

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени В.Ф. Уткина»

Кафедра радиотехнических устройств

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Б1.О.02 «Пространственно-временная обработка сигналов»**

Направление подготовки – 11.04.01 «Радиотехника»

ООП1 – «Радиоэлектронные системы и устройства локации, навигации и  
управления»

ООП2 – «Беспроводные технологии в радиотехнических системах и устройствах»

Квалификация выпускника – магистр

Форма обучения – очно-заочная

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур проверки), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части ОПОП.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и владений, приобретенных обучающимся в процессе изучения дисциплины, целям и требованиям ОПОП в ходе проведения промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общепрофессиональных компетенций.

## 2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Экзамен по дисциплине «Пространственно-временная обработка сигналов» проводится в осеннем семестре 1-го года обучения. Промежуточная аттестация представляет собой сдачу студентом экзамена в соответствии с рабочей программой дисциплины «Пространственно-временная обработка сигналов». При оценивании результатов освоения дисциплины применяется четырехбалльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Критерий</b>
<b>«Отлично»</b>	«ОТЛИЧНО» заслуживает обучающийся, продемонстрировавший всестороннее, систематическое и глубокое понимание материалов изученных дисциплин, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший литературу, рекомендованную программой государственного экзамена; проявивший творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов государственного экзамена, безупречно ответивший не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках программы государственного экзамена
<b>«Хорошо»</b>	«ХОРОШО» заслуживает обучающийся, продемонстрировавший полное знание материала государственного экзамена, успешно выполнивший предусмотренные задания, в целом усвоивший литературу, рекомендованную программой государственного экзамена; показавший систематический характер знаний в объеме программы государственного экзамена, ответивший на все вопросы билета, но допустивший при этом не принципиальные ошибки
<b>«Удовлетворительно»</b>	«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» заслуживает обучающийся, продемонстрировавший знание материала государственного экзамена в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, знакомый с литературой, рекомендованной программой государственного экзамена; допустивший погрешность в ответе на вопросы билета, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя
<b>«Неудовлетворительно»</b>	«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» заслуживает обучающийся, продемонстрировавший серьезные пробелы в знаниях основного материала государственного экзамена, допустивший принципиальные ошибки в ответах на вопросы билета и дополнительные вопросы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе

Шкала оценивания	Критерий
	без дополнительных занятий в объеме программы государственного экзамена

### 3. ПАСПОРТ ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части)	Наименование оценочного средства
1	2	3	4
1	Основные задачи обработки сигналов. Модели сигналов и помех	ОПК2, ОПК3	экзамен
2	Пространственная и временная структуры сигналов. Цифровая обработка пространственно-временных сигналов	ОПК2, ОПК3	экзамен
3	Методы цифровой обработки пространственно-временных сигналов	ОПК2, ОПК3	экзамен
4	Аналоговая обработка сигналов. Оценочно-корреляционная и оценочно-корреляционно-компенсационная обработка сигналов	ОПК2, ОПК3	экзамен
5	Оптимальная фильтрация случайных сигналов. Оптимальная нелинейная фильтрация. Искажения сигналов в компенсаторах помех	ОПК2, ОПК3	экзамен
6	Пространственная обработка сигналов. Квазиоптимальная пространственная обработка сигналов.	ОПК2, ОПК3	экзамен
7	Пространственная обработка при частично заданной структуре. Оценочно-корреляционно-компенсационная обработка многомерных сигналов	ОПК2, ОПК3	экзамен
8	Методы преодоления статистической априорной неопределенности. Адаптивные алгоритмы обработки сигналов	ОПК2, ОПК3	экзамен
9	Пространственное кодирование и декодирование сигналов	ОПК2, ОПК3	экзамен

### 4. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ВОПРОСЫ

#### 4.1. Типовые задания для самостоятельной работы

1. Чтение и анализ научной литературы по темам и проблемам курса.
2. Ответы на контрольные вопросы и решение задач из учебника.
3. Конспектирование литературы, посвященной используемому математическому аппарату.
4. Конспектирование, аннотирование научных публикаций.
5. Анализ нормативных документов и научных отчетов.

