

«

»

“ ”

“ ”

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Статистическая теория радиотехнических систем**

: 11.03.01

, :

,  
: 3 4, : 6 7

		6	7
1	( )	0	4
2		0	144
3	, .	2	25
4	, .	2	8
5	, .	0	4
6	, .	0	4
7	, .	0	4
8	, .	0	2
9	, .		7
10	, .	0	117
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>	
1.	
1.	

## 2.

2.1

--	--

<b>.23. . 1</b>	
1. Знать принципы передачи информации по каналам подвижной связи, связь между параметрами полезных сигналов и полезной информацией. Классификацию статистических задач извлечения полезной информации из полезного сигнала, наблюдаемого при действии помех	; ;
2. Знать сущность байесовской стратегии, применяемой при решении всех информационных проблем в ССПО, методы максимума апостериорного распределения вероятностей и максимального правдоподобия	; ;
3. Знать содержание и математическую постановку задачи обнаружения сигналов, ее общее байесовское решение. Основные результаты применения байесовского метода к решению задач обнаружения сигналов в ССПО.	; ;
4. Знать содержание и решение задачи различения ансамблей сигналов. Примеры ее решения для полностью известных сигналов и для ансамблей радиосигналов со случайными начальными фазами	; ;
5. Знать постановку и решение задач оценки параметров полезных сигналов, наблюдаемых при действии помех. Примеры применения общего подхода: измерение времени прихода радиосигнала, его частоты, амплитуды, совместное измерение нескольких параметров	; ;
6. Знать постановку и решение задачи фильтрации меняющегося параметра сигнала. Марковские модели, основанную на них рекуррентную фильтрацию	; ;
<b>.23. . 1</b>	
7. Уметь использовать статистические методы для определения оптимальных алгоритмов выделения информации из полезных сигналов и нахождения на этой основе структурных схем устройств обработки	; ;
8. Уметь решать задачи анализа устройств обнаружения сигналов как для нахождения вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения (прямая задача анализа), так и для определения требований к параметрам ССПО, обеспечивающим заданные вероятностные характеристики (обратная задача)	; ;
9. Уметь определять характеристики качества систем различения ансамблей сигналов, конструировать оптимальные для различения ансамбли	; ;
10. Уметь находить оптимальные процедуры оценивания параметров сигналов, выполнять исследование ошибок оценивания. Определять требования к системе, исключая возникновение аномальных ошибок.	; ;
11. Уметь синтезировать простейшие процедуры фильтрации изменяющихся параметров сигналов на основе марковской теории фильтрации	; ;

## 3.

3.1

: 6			

:			
4.	0	2	1
:7			
:			
1.	0	2	1, 2, 3
2.	0	1	3, 8
3.	0	1	11, 5, 8
:			
1.	0	1	1, 4, 9
2.	0	1	4, 9
:			
1.	0	2	1, 10, 11, 5, 9

3.2

,				
:7				
:				
1.	0	1	2, 3, 7, 8	.

2.	0	1	1, 3, 7, 8	.
:				
1.	0	1	1, 10, 5, 6	.
2.	0	1	5, 6	.

3.3

	,	.		
:7				
:				
1.	2	2	1, 2, 3, 7, 8	.
:				
1.	1	1	1, 2, 3, 7, 8	.
:				
1.	1	1	1, 4, 9	,

3.4

	,	.		
:7				
:				
1.	0	10	1, 2, 3, 4, 5, 6	

2.		0	10	1, 2, 3
3.		0	10	1, 2, 3, 7
4.		0	12	1, 2, 3, 7, 8
5.		0	13	1
:				
2.		0	13	4, 9
3.		0	13	1, 4, 9
:				
1.		0	13	1, 11, 6
2.		0	13	10, 5

