МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровая обработка сигналов

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**
Направленность (профиль): **Системы радиосвязи и радиодоступа**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РТФ, Радиотехнический факультет**
Кафедра: **ТОР, Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники**
Курс: **3, 4**
Семестр: **6, 7**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	6 семестр	7 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	26	12	38	часов
2	Практические занятия	18	18	36	часов
3	Лабораторные занятия	16	16	32	часов
4	Всего аудиторных занятий	60	46	106	часов
5	Самостоятельная работа	48	62	110	часов
6	Всего (без экзамена)	108	108	216	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36		36	часов
8	Общая трудоемкость	144	108	252	часов
		4.0	3.0	7.0	З.Е

Экзамен: 6 семестр
Зачет: 7 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 12287

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 6 от «19» 1 2017 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, утвержденного 2015-03-06 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

ст. преподаватель каф. ТОР	_____	Абенов Р. Р.
доцент каф. ТОР	_____	Гельцер А. А.
Заведующий обеспечивающей каф. ТОР	_____	Демидов А. Я.

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки (специальности).

Декан РТФ	_____	Попова К. Ю.
Заведующий выпускающей каф. ТОР	_____	Демидов А. Я.

Эксперты:

доцент каф. ТОР	_____	Богомолов С. И.

Согласована на портале № 12287

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью преподавания дисциплины является изложение основ фундаментальной теории цифровой обработки сигналов (ЦОС) в части базовых методов и алгоритмов ЦОС, инвариантных относительно физической природы сигнала, и включающих в себя: математическое описание (математические модели) линейных дискретных систем (ЛДС) и дискретных сигналов, включая дискретное и быстрое преобразование Фурье (ДПФ и БПФ).

1.2. Задачи дисциплины

– Задачами изучения дисциплины является формирование у студентов знаний и умений, позволяющих осуществлять анализ функционирования, разработку и техническое обслуживание устройств цифровой обработки сигналов, а также изучение современных средств компьютерного моделирования базовых методов и алгоритмов ЦОС.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов» (Б1.В.ОД.13) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Вычислительная техника и информационные технологии, Программирование логических интегральных схем, Радиопередающие устройства систем радиосвязи и радиодоступа, Радиоприемные устройства систем радиосвязи и радиодоступа, Сигналы электросвязи.

Последующими дисциплинами являются: Системы и устройства радиосвязи и радиодоступа.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-8 умением собирать и анализировать информацию для формирования исходных данных для проектирования средств и сетей связи и их элементов;

– ПК-9 умением проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ;

В результате изучения дисциплины студент должен:

– **знать** методы математического описания линейных дискретных систем; основные этапы проектирования цифровых фильтров; основные методы синтеза и анализа частотно-избирательных цифровых фильтров; методы математического описания цифровых фильтров в виде структуры; метод атематического описания дискретных сигналов с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ); алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ); принципы оценки шумов квантования в цифровых фильтрах с фиксированной точкой; принципы построения систем однократной интерполяции и децимации;

– **уметь** объяснять математическое описание линейных дискретных систем в виде алгоритмов; выполнять компьютерное моделирование линейных дискретных систем на основе их математического описания; задавать требования к частотным характеристикам цифровых фильтров; обосновывать выбор типа цифрового фильтра, КИХ или БИХ (с конечной или бесконечной импульсной характеристикой); синтезировать цифровой фильтр и анализировать его характеристики средствами компьютерного моделирования; обосновывать выбор структуры цифрового фильтра; выполнять компьютерное моделирование структуры цифрового фильтра; вычислять ДПФ дискретного сигнала с помощью алгоритмов БПФ средствами компьютерного моделирования; объяснять принципы построения систем однократной интерполяции и децимации.

– **владеть** навыками составления математических моделей линейных дискретных систем и дискретных сигналов; навыками компьютерного моделирования линейных дискретных систем; навыками компьютерного проектирования цифровых фильтров; навыками компьютерного вычисления ДПФ на основе БПФ.

