагнитная совместимость и управление использованием радиочастотного спектра [Электронный ресурс] / - Электрон. текстовые данные.— М.: Московский технический университет связи и информатики, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63374.html>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

Для проведения практических занятий по исследованию радиосигналов используются многофункциональные измерительные радиоприемники USRP2901, USRP2920.

Программное обеспечение, доступное студентам для выполнения задания по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы:

Место расположения компьютерной техники, на котором установлено программное обеспечение, количество рабочих мест	<b>Перечень программного обеспечения</b>
Компьютерный класс кафедры электроники и средств связи, Ауд. Е727, 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Microsoft Office Professional Plus 2016 – офисный пакет, включающий программное обеспечение для работы с различными типами документов;</li> <li>– NI LabVIEW 2015 – пакет прикладных программ для проектирования электронных схем радиопередающих и радиоприемных устройств связи;</li> <li>– MATLAB R2016a - пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноименный язык программирования, используемый в этом пакете</li> <li>– NI LabVIEW Modulation Toolkit 15.0 - пакет прикладных программ для многофункциональных измерительных радиоприемников USRP2901, USRP2920.</li> </ul>

## **I. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

В процессе обучения студент должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 25% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебном плане и графике учебного процесса, с которыми каждый обучающийся может ознакомиться у преподавателя дисциплины или на кафедре.

Главное в период обучения своей специальности – это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на следующий день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием как успешной учебы, так и последующей работы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Конспектирование лекционного материала должно производиться кратко, схематично, последовательно. Фиксируются основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечаются важные мысли, выделяются ключевые слова, термины. Термины, понятия проверяются с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Необходимо обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Только если самостоятельно не удастся разобраться в материале,

необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.

Материал лекций необходимо закреплять самостоятельно. В первую очередь, на следующий день необходимо еще раз проработать материал лекции. Практика показывает, что если не сделать этого в течение двух-трех дней, то большая часть материала забудется. В дальнейшем процесс забывания идет по экспоненте. При изучении материала обязательно использование учебников и других материалов по дисциплине. Необходимо найти контрольные вопросы по соответствующей теме, ответить на них. В случае если по теме есть задачи, то их необходимо решить и сверить с правильными вариантами ответов (при наличии). В случае затруднений необходимо проконсультироваться у преподавателя.

Во всех различных ситуациях, приводящих к ошибочным действиям, некорректным выводам и/или ответам необходимо проанализировать причины, приведшие к ошибкам. Работа над ошибками является одним из условий процесса совершенствования знаний и навыков, а следовательно, успешной учебы и работы.

Примерное распределение времени самостоятельной работы, которое студент должен отводить на тот или иной вид занятий: закрепление лекционного материала – 15%, подготовка к практическим занятиям – 30%, подготовка к зачету – 25%. Тем не менее, учитывая особенности каждого студента, указанные часы могут варьироваться.

Дисциплину рекомендуется изучать по плану занятий. Обучающийся должен своевременно выполнять решение задач на практических занятиях и заканчивать их решение дома или на консультации. Без своевременного решения всех задач невозможна самостоятельная подготовка студента к трем контрольным работам, которые предусмотрены рейтингом-планом дисциплины и проводятся в течение семестра.

При подготовке к лекциям обучающийся изучает план лекционного материала, практических занятий, рекомендованную и дополнительную

литературу.

Решение задач опирается на лекционный материал. Некоторые практические занятия являются достаточно объемными и рассчитаны на несколько аудиторных занятий. Распределение контрольных работ по рейтинговым блокам следующее: в первом, втором и третьем рейтинговых блоках студент должен подготовить по одной контрольной работе. Таким образом, студент должен подготовить задачи и теоретические вопросы соответственно по блокам:

- к концу 1-го рейтингового блока – 1-ая контрольная работа;
- к концу 2-го рейтингового блока – 2-ая контрольная работа.
- к концу 3-го рейтингового блока – 3-я контрольная работа.

Для подготовки к практическим занятиям и контрольным работам требуется изучение лекционного материала, уверенное знание ответов на контрольные вопросы для закрепления материала. В некоторых задачах практических занятий необходимо самостоятельное составление программ в среде Mathcad или MATLAB.