**4.**

: 7				
1	-	10, 11, 3, 4, 7, 8, 9	10	5
<p>: : / . . .</p> <p>, 2006. - 76, [2] .: .. - :</p> <p><a href="http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06_molchanov.rar">http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06_molchanov.rar</a></p>				
2		1, 2, 3, 4, 5, 6	0	0
<p>: : 1-4</p> <p>" " " " 4 5</p> <p>( )/ .</p> <p>. - ;[ : . . . , . . . ].- , 2008. - 45, [2] .: .. -</p> <p>: <a href="http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3516.rar">http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3516.rar</a></p>				
3		1, 10, 11, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	0	2
<p>: : 1-4</p> <p>" " " " 4 5</p> <p>( )/ .</p> <p>. - ;[ : . . . , . . . ].- , 2008. - 45, [2] .: .. -</p> <p>: <a href="http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3516.rar">http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3516.rar</a></p>				
4		1, 10, 11, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	107	0

3.4 : " " 1-4 " 4 5 ( )/ . . . . - ; [ : . . . ] . - , 2008. - 45, [2] . : .. - : http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3516.rar ; . . . . - . - , 2006. - 76, [2] . : .. - : http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06\_molchanov.rar

## 5.

( . 5.1).

5.1

	-
	e-mail:s.filatova@corp.nstu.ru
	e-mail:s.filatova@corp.nstu.ru
	e-mail:s.filatova@corp.nstu.ru
	:http://elibrary.nstu.ru/source?id=41530; http://elibrary.nstu.ru/source?id=41447; http://elibrary.nstu.ru/source?id=41485

5.2

1		.23.
<b>Формируемые умения:</b> з1. знать основы статистической теории радиотехнических систем; у1. уметь применять статистическую теорию радиотехнических систем		
<b>Краткое описание применения:</b> Обсуждаются актуальные проблемы построения радиотехнических систем		

## 6.

( ),

-  
15-

ECTS.

. 6.1.

6.1

<b>: 7</b>		
<i>Лабораторная №2: Домашняя подготовка, выполнение и защита</i>	4	10
<i>Лабораторная №2: Домашняя подготовка, выполнение и защита</i>	4	10
<i>Лабораторная №2: Домашняя подготовка, выполнение и защита</i>	3	10

Лабораторная №2: Домашняя подготовка, выполнение и защита	4	10
РГЗ: Выполнение индивидуального расчетного задания и его защита	10	20
<a href="http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06_molchanov.rar">http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06_molchanov.rar</a>		
Экзамен: Ответ на теоретический вопрос и решение задачи	20	40

6.2

6.2

	.23. 1.	+	+
	.23. 1.	+	+

1

## 7.

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов / А. Б. Сергиенко. - СПб., 2007. - 750 с. : ил.
  2. Галкин В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие для вузов по направлению подготовки бакалавров и магистров 550400 - "Телекоммуникации" и по направлению подготовки дипломированных специалистов , 654400 - "Телекоммуникации" / В. А. Галкин. - М., 2007. - 432 с. : ил.
  3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов / А. Б. Сергиенко. - СПб., 2006. - 750 с. : ил.
  4. Бородин А. Н. Элементарный курс теории вероятностей и математической статистики : [учебное пособие для вузов по нематематическим специальностям] / А. Н. Бородин. - СПб. [и др.], 2011. - 254 с. : табл.
  5. Васюков В. Н. Общая теория связи. Сборник задач и упражнений : учебное пособие / В. Н. Васюков ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 70, [1] с. : ил. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000216634](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000216634)
  6. Радиотехнические системы : учебник / [Ю. М. Казаринов и др.] ; под ред. Ю. М. Казаринова. - Москва, 2008. - 589, [1] с. : ил., табл.
  7. Спектор А. А. Статистическая теория радиотехнических систем : учебное пособие / А. А. Спектор ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 78, [3] с. : ил. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000178666](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178666)
1. Радиотехнические системы передачи информации : учебное пособие для вузов по специальности "Радиотехника" / [В. А. Борисов и др.] ; под ред. В. В. Калмыкова. - М., 1990. - 302, [1] с. : черт.
  2. Телекоммуникационные системы и сети. [В 3 т.]. Т. 2. Радиосвязь, радиовещание, телевидение. : учебное пособие для вузов по специальности "Связь" / Г. П. Катунин и др. ; под ред. В. П. Шувалова. - М., 2004. - 672 с. : ил.
  3. Радиотехнические устройства и элементы радиосистем : учебное пособие для вузов по специальности "Радиотехника" / [В. А. Каплун] и др. - М., 2005. - 293, [1] с. : ил.