Согласована на портале № 12287

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры	
		6 семестр	7 семестр
Аудиторные занятия (всего)	106	60	46
Лекции	38	26	12
Практические занятия	36	18	18
Лабораторные занятия	32	16	16
Самостоятельная работа (всего)	110	48	62
Оформление отчетов по лабораторным работам	32	14	18
Проработка лекционного материала	40	18	22
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	38	16	22
Всего (без экзамена)	216	108	108
Подготовка и сдача экзамена	36	36	
Общая трудоемкость час	252	144	108
Зачетные Единицы Трудоемкости	7.0	4.0	3.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

№	Названия разделов дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1	Аналоговый интерфейс ввода-вывода для систем ЦОС.	6	4	2	14	26	ПК-8, ПК-9
2	Цифровые фильтры.	4	4	4	8	20	ПК-8, ПК-9
3	Эффекты квантования в цифровых фильтрах.	2	2	2	6	12	ПК-8, ПК-9
4	Описание дискретных сигналов в частотной области.	6	2	2	6	16	ПК-8, ПК-9
5	Дискретное преобразование Фурье.	2	2	2	6	12	ПК-8, ПК-9
6	Многоскоростные системы ЦОС.	6	4	4	8	22	ПК-8, ПК-9
7	Оконные функции.	6	6	6	28	46	ПК-8, ПК-9
8	Модуляция цифровых сигналов.	6	12	10	34	62	ПК-8, ПК-9

Согласована на портале № 12287

	Итого	38	36	32	110	216	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины по лекциям	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
6 семестр			
1 Аналоговый интерфейс ввода-вывода для систем ЦОС.	Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой. Дискретизация низкочастотных и полосовых сигналов. Однородное и неоднородное квантование и кодирование. Процесс цифро-аналогового преобразования.	6	ПК-8, ПК-9
	Итого	6	
2 Цифровые фильтры.	Введение в цифровые фильтры. Типы цифровых фильтров: КИХ-фильтры и БИХ-фильтры. Этапы разработки фильтра. Методы расчета коэффициентов КИХ-фильтров. Методы реализации КИХ-фильтров. Методы расчета коэффициентов БИХ-фильтров. Реализация БИХ-фильтров.	4	ПК-8, ПК-9
	Итого	4	
3 Эффекты квантования в цифровых фильтрах.	Влияние конечной разрядности на цифровые КИХ и БИХ-фильтры. Ошибки квантования коэффициентов. Ошибки округления. Ошибки переполнения.	2	ПК-8, ПК-9
	Итого	2	
4 Описание дискретных сигналов в частотной области.	Преобразование Фурье и Z-преобразование. Обратное z-преобразование. Области применения z-преобразования в цифровой обработке сигналов.	6	ПК-8, ПК-9
	Итого	6	
5 Дискретное преобразование Фурье.	Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Дискретное преобразование Фурье. Обратное дискретное преобразование Фурье.	2	ПК-8, ПК-9
	Итого	2	
6 Многоскоростные системы ЦОС.	Концепция обработки при нескольких скоростях. Децимация с целым шагом. Интерполяция с целым шагом. Многокаскадное преобразование частоты дискретизации. Программная	6	ПК-8, ПК-9

Согласована на портале № 12287

	реализация дециматоров. Программная реализация интерполяторов.		
	Итого	6	
Итого за семестр		26	
7 семестр			
7 Оконные функции.	Спектр ограниченного во времени сигнала. ДПФ ограниченного во времени сигнала. Использование оконного сглаживания. Коэффициент ослабления оконной функции. Основные частотные характеристики спектра оконной функции. Основные свойства оконной функции и их характеристики.	6	ПК-8, ПК-9
	Итого	6	
8 Модуляция цифровых сигналов.	Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией. Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала. Относительная (дифференциальная) двоичная фазовая манипуляция (DBPSK). Кодирование одним символом двух бит передаваемой информации. Структурная схема QPSK модулятора. Квадратурная амплитудная модуляция QAM.	6	ПК-8, ПК-9
	Итого	6	
Итого за семестр		12	
Итого		38	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представ-лены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

№	Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Предшествующие дисциплины									
1	Вычислительная техника и информационные технологии	+							
2	Программирование логических интегральных схем	+	+	+	+	+	+	+	+
3	Радиопередающие устройства систем радиосвязи и радиодоступа	+				+			+
4	Радиоприемные устройства систем радиосвязи и	+				+			+