К зачету обучающийся должен отчитаться по всем контрольным работам и практическим занятиям. Темы, рассмотренные на лекционных занятиях, но не отраженные в практических занятиях, закрепляются обучающимся во время самостоятельной работы.

При подготовке к зачету необходимо повторить учебный материал, используя конспект лекций, основную и дополнительную литературу. Зачет может быть принят как в форме ответа на вопросы билета, так и засчитываться по результатам рейтинга.

Магистры, пропустившие более половины практических занятий, к сдаче зачета не допускаются.

## **II МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для проведения исследований, связанных с выполнением задания по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ:

Наименование оборудованных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень основного оборудования
Компьютерный класс, Ауд. Е727	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty
Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду (корпус А - уровень 10)	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек.
Мультимедийная аудитория	проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления;



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Эффективность использования радиочастотного  
спектра в цифровых каналах связи»  
Направление подготовки  
**11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**  
Форма подготовки очная

**Владивосток  
2018**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-6 недели	Подготовка задач и теоретических лекционных вопросов к контрольной работе №1	11 час.	Конспект с задачами
2	6-ая неделя	Подготовка к выполнению контрольной работы №1	3 час.	Контр-ная работа 1
3	7-12 недели	Подготовка задач и теоретических лекционных вопросов к контрольной работе №2	10 час.	Конспект с задачами
4	12-ая неделя	Подготовка к выполнению контрольной работы №2	3 час.	Контр-ная работа 2
5	13-17 недели	Подготовка задач и теоретических лекционных вопросов к контрольной работе №3	10 час.	Конспект с задачами
4	17-ая неделя	Подготовка к выполнению контрольной работы №3	3 час.	Контр-ная работа 3
4	18 неделя	Подготовка к зачету	14 час.	Зачет, представление портфолио
Итого			54 час.	

### Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Задания и методические рекомендации для самостоятельной работы обеспечивают подготовку отчетов к практическим работам. Их полное содержание приведено в программе и методических указаниях. Методические указания к практическим работам в электронном виде и печатном виде берутся у ведущего преподавателя.

### Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Результаты самостоятельной работы отражаются в письменных работах (отчетах по практическим занятиям).

К представлению и оформлению отчетов по практическим работам предъявляются следующие требования.

## Структура отчета по практическому занятию

Отчеты по практическим работам представляются в произвольной форме, подготовленные как записанный конспект с лекциями и решениями задач, выполненных вместе с преподавателем у доски или как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, графики, таблицы, приложения, список литературы и расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по практической работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- Тема практического занятия – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);
- Исходные данные к выполнению заданий – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);
- Основная часть – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям занятия, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать, исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- Выводы – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по теме занятия (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);
- Список литературы – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- Приложения – необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов по практическим занятиям:

- Своевременность предоставления отчета;
- Пороговый уровень количества пропущенных занятий. Если обучающийся систематически пропускает лекции и практические занятия (месяц и более), то он лишается рейтинговых баллов и

автоматически общей рейтинговой оценки за семестр согласно правилам проведения рейтинговых мероприятий

- структурирование практической работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

Рекомендации по оформлению графического материала, полученного с экранов в виде «скриншотов»

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Оценивание практических работ проводится по критериям:

- полнота и качество выполненных заданий;
- владение методами и приемами компьютерного моделирования в исследуемых вопросах, применение специализированных программных средств;

- качество оформления отчета, использование правил и стандартов оформления текстовых и электронных документов;
- использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников сети Интернет, информации нормативно правового характера и передовой практики;
- отсутствие фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.

### **Методические указания по подготовке к зачету**

К концу семестра обучающийся должен отчитаться по всем видам занятий, т.е. представить отчеты, получить рейтинговую оценку по каждой контрольной работе в соответствии с темой. Темы, рассмотренные на лекционных занятиях, но не затронутые на практических занятиях, разбираются обучающимися во время самостоятельной работы.

При подготовке к зачету необходимо представить Портфолио и повторить учебный материал, используя конспект лекций, основную и дополнительную литературу, при необходимости посетить консультации.