4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр ; [пер. с англ. Е. Г. Грозы и др.]. – М. [ и др. ] : Вильямс, 2003. – 1104 с.
5. Телекоммуникационные системы и сети. [В 3 т.]. Т. 2 : [учебное пособие для вузов по специальности "Связь"] / Г. П. Катунин [и др.] ; под ред. В. П. Шувалова. - М., 2005. - 672 с. : ил.
6. Средства связи с подвижными объектами : методическое руководство к лабораторным работам по курсам "Основы теории систем связи с подвижными объектами" и "Системы и сети связи с подвижными объектами" для студентов 4 курса факультета радиотехники, электроники и физики (радиотехническое направление) / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. : А. А. Спектор, М. А. Райфельд]. - Новосибирск, 2004. - 60 с. : ил.

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. Радиотехнические системы : сборник задач для индивидуальных занятий студентов / А. Н. Молчанов, А. М. Райфельд, А. А. Спектор, И. С. Тырышкин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2006. - 76, [2] с. : ил. - Режим доступа: [http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06\\_molchanov.rar](http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/06_molchanov.rar)
2. Радиотехнические системы : методическое руководство к лабораторным работам №1-4 по курсам "Радиотехнические системы" и "Основы теории систем связи с подвижными объектами" для 4 и 5 курсов факультета радиотехники, электроники и физики (радиотехнические направления) / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. Н. Молчанов, А. А. Спектор]. - Новосибирск, 2008. - 45, [2] с. : ил. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3516.rar>

### 8.2

#### 1 MATLAB Communications Toolbox

## 9.

1	( Internet )	, -

1	4-102	
2	15	

3	3-109	
4	.	.
5	"	"
6	1-118	

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

#### **Статистическая теория радиотехнических систем**

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 Статистическая теория радиотехнических систем приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля	Промежуточная аттестация
ПК.23.В Способность к выполнению исследований и оформлению их результатов применительно к проектированию радиотехнических систем	з1. знать основы статистической теории радиотехнических систем	Аномальные ошибки измерения параметров радиосигналов Байесовские оценки случайных параметров сигналов при различных функциях потерь. Вычисление апостериорных распределений и их связь с функциями правдоподобия. Оценки, не использующие априорных сведений об измеряемом параметре. Границы Крамера-Рао для дисперсий, эффективные оценки. Оценки амплитуды, фазы, частоты, запаздывания радиосигнала. Факторы, влияющие на точность оценок. Аномальные ошибки измерения. Раздельные и совместные оценки запаздывания и частоты сигналов со случайной фазой. Требования к частотно-временной функции неопределенности. Основы теории синхронизации. Когерентная и квазикогерентная передача данных. Байесовский критерий различения детерминированных сигналов. Правила оптимального различения (минимума условного риска, максимума апостериорной вероятности, максимума правдоподобия). Измерение временного положения импульсного сигнала Изучение цифрового метода обнаружения сигналов Классификация задач, решаемых ССПО при передаче и приеме информации. Задачи обработки информации в ССПО Марковские модели изменяющихся параметров сигналов. Рекуррентное вычисление апостериорных распределений. Уравнение и структура дискретного фильтра Калмана Математические модели	Защита лабораторных работ «Аномальные ошибки», «Измерение временного положения сигнала», РГЗ	Экзамен, вопросы 1-22