Согласована на портале № 12287

	радиодоступа								
5	Сигналы электросвязи		+		+	+			+
Последующие дисциплины									
1	Системы и устройства радиосвязи и радиодоступа		+			+	+		+

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4

Таблица 5. 4 – Соответствие компетенций и видов занятий, формируемых при изучении дисциплины

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
ПК-8	+		+	+	Контрольная работа, Домашнее задание, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Зачет
ПК-9	+	+	+	+	Контрольная работа, Домашнее задание, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Зачет

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП

7. Лабораторный практикум

Содержание лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Содержание лабораторных работ

Названия разделов	Содержание лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
6 семестр			
1 Аналоговый интерфейс ввода-вывода для систем ЦОС.	Однородное и неоднородное квантование и кодирование.	2	ПК-9
	Итого	2	
2 Цифровые фильтры.	Цифровые фильтры. Фильтр скользящего среднего.	4	ПК-9
	Итого	4	

Согласована на портале № 12287

3 Эффекты квантования в цифровых фильтрах.	Влияние конечной разрядности на цифровые фильтры. Ошибки квантования коэффициентов. Ошибки округления.	2	ПК-9
	Итого	2	
4 Описание дискретных сигналов в частотной области.	Преобразование Фурье и Z-преобразование.	2	ПК-8, ПК-9
	Итого	2	
5 Дискретное преобразование Фурье.	Дискретное преобразование Фурье. Обратное дискретное преобразование Фурье.	2	ПК-8, ПК-9
	Итого	2	
6 Многоскоростные системы ЦОС.	Децимация с целым шагом. Интерполяция с целым шагом. Программная реализация дециматоров. Программная реализация интерполяторов.	4	ПК-8, ПК-9
	Итого	4	
Итого за семестр		16	
7 семестр			
7 Оконные функции.	Спектр ограниченного во времени сигнала. ДПФ ограниченного во времени сигнала. Использование оконного сглаживания. Коэффициент ослабления оконной функции. Основные частотные характеристики спектра оконной функции. Основные свойства оконной функции и их характеристики.	6	ПК-9
	Итого	6	
8 Модуляция цифровых сигналов.	Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией. Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала. Относительная (дифференциальная) двоичная фазовая манипуляция (DBPSK). Кодирование одним символом двух бит передаваемой информации. Структурная схема QPSK модулятора. Квадратурная амплитудная модуляция QAM.	10	ПК-9
	Итого	10	
Итого за семестр		16	
Итого		32	

8. Практические занятия

Содержание практических работ приведено в таблице 8.1.

Согласована на портале № 12287

Таблица 8. 1 – Содержание практических работ

Названия разделов	Содержание практических занятий	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
6 семестр			
1 Аналоговый интерфейс ввода-вывода для систем ЦОС.	Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой. Дискретизация низкочастотных и полосовых сигналов. Однородное и неоднородное квантование и кодирование. Процесс цифро-аналогового преобразования.	4	ПК-9
	Итого	4	
2 Цифровые фильтры.	Методы расчета коэффициентов КИХ-фильтров. Методы реализации КИХ-фильтров. Методы расчета коэффициентов БИХ-фильтров. Реализация БИХ-фильтров.	4	ПК-9
	Итого	4	
3 Эффекты квантования в цифровых фильтрах.	Влияние конечной разрядности на цифровые КИХ и БИХ-фильтры. Ошибки квантования коэффициентов. Ошибки округления. Ошибки переполнения.	2	ПК-9
	Итого	2	
4 Описание дискретных сигналов в частотной области.	Преобразование Фурье и Z-преобразование. Обратное z-преобразование. Области применения z-преобразования в цифровой обработке сигналов.	2	ПК-9
	Итого	2	
5 Дискретное преобразование Фурье.	Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Дискретное преобразование Фурье. Обратное дискретное преобразование Фурье.	2	ПК-9
	Итого	2	
6 Многоскоростные системы ЦОС.	Концепция обработки при нескольких скоростях. Децимация с целым шагом. Интерполяция с целым шагом. Многокаскадное преобразование частоты дискретизации. Программная реализация дециматоров. Программная реализация интерполяторов.	4	ПК-9
	Итого	4	
Итого за семестр		18	
7 семестр			

