

«

»

“ ”

“ ”

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Применение цифровой обработки сигналов**

: 11.03.01

, :

: 4,

: 7 8

		7	8
1	( )	0	8
2		0	288
3	, .	2	40
4	, .	2	4
5	, .	0	10
6	, .	0	8
7	, .	0	8
8	, .	0	2
9	, .		16
10	, .	0	246
11	( , , )		
12			

( ): 11.03.01

179 06.03.2015 ., : 20.03.2015 .

: 1, ,

( ): 11.03.01

, 3 20.06.2017

, 6 21.06.2017

:

, . . . . .

:

, . . . . .

:

. . .

# 1.

1.1

<b>Компетенция НГТУ: ПК.23.В Способность к выполнению исследований и оформлению их результатов применительно к проектированию радиотехнических систем; в части следующих результатов обучения:</b>	
5.	
6.	

# 2.

2.1

--	--

<b>.23. . 5</b>	
1.знать общие методы цифровой обработки сигналов	;
2.знать взаимосвязь аналоговых, импульсных и дискретных сигналов	; ;
3.знать методы синтеза цифровых фильтров, как решения задачи аппроксимации	; ;
4.знать особенности синтеза ЦФ с конечными и бесконечными импульсными характеристиками	; ;
5.знать особенности реализации ЦФ с конечными и бесконечными ИХ	;
6.знать методы цифрового спектрального анализа	
7.знать архитектурные особенности сигнальных процессоров	
8.знать особенности цифровой обработки временных и пространственно-временных сигналов в радиотехнических системах	
<b>.23. . 6</b>	
9.синтезировать цифровые КИХ-фильтры методом оконного взвешивания	; ;
10.уметь осуществлять цифровую фильтрацию методом быстрой свёртки	;
11.уметь синтезировать БИХ-фильтры методом аналого-цифровой трансформации	; ;
12.уметь применять методы цифрового спектрального анализа	;

# 3.

3.1

: 7					
:					
1.	0	1	2		

2.	,	0	1	2, 3	
: 8					
:					
3.	-	1	1	3, 4	
4.	-	1	1	2, 4	
5.	-	1	1	2, 4	
6.		1	1	4	

3.2

	,	.			
: 8					
:					
1.	-	0	2	9	
2.	-	0	2	11, 4	
:					
3.		0	2	12	
:					
4.		0	2	11, 2, 9	

3.3

	,	.			
: 8					
:					
1.	(	1	1	1, 2	,
2.	,	1	1	1, 2	,
3.	-	1	1	10, 4, 9	-
4.	-	1	1	2, 3	-

5.	-	0	1	11	-
6.		0	1	3,4	,
:					
7.		0	2	2,5	
8.		0	2	1,2	

3.4

		,	.		
: 8					
:					
7.		0	2	5	
8.		0	2	2,5	
:					
9.		0	2	6	
9.		0	1	12,6	
10.		0	2	6	
10.		0	1	6	
11.		0	1	6	
11.		0	2	6	
:					
12.	-	0	2	7	
12.	-	0	2	2,7	
13.		0	2	7	
13.		0	2	1,7,8	

:				
14.	0	2	2	,
14.	0	2	8	
15.	0	2	1, 10, 2, 8	
15.	0	2	8	
16.	0	2	1, 8	
16.	0	2	1, 8	
17.	0	2	8	-
17.	0	2	1, 8	
18.	0	2	10, 12, 8	
18.	0	2	1, 2, 8	

**4.**

<b>: 8</b>				
1		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	35	4
<p>[ : - . . . / . . . ; . . . - . . . ]:  , [2015]. - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608</a>. - .</p>				
2		1, 10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	150	10
<p>: . . . [ ]  : - . . . / . . . ; . . . - . . . , [2015]. -  : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608</a>. - .</p>				
3		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	20	2
<p>: . . . [ ]  : - . . . / . . . ; . . . - . . . , [2015]. -  : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608</a>. - .</p>				
4		1, 10, 12, 2, 5, 6, 7, 8	41	0

3.4 : [ ]: - / . . .  
 ; [2015]. - :  
[http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000214608](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608). - . . .

5.

( . 5.1).