Структура Портфолио: 1. Название Портфолио; 2. Конспект лекций; 3. Отчеты по практическим работам; 4. Контрольные работы.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ДФУ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Эффективность использования радиочастотного  
спектра в цифровых каналах связи»  
Направление подготовки  
**11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**  
Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2018**

**Паспорт оценочных средств по дисциплине  
«Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых  
каналах связи»**

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-28 - готовность к изучению периодической научно-технической литературы, способностью выявления тенденций в развитии инфокоммуникационных технологий и методов	Знает	направления развития технических средств для повышения эффективности использования спектра; преимущества и недостатки программируемого радио; проблемы внедрения когнитивного радио; принципы регулирования спектра.
	Умеет	анализировать экономическую и техническую эффективность использования спектра; анализировать спектральный состав сигнала по результатам измерений; измерять занимаемую полосу каналов связи.
	Владеет	навыками работы со справочной информацией, необходимой для проведения практических занятий; приемами программирования в среде LabVIEW.

№ п/п	Контролируемые модули, разделы, темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
2	Раздел I	ПК-28	знает	отчет №1	контрольная работа №1
			умеет	отчет №2	контрольная работа №1
			владеет	отчет №1, отчет №2	контрольная работа №1
3	Раздел II	ПК-28	знает	отчет №3	контрольная работа №2
			умеет	отчет №4	контрольная работа №2
			владеет	отчет №3, отчет №4	контрольная работа №2
5	Раздел III, IV	ПК-28	знает	отчет №5	контрольная работа №3
			умеет	отчет №6	контрольная работа №3
			владеет	отчет №5, отчет №6	контрольная работа №3

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
ПК-28 - готовность к изучению периодической научно-технической литературы, способностью выявления тенденций в развитии инфокоммуникационных технологий и методов	Знает	Способы обеспечения заданной помехоустойчивости; Методы расчета спектральной эффективности каналов в проектируемых системах связи; Экспериментальные методы исследования характеристик помехозащищенности радиосигнала; Способы регулирования радиочастотного ресурса; Основные способы поиска и анализа справочной информации.	Способность пересказать и объяснить учебный лекционный материал с достаточной степенью научной точности и полноты, с приведением примеров	Знать основные характеристики сигналов, по которым оценивается эффективность использования спектра; Знать принципы программирования SDR-радио, уверенно их применять для проектирования технических средств связи; Уметь пользоваться современными измерительными средствами для анализа спектра; Знать последовательность назначения радиочастот.	60-75
	Умеет	Выбирать схему программирования приемника и передатчика в LabVIEW; Рассчитывать координационное расстояние между приграничными базовыми станциями; Анализировать теоретически с помощью математических моделей и на практике с использованием соответствующих измерительных приборов параметры распространения радиосигнала; Проводить поиск научно-технической информации по заданной теме.	Уметь систематизировать научную информацию, выполнять типовые задачи по анализу характеристик эффективности использования спектра	Умение самостоятельно находить необходимую научно-техническую и справочную литературу, в которой описываются характеристики эффективности использования спектра; Владение методиками расчета отношения сигнал/помеха,; Умение пользоваться виртуальными осциллографами и генераторами, встроенными в радиомодули USRP.	76-85
	Владеет	Навыками расчета отношения сигнал/помеха и вероятности ошибок в приемнике; Навыками выбора	Владеть методиками решения различных задач, связанных с анализом	Приемами расчета сигналов когнитивного радио, используемых при проектировании систем связи;	86-100