Согласована на портале № 12287

7 Оконные функции.	Спектр ограниченного во времени сигнала. ДПФ ограниченного во времени сигнала. Использование оконного сглаживания. Коэффициент ослабления оконной функции. Основные частотные характеристики спектра оконной функции. Основные свойства оконной функции и их характеристики.	6	ПК-9
	Итого	6	
8 Модуляция цифровых сигналов.	Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией. Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала. Относительная (дифференциальная) двоичная фазовая манипуляция (DBPSK). Кодирование одним символом двух бит передаваемой информации. Структурная схема QPSK модулятора. Квадратурная амплитудная модуляция QAM.	12	ПК-9
	Итого	12	
Итого за семестр		18	
Итого		36	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
6 семестр				
1 Аналоговый интерфейс ввода-вывода для систем ЦОС.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Экзамен
	Проработка лекционного материала	6		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		
	Итого	14		
2 Цифровые фильтры.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Экзамен
	Проработка лекционного материала	4		
	Оформление отчетов по	2		

Согласована на портале № 12287

	лабораторным работам			
	Итого	8		
3 Эффекты квантования в цифровых фильтрах.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		
	Итого	6		
4 Описание дискретных сигналов в частотной области.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		
	Итого	6		
5 Дискретное преобразование Фурье.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		
	Итого	6		
6 Многоскоростные системы ЦОС.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	8		
Итого за семестр		48		
	Подготовка к экзамену / зачету	36		Экзамен
7 семестр				
7 Оконные функции.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	10	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	10		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	8		

Согласована на портале № 12287

	Итого	28		
8 Модуляция цифровых сигналов.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ПК-9, ПК-8	Домашнее задание, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	12		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	10		
	Итого	34		
Итого за семестр		62		
Итого		146		

10. Курсовая работа

Не предусмотрено РУП

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
6 семестр				
Домашнее задание	4	4	2	10
Контрольная работа	8	8	4	20
Опрос на занятиях	4	4	2	10
Отчет по лабораторной работе	12	12	6	30
Итого максимум за период	28	28	14	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	28	56	70	100
7 семестр				
Домашнее задание	5	5	5	15
Зачет			30	30
Опрос на занятиях	5	5		10
Отчет по лабораторной работе	15	15	15	45
Итого максимум за период	25	25	50	100
Нарастающим итогом	25	50	100	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11. 2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка

Согласована на портале № 12287

≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11. 3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Цифровая мобильная радиосвязь [Текст] : учебное пособие для вузов / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. - 592 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 40 экз.)

2. Цифровая обработка сигналов : Учебное пособие для вузов / А. Б. Сергиенко. - 2-е изд. - СПб. : Питер, 2007. - 750[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 70 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов / М. И. Курячий ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2006. - 175[1] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 40 экз.)

2. Цифровая обработка сигналов : Пер. с англ. / А. В. Оппенгейм, Р. В. Шафер ; пер. : С. А. Кулешов ; ред. пер. : А. С. Ненашев. - М. : Техносфера, 2006. - 855[1] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 70 экз.)

12.3 Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Цифровая обработка сигналов: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» (5 семестр) специальности «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (код 210700.62) / Гельцер А. А., Абенов Р. Р., Рогожников Е. В. - 2013. 25 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/3464, дата обращения: 30.01.2017.

2. Цифровая обработка сигналов. Часть 1: Методические указания по проведению практических занятий и организации самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / Абенов Р. Р. - 2014. 53 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/3748, дата обращения: 30.01.2017.

Согласована на портале № 12287

12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

12.4. Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы и требуемое программное обеспечение

1. http://www.dsplib.ru/

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

13.1. Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий

Для проведения лекционных занятий используются аудитории 418, 419 и 420. Они имеют достаточное количество посадочных мест, а также проектор для показа презентационного материала.

13.1.2. Материально-техническое обеспечение для практических занятий

Аудитории 309, 314-а и 314-б кафедры ТОР оборудованы компьютерами с установленным пакетом Scilab.

13.1.3. Материально-техническое обеспечение для лабораторных работ

Аудитории 309, 314-а и 314-б кафедры ТОР оборудованы компьютерами с установленным пакетом Scilab.

13.1.4. Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Аудитории 309, 314-а и 314-б кафедры ТОР оборудованы компьютерами с установленным пакетом Scilab.