5.1

	-
	<a href="https://ciu.nstu.ru/WebInput/persons/430/">https://ciu.nstu.ru/WebInput/persons/430/</a>
	<a href="https://ciu.nstu.ru/WebInput/persons/430/">https://ciu.nstu.ru/WebInput/persons/430/</a>
	<a href="https://ciu.nstu.ru/WebInput/persons/430/">https://ciu.nstu.ru/WebInput/persons/430/</a>

5.2

1		.23.
<b>Формируемые умения:</b> 35. знать общие методы цифровой обработки сигналов в радиотехнических системах		
<b>Краткое описание применения:</b> Лекции проходят в обстановке, побуждающей студентов к высказыванию своего мнения		

6.

( ),

- ECTS.

. 6.1.

6.1

<b>: 8</b>		
<i>Лабораторная:</i>	10	20
<i>Практические занятия:</i>	10	20
<i>РГЗ:</i>	10	20
<i>Экзамен:</i>	20	40

6.2

6.2

	.23. 5.	+	+

	.23. 6.		+
--	---------	--	---

## 7.

1. Васюков В. Н. Цифровая обработка сигналов и сигнальные процессы в системах подвижной радиосвязи : [учебник] / В. Н. Васюков. - Новосибирск, 2006. - 288, [3] с. : ил. - Режим доступа: [http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06\\_Vasyukov\(U\).rar](http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06_Vasyukov(U).rar)
2. Смит С. Цифровая обработка сигналов : практическое руководство для инженеров и научных работников / Стивен Смит ; пер. с англ. Ю. А. Линовича, С. В. Витязева, И. С. Гусинского]. - М., 2011. - 718 с. : ил. + 1 CD-ROM.
3. Оппенгейм А. В. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер ; пер. с англ. С. А. Кулешова под ред. А. Б. Сергиенко. - М., 2007. - 855 с. : ил.

1. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов : практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. - М. [и др.], 2008. - , [] с.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов / А. Б. Сергиенко. - СПб., 2007. - 750 с. : ил.
3. Основы цифровой обработки сигналов : [учебное пособие по направлению подготовки специалистов 654400 "Телекоммуникации"] / А. И. Солонина [и др.]. - СПб., 2005. - 753 с. : ил.
4. Васюков В. Н. Цифровая обработка сигналов : сборник задач и упражнений для студентов вузов / В. Н. Васюков, Д. В. Голешихин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 39 с. : ил. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000029500](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029500)

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

## 8.

### 8.1

1. Савиных И. С. Цифровая обработка сигналов. Методические указания к РГЗ [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / И. С. Савиных ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2015]. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000214608](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214608). - Загл. с экрана.

### 8.2

- 1 MATLAB
- 2 MathCAD
- 3 MATLAB Signal Processing Toolbox

9. -

1	( Internet )	

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

Кафедра теоретических основ радиотехники

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН РЭФ  
д.т.н., профессор В.А. Хрусталева  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ \_\_\_\_ г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### **Применение цифровой обработки сигналов**

Образовательная программа: 11.03.01 Радиотехника, профиль: Радиотехнические средства  
передачи, приема и обработки сигналов

## 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Применение цифровой обработки сигналов приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.23.В Способность к выполнению исследований и оформлению их результатов применительно к проектированию радиотехнических систем	з5. знать общие методы цифровой обработки сигналов в радиотехнических системах	Аналоговые фильтры-прототипы Взаимосвязь аналоговых, импульсных и дискретных сигналов (спектральные и энергетические соотношения) Задача синтеза цифрового фильтра, как задача аппроксимации Непараметрические методы ЦСА Параметрические методы ЦСА Погрешности реализации ЦФ Сигнальные процессоры - особенности архитектуры Синтез БИХ-фильтров методом аналого-цифровой трансформации Синтез КИХ-фильтров Цифровая обработка пространственно-временных сигналов Цифровой спектральный анализ и его применение Частотные преобразования аналоговых и цифровых фильтров Эффекты квантования в ЦФ	РГЗ	Экзамен, вопросы 1-30.
ПК.23.В	уб. уметь синтезировать средства цифровой обработки сигналов для радиотехнических систем	Преобразования спектра дискретных сигналов Синтез БИХ-фильтров методом аналого-цифровой трансформации Синтез КИХ-фильтров Цифровая обработка речевых сигналов Цифровой спектральный анализ и его применение		Экзамен, задачи 1-6

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 8 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.23.В.