		<p>методов и средств измерений для экспериментальных исследований параметров цифровых сигналов;</p> <p>Навыками анализа детектирования сигналов ;</p> <p>Навыками поиска, анализа и систематизации научно-технической информации по конкретной тематике исследования.</p>	<p>синтезом блоков устройств SDR с использованием научно-технической информации в современных отечественных и зарубежных источниках</p>	<p>Основными параметрами сетевого мониторинга;</p> <p>Математическими методами расчета и описания характеристик случайных цифровых сигналов;</p> <p>Умением выбирать соответствующие измерительной задаче методики измерений и средства измерений;</p> <p>Умением самостоятельно находить методы решения разнообразных задач в области проектирования систем связи;</p>	
<p>ПК-28 - готовность к изучению периодической научно-технической литературы, способностью выявления тенденций в развитии инфокоммуникационных технологий и методов</p>	Знает	<p>Наличие общего представления о принципах распределения частот на национальном и международном уровне;</p> <p>Знание способов выбора методик экспериментальных исследований;</p> <p>Основные решения, применяемые в типовых задачах регулирования спектра;</p> <p>Базовые навыки применения математического аппарата для решения задач, возникающих при исследовании пропускной способности каналов связи.</p>	<p>Способность пересказать и объяснить учебный лекционный материал с достаточной степенью научной точности и полноты, с приведением примеров</p>	<p>способы выбора методик экспериментальных исследований;</p> <p>методы устранения избыточности речевого сигнала;</p> <p>разновидности схем выделения синхросигнала и данных из потока в приемнике;</p> <p>практические методики исследования схем понижения скорости в устройствах связи;</p> <p>современное состояние достижений, проблем и путей их решения в системах связи;</p> <p>методы математического моделирования частотных характеристик каналов связи.</p>	60-75
	Умеет	<p>Применять знания цифровой техники в задачах повышения технической</p>	<p>Уметь применять современные методы исследования для решения типовых задач по анализу</p>	<p>анализировать на основе справочных данных теоретические модели компрессии сигнала речи;</p>	76-85

		<p>эффективности использования спектра;</p> <p>Самостоятельно находить необходимую научно-техническую и справочную литературу, относящуюся к выбору готового или построению самостоятельного решения для реализации конкретной задачи;</p> <p>Составлять и рассчитывать характеристики простейших узлов электронных схем, применяемых для построения базовых блоков когнитивного радио.</p>	<p>совместимости электронного оборудования;</p> <p>Уметь рассчитывать основные характеристики каналов связи.</p>	<p>самостоятельно изучать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами реализации, и цифровых модулей аппаратуры связи;</p> <p>составлять простейшие структурные схемы модуляторов и демодуляторов на основе микросхем ЦАП и АЦП;</p> <p>рассчитывать характеристики сотовых сетей, влияющие на полосу частот ;</p>	
	Владеет	<p>Способностью четко и грамотно ставить задачу, составлять план разработки структурного решения;</p> <p>Навыками выбора соответствующих структурных решений, средств измерений для контроля параметров передатчика;</p> <p>Навыками, позволяющими самостоятельно находить методы решения типовых и нетипичных задач в области расчета, построения и последующего анализа параметров и характеристик структурных схем автоматической настройки скорости передачи, а также в области описания и анализа характеристик сетевых элементов.</p>	<p>Владеть навыками решения различных задач в области теоретического и экспериментального исследования и описания устройств когнитивного радио, применяемых в радиосвязи, с использованием практических навыков, приобретенных в ходе учебного процесса.</p>	<p>Способами описания различных блоков радиотелефона во время проектирования и эксплуатации сетей связи;</p> <p>Навыками составления экспериментальных методик исследований и способами описания математических распространения радиосигналов;</p> <p>Методологией теоретических и экспериментальных исследований для исследования спектра систем связи;</p> <p>Навыками составления, расчета схем программируемого радио;</p> <p>Начальными навыками проведения исследований с помощью модулей USRP.</p>	86-100

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Текущая аттестация студентов**

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» проводится в форме выполнения контрольных работ по оцениванию фактических результатов обучения студентов. Осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Оценивание результатов освоения дисциплины на этапе текущей аттестации проводится в соответствии с используемыми оценочными средствами и критериями.

### **Комплект заданий для контрольной работы**

Вариант 1

Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом For. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и количество итераций в цикле (не менее 7). Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I8, U16, SGL. Для чисел SGL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

Теоретический вопрос 1

Методы повышения эффективности РЧ - спектра. Критерии эффективности. Единицы измерения радиочастотного ресурса. Конверсия радиочастот. Определения когнитивного радио CRS и программируемого радио SDR.

Теоретический вопрос 2

Планы использования полос радиочастот. Всемирные и региональные планы для радиослужб. Примеры планов назначения радиочастот.

## Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

### Вариант 2

#### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом While. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и условие завершения цикла. Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

#### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I16, U32, DBL. Для чисел DBL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

#### Теоретический вопрос 1

Управление использованием радиочастотного спектра на международном и национальном уровнях. Принципы повышения эффективности РЧ спектра в США. Согласование регулирования спектра Администрациями связи с Международным союзом электросвязи. Сектор радиосвязи. Регламент радиосвязи, содержание Регламента.