		<p>полезных сигналов и помех в системах связи Поля, сигналы, помехи. Пространственно-временные и временные сигналы. Вероятностное описание помех.</p> <p>Вероятностные модели радиосигналов, принимаемых подвижными объектами.</p> <p>Вероятностные модели радиоканалов. Классификация статистических задач радиоприема. Байесовское обнаружение радиосигналов</p> <p>Принципы согласованной фильтрации импульсных сигналов Соотношение между коррелятором и согласованным фильтром.</p> <p>Обнаружители Неймана-Пирсона и Котельникова, определение порогов.</p> <p>Структура оптимального различителя детерминированных сигналов. Вероятности ошибок различения. Оптимальные ансамбли детерминированных сигналов. Оптимальное различение радиосигналов со случайными начальными фазами. Оптимальные ансамбли радиосигналов со случайными фазами.</p>		
ПК.23.В	<p>у1. уметь применять статистическую теорию радиотехнических систем</p>	<p>Байесовские оценки случайных параметров сигналов при различных функциях потерь. Вычисление апостериорных распределений и их связь с функциями правдоподобия. Оценки, не использующие априорных сведений об измеряемом параметре. Границы Крамера-Рао для дисперсий, эффективные оценки. Оценки амплитуды, фазы, частоты, запаздывания радиосигнала. Факторы, влияющие на точность оценок. Аномальные ошибки измерения.</p> <p>Раздельные и совместные оценки запаздывания и частоты сигналов со случайной фазой. Требования к частотно-временной функции неопределенности. Основы теории синхронизации. Когерентная и квазикогерентная передача данных. Байесовский критерий различения детерминированных сигналов. Правила оптимального различения (минимума условного риска, максимума апостериорной вероятности, максимума правдоподобия).</p>	<p>Защита лабораторных работ «Аномальные ошибки», «Измерение временного положения сигналов», РГЗ</p>	<p>Экзамен, вопросы 1-22</p>

		<p>Измерение временного положения импульсного сигнала Изучение цифрового метода обнаружения сигналов Марковские модели изменяющихся параметров сигналов. Рекуррентное вычисление апостериорных распределений. Уравнение и структура дискретного фильтра Калмана</p> <p>Математические модели полезных сигналов и помех в системах связи Обнаружение радиосигналов со случайными начальными фазами и амплитудами, структура обнаружителей, расчет вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги, характеристики обнаружения. Принципы согласованной фильтрации импульсных сигналов</p> <p>Соотношение между коррелятором и согласованным фильтром. Обнаружители Неймана-Пирсона и Котельникова, определение порогов. Структура оптимального различителя детерминированных сигналов. Вероятности ошибок различения. Оптимальные ансамбли детерминированных сигналов. Оптимальное различение радиосигналов со случайными начальными фазами. Оптимальные ансамбли радиосигналов со случайными фазами.</p>		
--	--	---	--	--

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

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 7 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.23.В. Экзамен проводится в устной форме, по билетам.

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

В 7 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (РГЗ). Требования к выполнению РГЗ, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ.

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

**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.

**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.

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Статистическая теория радиотехнических систем», 7 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-10, второй вопрос из диапазона вопросов 11-22 (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 «Статистическая теория радиотехнических систем»

---

1. Статистические задачи радиоприема. Байесовский риск при обнаружении сигналов.
2. Различение радиосигналов со случайными начальными фазами.
3. Задача. Амплитуда сигнала с полностью известными параметрами увеличилась в  $\sqrt{2}$  раз, а СПМ помехи  $N_0$  - в 2 раза. Какие параметры приемника обнаружения Котельникова следует изменить? Как изменится полная вероятность ошибки  $P_{ош}$  в новых условиях?

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись)

(дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет 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 0-8 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет 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 8-13 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет 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 14-17 *баллов*.

- Ответ на экзаменационный 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 18-20 *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 «Статистическая теория радиотехнических систем»**

1. Статистические задачи радиоприема. Байесовский риск при обнаружении сигналов.
2. Синтез оптимального обнаружителя сигналов.
3. Гауссовский белый шум, функционал плотности вероятности.
4. Обнаружение полностью известного сигнала.
5. Характеристики обнаружения полностью известного сигнала.
6. Согласованный фильтр и коррелятор.
7. Критерии оптимальности Котельникова и Неймана-Пирсона.
8. Обнаружение сигналов со случайными параметрами.
9. Обнаружение радиосигнала со случайной фазой.
10. Обнаружение радиосигнала со случайными амплитудой и фазой.
11. МП и корреляционное различение полностью известных сигналов.
12. Вероятности ошибок различения полностью известных сигналов.
13. Оптимальные ансамбли полностью известных сигналов.
14. Различение радиосигналов со случайными начальными фазами.
15. Понятие об ансамблях сигналов, ортогональных в усиленном смысле.
16. Байесовское измерение параметров сигналов.
17. Оптимальная оценка времени прихода и частоты радиосигнала.
18. Аномальные ошибки измерения параметров радиосигналов.
19. Понятие двумерной корреляционной функции радиосигналов.
20. Основные свойства ДКФ и их значение для радиосистем.
21. ДКФ простого радиоимпульса с прямоугольной огибающей.
22. ДКФ радиоимпульса с линейной частотной модуляцией.