Экзамен принимается в устной форме по билетам.

Кроме того, сформированность компетенции проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 8 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)). Требования к выполнению РГЗ(Р), состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р).

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.23.В, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

### **Общая характеристика уровней освоения компетенций.**

**Ниже порогового.** Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

**Пороговый.** Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками. Количество баллов составляет от 50 до 72.

**Базовый.** Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки. Количество баллов составляет от 73 до 86.

**Продвинутый.** Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному. Количество баллов составляет от 87 до 100.

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Применение цифровой обработки сигналов», 8 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-15, второй вопрос из диапазона вопросов 16-30 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет РЭФ

Билет № \_\_\_\_\_

к экзамену по дисциплине «Применение цифровой обработки сигналов»

---

1. Линейные цепи. Инвариантные к сдвигу цепи. Физически реализуемые цепи.
2. Многомерное дискретное преобразование Фурье и его свойства
3. Определите десятичные числа, которым соответствуют двоичные числа, представленные в 16-разрядном обратном двоичном коде: а) 1000000000000001; б) 1000111100001111.

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Спектор А.А.

(подпись)

(дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет (тест) считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 20 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет (тест) засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 21-25 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет 26-34 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 35-40 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

#### 4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Применение цифровой обработки сигналов»

1. Линейные цепи. Инвариантные к сдвигу цепи. Физически реализуемые цепи. Устойчивые цепи. Линейные инвариантные к сдвигу устойчивые цепи, их временное и частотное описание.
2. Описание линейных цепей разностными уравнениями. КИХ- и БИХ-цепи. Трансверсальные и рекурсивные цепи.
3. Дискретная свертка и ее свойства. Каскадное и параллельное соединение ЛИС-цепей.
4.  $z$ -Преобразование. Свойства  $z$ -преобразования. Связь вида области сходимости  $z$ -преобразования импульсной характеристики ЛИС-цепи с условием её устойчивости.
5. Формы реализации дискретных ЛИС-цепей. Взаимные преобразования форм реализации.
6. Строение передаточной функции и импульсной характеристики ЛИС-цепи конечного порядка. Связь вида нуль-полусной диаграммы со свойствами ЛИС-цепи.
7. Каузальные, антикаузальные и некаузальные ЛИС-цепи конечного порядка, условия их устойчивости. Рекурсивная вычислимость ЛИС-цепей конечного порядка.
8. Все пропускающие цепи. Минимально-фазовые цепи. Цепи с линейной ФЧХ.
9. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Циклический сдвиг и циклическая свертка. Связь циклической и апериодической свертки.
10. Быстрое преобразование Фурье. Алгоритм, выигрыш в объеме вычислений, применение.
11. Случайные последовательности. Полное вероятностное описание случайной последовательности. Стационарность случайной последовательности в узком и широком смысле.
12. Стационарные случайные последовательности – описание и характеристики. Воздействие стационарных случайных последовательностей на ЛИС-цепи.
13. Многомерные последовательности. Периодические многомерные последовательности, понятие фундаментального периода последовательности.

14. Многомерные ЛИС-цепи, их временное и частотное описание. Изотропные и разделимые ЛИС цепи.
15. Многомерное преобразование Фурье и его свойства
16. Многомерное дискретное преобразование Фурье и его свойства
17. Многомерные случайные последовательности. Однородность, изотропность МСП. Воздействие МСП на ЛИС-цепи.
18. Взаимосвязь аналоговых, импульсных и дискретных сигналов (спектральные и энергетические соотношения).
19. Синтез КИХ-фильтров – метод взвешивания (метод функций окна).
20. Синтез КИХ-фильтров – метод частотной выборки.
21. Синтез КИХ-фильтров – метод быстрой свертки.
22. Аналоговые фильтры-прототипы (обзор). Синтез БИХ-фильтров методом инвариантности импульсной характеристики.
23. Аналоговые фильтры-прототипы (обзор). Синтез БИХ-фильтров методом билинейного преобразования.
24. Эффекты квантования в цифровых фильтрах (квантование сигналов, квантование коэффициентов цифрового фильтра). Предельные циклы – понятие, причины возникновения.
25. Периодограммный и коррелограммный методы цифрового спектрального анализа
26. Параметрические модели случайных процессов. Спектральное оценивание по методу авторегрессии.
27. Архитектурные особенности сигнальных процессоров.
28. Интерполяция и децимация дискретных сигналов.
29. Цифровая обработка речевых сигналов. Модели речевых сигналов. Кратковременное преобразование Фурье.
30. Кодирование речевого сигнала на основе линейного предсказания в системах сотовой связи.