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

Согласована на портале № 12287

14. Фонд оценочных средств

14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении к рабочей программе.

14.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице.

Таблица 14 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3 Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

Согласована на портале № 12287

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 12287

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Цифровая обработка сигналов

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**
Направленность (профиль): **Системы радиосвязи и радиодоступа**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РТФ, Радиотехнический факультет**
Кафедра: **ТОР, Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники**
Курс: **3, 4**
Семестр: **6, 7**

Учебный план набора 2016 года

Разработчики:
- ст. преподаватель каф. ТОР Абенов Р. Р.
- доцент каф. ТОР Гельцер А. А.

Экзамен: 6 семестр
Зачет: 7 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 12287

1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины (практики) и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенций
ПК-8	умением собирать и анализировать информацию для формирования исходных данных для проектирования средств и сетей связи и их элементов	Должен знать методы математического описания линейных дискретных систем; основные этапы проектирования цифровых фильтров; основные методы синтеза и анализа частотно-избирательных цифровых фильтров; методы математического описания цифровых фильтров в виде структуры; метод атематического описания дискретных сигналов с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ); алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ); принципы оценки шумов квантования в цифровых фильтрах с фиксированной точкой; принципы построения систем однократной интерполяции и децимации; ; Должен уметь объяснять математическое описание линейных дискретных систем в виде алгоритмов; выполнять компьютерное моделирование линейных дискретных систем на основе их математического описания; задавать требования к частотным характеристикам цифровых фильтров; обосновывать выбор типа цифрового фильтра, КИХ или БИХ (с конечной или бесконечной импульсной характеристикой); синтезировать цифровой фильтр и анализировать его характеристики средствами компьютерного моделирования; обосновывать выбор структуры цифрового фильтра; выполнять компьютерное моделирование структуры цифрового фильтра; вычислять ДПФ дискретного сигнала с помощью алгоритмов БПФ средствами компьютерного моделирования; объяснять принципы построения систем однократной интерполяции и децимации. ;
ПК-9	умением проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ	

Согласована на портале № 12287

		Должен владеть навыками составления математических моделей линейных дискретных систем и дискретных сигналов; навыками компьютерного моделирования линейных дискретных систем; навыками компьютерного проектирования цифровых фильтров; навыками компьютерного вычисления ДПФ на основе БПФ. ;

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций на всех этапах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями	Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач	Работает при прямом наблюдении

2 Реализация компетенций

2.1 Компетенция ПК-8

ПК-8: умением собирать и анализировать информацию для формирования исходных данных для проектирования средств и сетей связи и их элементов.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Методы поиска и анализа технической информации.	Собирать и анализировать информацию техническую информацию из различных источников; Формировать исходные данные для проектирования систем цифровой обработки сигналов;	Навыками работы с технической документацией.

Согласована на портале № 12287

Виды занятий	• Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по лабораторной работе; • Опрос на занятиях; • Экзамен; • Зачет;	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по лабораторной работе; • Опрос на занятиях; • Экзамен; • Зачет;	• Домашнее задание; • Отчет по лабораторной работе; • Экзамен; • Зачет;

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• Знает основные этапы проектирования цифровых фильтров.; • Знает методы поиска и анализа технической информации; ;	• Осуществляет поиск и проводит анализ технической информации, представленной в раз-личных источниках;; • Умеет проводить расчеты в соответствии с техническим заданием.;	• Свободно ориентируется в технической информации;; • Уверенно формирует исходные данные для проектирования цифровых фильтров и си-стем цифровой обработки информации.;
Хорошо (базовый уровень)	• Представляет приемы и результаты анализа технической информации.; • Знает методы поиска и анализа технической информации;;	• Осуществляет поиск и проводит анализ технической информации, представленной в раз-личных источниках;; • Самостоятельно подбирает методы решения проблем.;	• Владеет навыками поиска и анализа технической информации;; • Владеет навыками работы с различными источниками информации. ;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• Дает определения основных понятий в цифровой обработке сигналов;; • Воспроизводит основные положения анализа технической информации.;	• Умеет работать с технической документации;; • Умеет представлять результаты своей работы.;	• Владеет терминологией предметной области знания;; • Владеет навыками поиска и анализа технической информации.;