## Паспорт расчетно-графического задания

по дисциплине «Статистическая теория радиотехнических систем», 7 семестр

### 1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания по дисциплине студенты должны решить две задачи по обнаружению и различению радиотехнических сигналов согласно своему варианту.

### 2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если решены не все задачи, отсутствует описание решения или выбранный метод решения не соответствует поставленной задаче, оценка составляет 0-5 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если задачи решены формально: не выполнен анализ задания, отсутствует описание выбранного метода решения или метод решения не соответствует поставленной задаче, оценка составляет 5-6 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если выполнен анализ задачи, выбраны методы решения, но решение приведено с несущественной ошибкой, оценка составляет 7-8 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ задачи выполнен в полном объеме, решение обосновано и выполнено без ошибок, присутствуют ссылки на литературу, оценка составляет 9-10 баллов.

### 3. Шкала оценки

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

### 4. Примерный перечень тем РГЗ

Задание по РГР основано на использовании задачника «Радиотехнические системы : сборник задач для индивидуальных занятий студентов / А.Н. Молчанов, А.М. Райфельд, А.А. Спектор, И.С. Тырышкин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2006. – 76 с.». Студент получает индивидуальный комплект из 2-х задач. Образец задания приводится ниже.

#### РГЗ Вариант 1

1) Амплитуда сигнала с полностью известными параметрами увеличилась в  $\sqrt{2}$  раз, а СПМ помехи  $N_0$  - в 2 раза. Какие параметры приемника обнаружения Котельникова следует изменить? Как изменится полная вероятность ошибки  $P_{\text{ОШ}}$  в новых условиях?

2) Используемые в СПИ дискретные сигналы описываются функциями  $s_0(i) = 0$ ,  $s_1(i) = 3$ ,  $s_2(i) = 6$ ,  $i = \overline{1,4}$ . Сигнал на входе различителя,  $y(i) = s_k(i) + n(i)$ , где  $k$  – неизвестный при приеме номер сигнала, а  $n(i)$  - помеха с независимыми значениями и нормальным распределением, имеющая нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию. Поступивший дискретный сигнал представлен следующей таблицей:

i	1	2	3	4
y(i)	2	4	5	1

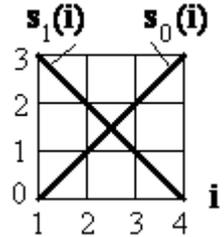
Какое решение будет вынесено байесовским различителем, если априорные вероятности  $p_0 = 1/2$ ,  $p_1 = 1/8$ , а стоимости всех ошибок одинаковы?

РГЗ

Вариант 2

1) Изобразить схему оптимального приемника обнаружения сигнала, комплексная запись которого имеет вид  $s(t) = S_0 \exp\{j(\omega_0 t + bt^2 - \beta)\}$ ,  $0 < t < \tau_{\text{И}}$ , если начальная фаза  $\beta$  - случайная величина с равномерным распределением на интервале  $(-\pi, \pi)$ . Запишите выражение комплексной огибающей этого сигнала, определите его девиацию.