#### Теоретический вопрос 2

Принципы приграничной координации сетей радиосвязи. Рекомендация ECC/REC/(08)02 Европейской конференции. Пример координационных расстояний для базовой станции LTE.

## Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

### Вариант 3

#### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом For. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и количество итераций в цикле (не менее 7). Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

#### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I8, U16, SGL. Для чисел SGL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

#### Теоретический вопрос 1

Разделение мира на три района Регламентом радиосвязи для распределения частот. Совместное и исключительное распределение. Первичные и вторичные службы. Примеры радиослужб национальной таблицы ТРЧ России.

#### Теоретический вопрос 2

Обязательная регистрация в Бюро радиосвязи МСЭ и международная координация с Администрациями других стран. Примеры обязательной регистрации и международной координации.

## Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

### Вариант 4

#### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом While. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы

и условие завершения цикла. Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

#### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I16, U32, DBL. Для чисел DBL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

#### Теоретический вопрос 1

Планы использования полос радиочастот. Всемирные и региональные планы для радиослужб. Примеры планов назначения радиочастот.

#### Теоретический вопрос 2

Заявление и регистрация частотного назначения в Бюро радиосвязи МСЭ с целью его внесения в Международный справочный регистр частот (МСРЧ). Частотные назначения, используемые на международном уровне, которые не нужно заявлять в Бюро радиосвязи.

#### Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

##### Вариант 5

##### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом For. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и количество итераций в цикле (не менее 7). Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

##### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I8, U16, SGL. Для чисел SGL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

#### Теоретический вопрос 1

Управление использованием радиочастотного спектра на международном и национальном уровнях. Принципы повышения эффективности РЧ спектра в США. Согласование регулирования спектра Администрациями связи с Международным союзом электросвязи. Сектор радиосвязи. Регламент радиосвязи, содержание Регламента.

#### Теоретический вопрос 2

Планы использования полос радиочастот. Всемирные и региональные планы для радиослужб. Примеры планов назначения радиочастот.

#### Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

##### Вариант 6

##### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом While. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и условие завершения цикла. Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

##### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I16, U32, DBL. Для чисел DBL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

### Теоретический вопрос 1

Методы повышения эффективности РЧ - спектра. Критерии эффективности. Единицы измерения радиочастотного ресурса. Конверсия радиочастот. Определения когнитивного радио CRS и программируемого радио SDR.

### Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

#### Вариант 7

#### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом For. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и количество итераций в цикле (не менее 7). Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

#### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I8, U16, SGL. Для чисел SGL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

### Теоретический вопрос 1

Планы использования полос радиочастот. Всемирные и региональные планы для радиослужб. Примеры планов назначения радиочастот.

### Теоретический вопрос 2

Обязательная регистрация в Бюро радиосвязи МСЭ и международная координация с Администрациями других стран. Примеры обязательной регистрации и международной координации.

---

### Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

#### Вариант 8

#### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом While. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и условие завершения цикла. Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

#### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I16, U32, DBL. Для чисел DBL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

### Теоретический вопрос 1

Разделение мира на три района Регламентом радиосвязи для распределения частот. Совместное и исключительное распределение. Первичные и вторичные службы. Примеры радиослужб национальной таблицы ТРЧ России.

### Теоретический вопрос 2

Заявление и регистрация частотного назначения в Бюро радиосвязи МСЭ с целью его внесения в Международный справочный регистр частот (МСРЧ). Частотные назначения, используемые на международном уровне, которые не нужно заявлять в Бюро радиосвязи.

Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

Вариант 9

Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом For. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и количество итераций в цикле (не менее 7). Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I8, U16, SGL. Для чисел SGL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

Теоретический вопрос 1

Методы повышения эффективности РЧ - спектра. Критерии эффективности. Единицы измерения радиочастотного ресурса. Конверсия радиочастот. Определения когнитивного радио CRS и программируемого радио SDR.

Теоретический вопрос 2

Принципы приграничной координации сетей радиосвязи. Рекомендация ECC/REC/(08)02 Европейской конференции. Пример координационных расстояний для базовой станции LTE.

Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

Вариант 10

Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом While. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и условие завершения цикла. Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I16, U32, DBL. Для чисел DBL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

Теоретический вопрос 1

Управление использованием радиочастотного спектра на международном и национальном уровнях. Принципы повышения эффективности РЧ спектра в США. Согласование регулирования спектра Администрациями связи с Международным союзом электросвязи. Сектор радиосвязи. Регламент радиосвязи, содержание Регламента.

Теоретический вопрос 2

Планы использования полос радиочастот. Всемирные и региональные планы для радиослужб. Примеры планов назначения радиочастот.

Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

Вариант 11

Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом For. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и количество итераций в цикле (не менее 7). Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

#### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I8, U16, SGL. Для чисел SGL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

#### Теоретический вопрос 1

Разделение мира на три района Регламентом радиосвязи для распределения частот. Совместное и исключительное распределение. Первичные и вторичные службы. Примеры радиослужб национальной таблицы ТРЧ России.

#### Теоретический вопрос 2

Заявление и регистрация частотного назначения в Бюро радиосвязи МСЭ с целью его внесения в Международный справочный регистр частот (МСРЧ). Частотные назначения, используемые на международном уровне, которые не нужно заявлять в Бюро радиосвязи.

#### Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

##### Вариант 12

##### Задача 1

Нарисовать схему на блок-диаграмме с циклом While. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и условие завершения цикла. Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

##### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I16, U32, DBL. Для чисел DBL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

#### Теоретический вопрос 1

Планы использования полос радиочастот. Всемирные и региональные планы для радиослужб. Примеры планов назначения радиочастот.

#### Теоретический вопрос 2

Обязательная регистрация в Бюро радиосвязи МСЭ и международная координация с Администрациями других стран. Примеры обязательной регистрации и международной координации.

#### Контрольная работа №1 по Эффективности использования спектра

##### Вариант 13

##### Задача 1

Нарисовать схему на блок диаграмме с циклом For. Включить в цикл три простых последовательно соединенных операции. Добавить один блок перед входом цикла и один блок после выхода из цикла. Задать начальные численные значения для всех блоков схемы и количество итераций в цикле (не менее 7). Определить численные значения выходов всех блоков схемы после первой итерации и после последней итерации.

##### Задача 2

Определить диапазон изменения чисел для типов данных I8, U16, SGL. Для чисел SGL необходимо самостоятельно задать число разрядов после запятой.

### Теоретический вопрос 1

Управление использованием радиочастотного спектра на международном и национальном уровнях. Принципы повышения эффективности РЧ спектра в США. Согласование регулирования спектра Администрациями связи с Международным союзом электросвязи. Сектор радиосвязи. Регламент радиосвязи, содержание Регламента.

### Теоретический вопрос 2

Обязательная регистрация в Бюро радиосвязи МСЭ и международная координация с Администрациями других стран. Примеры обязательной регистрации и международной координации.

#### Критерии оценки:

10 баллов (максимум) выставляется студенту, если выполнены все задачи без ошибок

5 баллов, если выполнены три задания из четырех

4 балла (неудовлетворительно), если выполнены два задания из четырех

## Оценочные средства для промежуточной аттестации

### Промежуточная аттестация студентов

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых каналах связи» проводится в виде контрольных работ на разобранные в ходе лекций и практических занятий темы, содержащих как теоретические вопросы, так и ряд практических заданий без вариантов ответов. Для получения положительной оценки на зачете, кроме написания трех контрольных работ, необходимо предоставить свое Портфолио, которое состоит из конспекта лекций, отчетов по практическим работам и контрольных работ.

### Структура Портфолио

1. Название Портфолио.
2. Конспект лекций.
3. Отчеты по практическим работам.
4. Контрольные работы.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине  
«Эффективность использования радиочастотного спектра в цифровых  
каналах связи»**

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«зачтено»	Зачет выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76-85	«зачтено»	Зачет выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61-75	«зачтено»	Зачет выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0-60	«не зачтено»	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## Перечень вопросов, выносимых на зачет