2.2 Компетенция ПК-9

ПК-9: умением проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств

Согласована на портале № 12287

инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Основные этапы проектирования цифровых фильтров; Основные методы синтеза и анализа частотно-избирательных цифровых фильтров; Методы математического описания цифровых фильтров в виде структуры; Метод математического описания дискретных сигналов с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ); Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ); Принципы оценки шумов квантования в цифровых фильтрах с фиксированной точкой; Принципы построения систем однократной интерполяции и децимации.	Выполнять компьютерное моделирование линейных дискретных систем на основе их математического описания; Обосновывать выбор типа цифрового фильтра, КИХ или БИХ (с конечной или бесконечной импульсной характеристикой); Проводить расчеты для синтеза цифровых фильтров и анализировать его характеристики средствами компьютерного моделирования; Вычислять ДПФ дискретного сигнала с помощью алгоритмов БПФ средствами компьютерного моделирования.	Навыками компьютерного моделирования линейных дискретных систем; Навыками компьютерного проектирования цифровых фильтров; Навыками компьютерного вычисления ДПФ на основе БПФ. Принципами построения систем однократной интерполяции и децимации.
Виды занятий	• Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по лабораторной работе; • Опрос на занятиях; • Экзамен; • Зачет;	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по лабораторной работе; • Опрос на занятиях; • Экзамен; • Зачет;	• Домашнее задание; • Отчет по лабораторной работе; • Экзамен; • Зачет;

Согласована на портале № 12287

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• Знает основные этапы проектирования цифровых систем;; • Знает основные алгоритмы цифровой обработки сигналов.; • Знает методы расчета цифровых фильтров.;	• Умеет проводить расчеты цифровых фильтров, а также реализовывает основные блоки цифровой обработки сигналов в программном виде;; • Умело моделирует алгоритмы цифровой обработки сигналов в программной среде.;	• Свободно владеет математическим аппаратом описания сигналов и линейных дискретных систем;; • Свободно владеет навыками расчета параметров систем цифровой обработки сигналов.;
Хорошо (базовый уровень)	• Знает основные этапы проектирования цифровых систем;; • Знает основные алгоритмы цифровой обработки сигналов.;	• Самостоятельно реализовывает основные блоки цифровой обработки сигналов в программном виде. ; • Самостоятельно подбирает методы решения задач.;	• Владеет математическим аппаратом описания сигналов;; • Владеет навыками расчета параметров систем цифровой обработки сигналов.;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• Знает основные алгоритмы цифровой обработки сигналов.;	• Способен в программном виде писать простые алгоритмы цифровой обработки сигналов. ;	• Владеет математическим аппаратом описания сигналов. ; • Владеет терминологией предметной области знания.;

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в следующем составе.

3.1 Зачёт

– Спектр ограниченного во времени сигнала. ДПФ ограниченного во времени сигнала. Использование оконного сглаживания. Коэффициент ослабления оконной функции. Основные частотные характеристики спектра оконной функции. Основные свойства оконной функции и их характеристики. Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией. Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала. Относительная (дифференциальная) двоичная фазовая манипуляция (DBPSK). Кодирование одним символом двух бит передаваемой информации. Структурная схема QPSK модулятора. Квадратурная амплитудная модуляция QAM.

3.2 Темы домашних заданий

– Методика работы с учебной и научной литературой. Оформление учебных работ. Работа в системе Scilab. Исследование моделей цепей и сигналов. Расчет цифровых фильтров. Расчет параметров дециматора и интерполятора.

Согласована на портале № 12287

3.3 Темы опросов на занятиях

– Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой. Дискретизация низкочастотных и полосовых сигналов. Однородное и неоднородное квантование и кодирование. Процесс цифро-аналогового преобразования.

– Введение в цифровые фильтры. Типы цифровых фильтров: КИХ-фильтры и БИХ-фильтры. Этапы разработки фильтра. Методы расчета коэффициентов КИХ-фильтров. Методы реализации КИХ-фильтров. Методы расчета коэффициентов БИХ-фильтров. Реализация БИХ-фильтров.

– Влияние конечной разрядности на цифровые КИХ и БИХ-фильтры. Ошибки квантования коэффициентов. Ошибки округления. Ошибки переполнения.

– Преобразование Фурье и Z-преобразование. Обратное z-преобразование. Области применения z-преобразования в цифровой обработке сигналов.

– Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Дискретное преобразование Фурье. Обратное дискретное преобразование Фурье.

– Спектр ограниченного во времени сигнала. ДПФ ограниченного во времени сигнала. Использование оконного сглаживания. Коэффициент ослабления оконной функции. Основные частотные характеристики спектра оконной функции. Основные свойства оконной функции и их характеристики.

– Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией. Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала. Относительная (дифференциальная) двоичная фазовая манипуляция (DBPSK). Кодирование одним символом двух бит передаваемой информации. Структурная схема QPSK модулятора. Квадратурная амплитудная модуляция QAM.

3.4 Экзаменационные вопросы

– Обобщенная схема ЦОС. Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой. Дискретизация низкочастотных сигналов. Дискретизация полосовых сигналов. Однородное квантование и кодирование. Неоднородное квантование и кодирование. Выборка с запасом по частоте при аналогово-цифровом преобразовании. Процесс цифро-аналогового преобразования. Фильтры защиты от зеркальных частот. Выборка с запасом по частоте при цифро-аналоговом преобразовании. Свертка. Корреляция. ДПФ и обратное ДПФ. КИХ-фильтры и БИХ-фильтры. Цифровой фильтр. Основные характеристики. Критерий синтеза. Разностное уравнение как основа программной реализации цифрового фильтра. Этапы разработки цифровых фильтров. Линейная фазовая характеристика. Методы расчета коэффициентов КИХ-фильтра. Децимация с целым шагом. Интерполяция с целым шагом. Преобразование частоты дискретизации с нецелым шагом. Многокаскадное преобразование частоты дискретизации. Импульсная характеристика и передаточная функция.

3.5 Темы контрольных работ

– Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой.

– Шумы квантования АЦП (аналогово-цифровой преобразователь).

– Многокаскадная децимация и интерполяция.

3.6 Темы лабораторных работ

– Однородное и неоднородное квантование и кодирование.

– Цифровые фильтры. Фильтр скользящего среднего.

– Влияние конечной разрядности на цифровые фильтры. Ошибки квантования коэффициентов. Ошибки округления.

– Преобразование Фурье и Z-преобразование.

– Дискретное преобразование Фурье. Обратное дискретное преобразование Фурье.

– Децимация с целым шагом. Интерполяция с целым шагом. Программная реализация дециматоров. Программная реализация интерполяторов.

– Спектр ограниченного во времени сигнала. ДПФ ограниченного во времени сигнала. Использование оконного сглаживания. Коэффициент ослабления оконной функции. Основные частотные характеристики спектра оконной функции. Основные свойства оконной функции и их характеристики.

Согласована на портале № 12287

– Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией. Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала. Относительная (дифференциальная) двоичная фазовая манипуляция (DBPSK). Кодирование одним символом двух бит передаваемой информации. Структурная схема QPSK модулятора. Квадратурная амплитудная модуляция QAM.

4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы фор-мирования компетенций, согласно п. 12 рабочей программы.

4.1. Основная литература

1. Цифровая мобильная радиосвязь [Текст] : учебное пособие для вузов / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. - 592 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 40 экз.)
2. Цифровая обработка сигналов : Учебное пособие для вузов / А. Б. Сергиенко. - 2-е изд. - СПб. : Питер, 2007. - 750[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 70 экз.)

4.2. Дополнительная литература

1. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов / М. И. Курячий ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2006. - 175[1] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 40 экз.)
2. Цифровая обработка сигналов : Пер. с англ. / А. В. Оппенгейм, Р. В. Шафер ; пер. : С. А. Кулешов ; ред. пер. : А. С. Ненашев. - М. : Техносфера, 2006. - 855[1] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 70 экз.)

4.3. Обязательные учебно-методические пособия

1. Цифровая обработка сигналов: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» (5 семестр) специальности «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (код 210700.62) / Гельцер А. А., Абенов Р. Р., Рогожников Е. В. - 2013. 25 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/3464, свободный.
2. Цифровая обработка сигналов. Часть 1: Методические указания по проведению практических занятий и организации самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / Абенов Р. Р. - 2014. 53 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/3748, свободный.

4.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы

1. http://www.dsplib.ru/

Согласована на портале № 12287