2) Различитель, предназначенный для приема дискретных сигналов  $S_0(i)$  и  $S_1(i)$ , изображенных на рисунке в виде огибающих, работает по критерию Байеса. Стоимости ошибок  $\Pi_{01} = 1, \Pi_{10} = 2$ , априорные вероятности  $p_0 = 2/3, p_1 = 1/3$ . Аддитивная некоррелированная гауссовская помеха имеет нулевое среднее значение и единичную дисперсию. Поступивший на вход различителя сигнал представлен таблицей. Какое решение вынесет различитель? Каким будет решение, если  $\Pi_{01} = 1, \Pi_{10} = 100$ ? Объясните результаты.



i	1	2	3	4
y(i)	2	0	2	2

РГЗ

Вариант 3

1) За счет снижения коэффициента шума приемника СПМ шума уменьшилась в 2 раза. Как изменится вероятность ложной тревоги и каким образом можно восстановить ее прежнее значение? Изменится ли вероятность правильного обнаружения, если параметры сигнала остаются неизменными?

2) При различении дискретных сигналов  $S_0(i) = i$  и  $S_1(i) = 3 - i, i = \overline{0, 3}$  поступившие данные  $y(i) = s_k(i) + n(i)$  заданы в виде таблицы. Помеха  $n(i)$ - гауссовский некоррелированный шум с нулевым средним значением и единичной дисперсией. Стоимости ошибок  $\Pi_{01} = \Pi_{10}$ .

i	0	1	2	3
y(i)	2	0	2	2.5

Найти зависимость принятого решения от априорной вероятности  $p_0$  сигнала  $S_0(i)$  при изменении последней от 0 до 1. Решить задачу также при  $\Pi_{01} = 2 \Pi_{10}$ . Сделать качественный анализ результатов.

РГЗ

Вариант 4

1) Длительность обнаруживаемого радиосигнала увеличили в 2 раза. Какие параметры приемника Неймана-Пирсона следует изменить для сохранения оптимальности обнаружения сигнала? Изменятся ли в результате вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{ПО}}$  и ложной тревоги  $P_{\text{ЛТ}}$ ?

2) Определите, являются ли сигналы  $s_1(t) = \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$  и  $s_2(t) = \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)$ ,  $f_2 = 1/T_2$  ортогональными на интервале  $-1,5 T_2 < t < 1,5 T_2$  в следующих случаях: а)  $f_1 = f_2$  и  $\varphi_1 = \varphi_2$ ; б)  $f_1 = f_2/3$  и  $\varphi_1 = \varphi_2$ ; в)  $f_1 = f_2$  и  $\varphi_1 = \varphi_2 + \pi/2$ .

РГЗ

Вариант 5

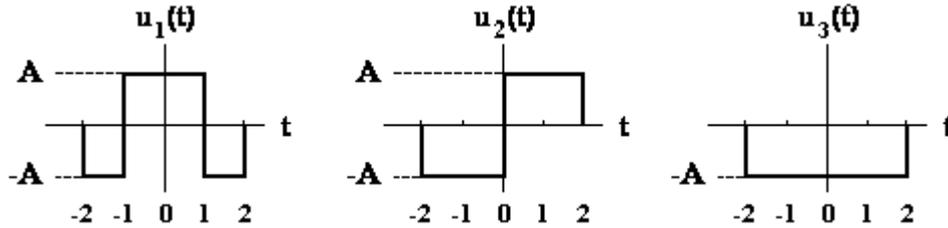
1) Коэффициент усиления приемного устройства увеличили в 3 раза. Какие изменения должны быть внесены в схему оптимального обнаружителя, основанного на критерии Котельникова? Что произойдет с полной вероятностью ошибки  $P_{\text{ОШ}}$ ?

2) Определите, являются ли сигналы  $s_1(t) = \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$  и  $s_2(t) = \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)$ ,  $f_2 = 1/T_2$  ортогональными на интервале  $-1,5 T_2 < t < 1,5 T_2$  в следующих случаях: а)  $f_1 = \pi f_2$  и  $\varphi_1 = \varphi_2$ ; б)  $f_1 = f_2$  и  $\varphi_1 = \varphi_2 + \pi/2$ ; в)  $f_1 = f_2$  и  $\varphi_1 = \varphi_2 + \pi$ .

РГЗ

Вариант 6

- 1) Коэффициент усиления приемного устройства увеличили в 3 раза. Какие изменения должны быть внесены в схему оптимального обнаружителя, основанного на критерии Неймана-Пирсона? Что произойдет с вероятностями правильного обнаружения  $P_{ПО}$  и ложной тревоги  $P_{ЛТ}$ ?
- 2) Покажите, что три функции, приведенные на рисунке, попарно ортогональны на интервале  $(-2, 2)$ .