**Примеры задач к экзамену  
по дисциплине Применение цифровой обработки сигналов**

1. Отсчеты случайного процесса, имеющие в интервале  $[0, a]$  равномерную плотность распределения, подвергаются равномерному квантованию. Число уровней квантования определяется разрядностью  $N$  двоичных слов, используемых для кодирования квантованных величин. Найдите зависимость отношения сигнал/шум квантования, измеряемого в децибелах, от разрядности  $N$ .
2. Отсчеты случайного процесса с равномерной в интервале  $[0, a]$  плотностью распределения подвергаются равномерному квантованию с  $K$  уровнями. Найдите плотность распределения и математическое ожидание квантованных величин.
3. Определите десятичные числа, которым соответствуют двоичные числа, представленные в 16-разрядном дополнительном двоичном коде:  
а) 1000000000000001; б) 1000111100001111;  
в) 0000111100001111; г) 1111000100010001.
4. Определите десятичные числа, которым соответствуют двоичные числа, представленные в 16-разрядном обратном двоичном коде:  
а) 1000000000000001; б) 1000111100001111;  
в) 0000111100001111; г) 1111000100010001.
5. Мантисса и порядок числа занимают вместе две ячейки памяти по 16 разрядов. При этом порядок занимает 7 разрядов, а остальные занимает мантисса. Определите наибольшее и наименьшее десятичные числа, которые могут быть представлены в таком формате.
6. Последовательность поступает на вход процессора, реализующего КИХ-фильтр методом быстрой свертки. Скорость поступления отсчетов составляет 106 1/с. Определите требуемую производительность процессора (количество комплексных умножений в секунду), если импульсная характеристика реализуемого фильтра имеет длину 47 отсчетов, а основание БПФ равно 128. Проверьте, как изменяются требования к процессору при основаниях БПФ, равных 64 и 256.

## **Паспорт расчетно-графического задания (работы)**

по дисциплине «Применение цифровой обработки сигналов», 8 семестр

### **1. Методика оценки**

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны рассчитать полосовой цифровой фильтр.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны рассчитать параметры полосового фильтра, предложить его структуру, записать разностное уравнение и построить графики частотных характеристик.

Обязательные структурные части РГЗ: титульный лист, исходные данные, расчеты, графики, выводы.

Оцениваемые позиции: правильность расчетов, обоснованность принятых решений, качество оформления.

### **2. Критерии оценки**

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ исходных данных, оценка составляет менее 10 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: анализ исходных данных выполнен поверхностно, схема и уравнение фильтра недостаточно обоснованы, оценка составляет 10-13 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ исходных данных выполнен в полном объеме, структура фильтра предложена, но не оптимизированы, уравнение фильтра обладает избыточностью, оценка составляет 14-17 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ исходных данных выполнен в полном объеме, схема и уравнение фильтра обоснованы и оптимизированы, алгоритмы разработаны и оптимизированы, оценка составляет 18-20 баллов.

### **3. Шкала оценки**

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### **4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)**

Рассчитать полосовой цифровой фильтр (ПФ) 3 порядка (для четных подвариантов – фильтр Чебышёва, для нечетных – фильтр Баттерворта), предназначенный для фильтрации аналогового сигнала после его преобразования в цифровую форму.

Построить структурную схему ЦФ в произвольной форме, при этом коэффициенты фильтра не должны быть комплексными. Записать разностное уравнение ЦФ. Рассчитать и построить графики АЧХ, ФЧХ и импульсной характеристики цифрового фильтра.