1. Методы повышения эффективности РЧ - спектра. Критерии эффективности. Единицы измерения радиочастотного ресурса. Конверсия радиочастот. Определения когнитивного радио CRS и программируемого радио SDR.
2. Управление использованием радиочастотного спектра на международном и национальном уровнях. Принципы повышения эффективности РЧ спектра в США. Согласование регулирования спектра Администрациями связи с Международным союзом электросвязи. Сектор радиосвязи. Регламент радиосвязи, содержание Регламента.
3. Разделение мира на три района Регламентом радиосвязи для распределения частот. Совместное и исключительное распределение. Первичные и вторичные службы. Примеры радиослужб национальной таблицы ТРЧ России.
4. Планы использования полос радиочастот. Всемирные и региональные планы для радиослужб. Примеры планов назначения радиочастот.
5. Принципы приграничной координации сетей радиосвязи. Рекомендация ECC/REC/(08)02 Европейской конференции. Пример координационных расстояний для базовой станции LTE.
6. Обязательная регистрация в Бюро радиосвязи МСЭ и международная координация с Администрациями других стран. Примеры обязательной регистрации и международной координации.
7. Заявление и регистрация частотного назначения в Бюро радиосвязи МСЭ с целью его внесения в Международный справочный регистр частот (МСРЧ). Частотные назначения, используемые на международном уровне, которые не нужно заявлять в Бюро радиосвязи.
8. Управление использованием спектра на национальном уровне. Документы, определяющие в России порядок управления РЧС. Цели регулирования, регулятор, результаты регулирования.
9. Порядок использования радиочастотного спектра в Российской Федерации. Жизненный цикл РЭС гражданского назначения. Распределение функций между ГКРЧ и органами службы надзора за связью на этапе проектирования, производства и эксплуатации РЭС гражданского назначения.
10. Федеральный закон от 07.07.2003 N 126-ФЗ (ред. от 06.07.2016) "О связи". Примеры присвоения радиочастоты или радиочастотного канала. Примеры отказа выделения пользователям полос радиочастот. Изменение радиочастоты или радиочастотного канала у пользователя радиочастотным спектром.
11. Структурная схема системы когнитивного радио CRS. Назначение, характеристики, функции когнитивного радио. Преимущества CRS. Исследования систем когнитивного радио.
12. Стандарт беспроводной связи IEEE 802.22. Доступ к каналу связи, схемы модуляции, частотный диапазон и полосы системы когнитивного радио. Применение стандарта в США.
13. Модуляция в системах когнитивного радио. Адаптивная модуляция. Изменение параметров, их настройка и измерение. Блок-схема адаптивной модуляции на основе когнитивной радиосистемы. Цель регулирования параметров радиосистемы.
14. Вероятность ошибок BER. Расчет BER при заданном отношении E0/N0. Когерентный приемник. Амплитудная, фазовая и частотная манипуляция. Сравнение помехоустойчивости
15. Вероятность ошибок BER. Расчет BER при заданном отношении E0/N0. Некогерентный приемник. Амплитудная и частотная манипуляция. Двухуровневая и многоуровневая манипуляция.
16. Программирование структурных схем радиопередающих и радиоприемных блоков в среде LabVIEW. Создание схем генераторов несущей частоты. Прием и демодуляция радиосигнала. Схемы детектирования сигналов с амплитудной, частотной и фазовой манипуляцией.

17. Программирование структурных схем радиопередающих и радиоприемных блоков в среде LabVIEW. Примеры схем программ на основе простых и наиболее часто применяемых операторов For, While, регистров. Описание работы схем.
18. Программирование структурных схем радиопередающих и радиоприемных блоков в среде LabVIEW. Создание схем генераторов несущей частоты. Внесение помех в полезный сигнал. Измерение параметров полезного сигнала и помехи. Измерение отношения сигнал/помеха в передатчике и приемнике.
19. Программируемое радио SDR. Структурная схема программируемого радио. Техническая реализация SDR. Программируемые параметры в универсальных радиоприемных устройствах USRP. Структурная схема приемопередатчиков USRP.
20. Когнитивное радио. Условия применения когнитивного радио. Структурная схема когнитивного приемопередатчика. Пример применения когнитивного радио. Законодательные нормы применения когнитивного радио.
21. Совместное использование радиочастот сотовыми операторами связи в России и за рубежом. Условия совместного лицензирования радиочастот. Примеры совместного использования радиочастот. Законодательные нормы совместного использования радиочастот.

Зачет студент получает в случае владениями знаниями, навыками и умениями, приведенными в таблице оценивания знаний, по результату ответа на три вопроса.