Определите значение константы  $A$ , преобразующей данный набор в набор ортонормированных функций. Выразите сигнал  $x(t)$ :

$$x(t) = \begin{cases} 1, & \text{для } 0 \leq t \leq 2 \\ 0, & \text{для остальных } t \end{cases}$$

через полученные ортонормированные функции.

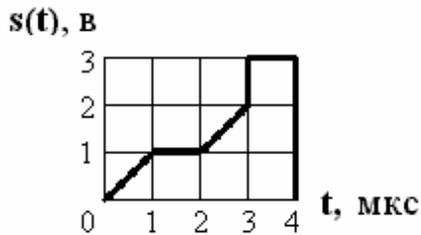
РГЗ

Вариант 7

- 1) Увеличение чувствительности приемного устройства привело к снижению СПМ шума  $N_0$  в 2 раза. Какие необходимо внести изменения в схему оптимального обнаружителя, работающего по байесовскому критерию минимума среднего риска?
- 2) Даны следующие функции:  $\psi_1(t) = \exp(-|t|)$  и  $\psi_2(t) = 1 - A \exp(-2|t|)$ . Определите константу  $A$ , при которой эти функции ортогональны на интервале  $(-\infty, \infty)$ .

РГЗ

Вариант 8



- 1) Полезный сигнал изображен на рисунке. Приведите схему оптимального приемника обнаружения Котельникова и укажите ее основные параметры.
- 2) Биполярный двоичный сигнал  $S_i(t)$  - это импульс  $+1В$  или  $-1В$  на интервале  $(0, T)$ . К сигналу добавляется аддитивный белый гауссов шум с двухсторонней СПМ  $10^{-3}$  Вт/Гц. Определите максимальную скорость передачи битов, которую можно поддерживать при вероятности появления ошибочного бита  $P_{ош} \leq 10^{-3}$ .

РГЗ

Вариант 9

- 1) Амплитуда сигнала с полностью известными параметрами увеличилась в 2 раза. Какие изменения необходимо внести в приемник обнаружения, работающий по критерию Котельникова, если  $p_0 = p_1 = 0.5$ ?
- 2) Двоичные данные передаются при помощи биполярных импульсов, амплитудные значения которых на выходе согласованного фильтра равны  $+1В$  или  $-1В$ . Дисперсия гауссовского шума на его выходе  $0,1В^2$ . Определите оптимальный порог различения, (дающий минимальную вероятность ошибки) при следующих априорных вероятностях: а)  $p_1 = 0,5$ ; б)  $p_1 = 0,7$ ; в)  $p_1 = 0,2$ . Объясните влияние априорных вероятностей на величину порога.

## Вариант 10

1) Определить графически относительный порог в когерентном приемнике обнаружения (демодуляторе) бинарных сигналов (информационных битов), работающем по критерию минимума средней вероятности ошибок для двух случаев: а)  $p_0 = p_1 = 0.5$ ; б)  $p_0 = 0.3$ ;  $p_1 = 0.7$ , при ОСШ  $q^2 = 25$ . Пояснить влияние априорных вероятностей на величину порога.

2) В приемнике различения, осуществляющем прием двоичных данных, решение принимается сравнением с порогом данных  $Z = a_i + n_0$ . Здесь сигнал принимает значения  $a_1 = 1B$ ,  $a_2 = -1B$ , а шум  $n_0$  имеет равномерное распределение. Плотности условного распределения даются выражениями:

$$p(z|a_1) = \begin{cases} 0.5 & \text{для } -0,2 \leq z \leq 1.8 \\ 0 & \text{для других } z \end{cases} \quad p(z|a_2) = \begin{cases} 0.5 & \text{для } -1.8 \leq z \leq 0.2 \\ 0 & \text{для других } z \end{cases}$$

Определите вероятность появления ошибки для равновероятной передачи символов и использования оптимального порога принятия решения, минимизирующего среднюю вероятность ошибок.