#### 4.2. Вопросы для промежуточной аттестации на экзамене

1. Основные задачи обработки сигналов: структурная схема информационной системы, определение, запись выражения для наблюдаемого сигнала.
2. Общие сведения о моделях сигналов и помех. Пространственная структура сигнала. Типы антенных систем. Виды направленности антенн.
3. Временная структура сигнала. Дискретизация во времени сигналов различных типов. Корреляционные свойства сигналов в дискретном времени.
4. Пространственно-временная структура сигнала. Узкополосность сигнала в пространственном смысле. Условие факторизации. Активные шумовые помехи, их свойства.
5. Цифровая пространственно-временная обработка сигнала. Общая структура, достаточная статистика. Отношение правдоподобия для гауссовской помехи. Пример обработки для некоррелированной помехи.
6. Обработка на фоне коррелированной помехи: общий случай. Пример для короткой выборки, структурная схема.
7. Метод выбеливания. Запись алгоритма, структурная схема. Пример для короткой выборки.
8. Оценочно-корреляционная обработка сигналов. Постановка задачи. Запись алгоритма, структурная схема.
9. Оценочно-корреляционно-компенсационная обработка сигналов. Постановка задачи, запись алгоритма, структурная схема.
10. Три варианта реализации линейной оценочно-корреляционно-компенсационной обработки.
11. Оптимальная фильтрация случайных процессов: постановка задачи. Винеровская фильтрация. Синтез нереализуемого линейного фильтра.
12. Синтез реализуемого линейного фильтра.
13. Примеры синтеза реализуемого и нереализуемого фильтров для экспоненциально коррелированного сигнала на фоне белого шума.
14. Оптимальная фильтрация марковских процессов. Свойство многомерной плотности распределения вероятностей для марковских процессов. Алгоритм формирования диффузионного марковского процесса. Уравнение для априорной плотности распределения вероятностей.
15. Уравнение для апостериорной плотности распределения вероятностей. Оптимальная фильтрационная оценка марковского процесса.
16. Случайный процесс с дробно-рациональным спектром: формирование, система уравнений, пример простого марковского процесса.
17. Линейная фильтрация марковского процесса. Структурная схема алгоритма с обратной связью и без обратной связи.
18. Линейная фильтрация простого марковского процесса. Линейная фильтрация гауссовского марковского радиосигнала.
19. Нелинейная фильтрация марковских процессов: уравнение алгоритма фильтрации, структурная схема. Фильтрация фазомодулированного сигнала.
20. Искажения сигнала в оптимальном компенсаторе помехи. Математическое выражение для искажений. Алгоритм и структурная схема формирователя опорного сигнала коррелятора.
21. Энергетическое подавление сигнала в компенсаторе фазомодулированной помехи.
22. Корреляционные искажения сигнала в компенсаторе помехи. Эквивалентный фильтр. Компенсация корреляционных искажений.
23. Пространственная обработка сигналов: общее выражение алгоритма обработки в непрерывном времени. Пример обработки сигнала на фоне некоррелированной во времени и в пространстве помехи. Разделение обработки на пространственную и временную.
24. Пример обработки сигнала на фоне пространственно коррелированных помех. Пример обработки при условии факторизации обратной матрицы корреляции помех. Пример обработки при условии общего вида корреляционной матрицы помех.

25. Эффективность пространственной обработки. Сигнально-помеховая ситуация. Критерий качества обработки. Оптимальный весовой вектор пространственной обработки. Эффективность оптимальной обработки.

26. Анализ эффективности обработки при действии одной помехи. Коэффициент пространственной корреляции сигнала и помехи. Пример обработки в малоэлементной антенной решетке. Анализ подавления помех.

27. Пространственная обработка сигналов при частично заданной пространственной структуре. Оптимальный весовой вектор обработки.

28. Оценочно-корреляционно-компенсационный алгоритм обработки многомерных сигналов: сигнально-помеховая ситуация, алгоритм обработки, структурная схема. Многомерная фильтрация помех с разделением обработки на пространственную и временную.

29. Пространственно-временная компенсация помех с разделением обработки на пространственную и временную.

30. Пространственно-временное кодирование и декодирование сигналов: постановка задачи. Пространственная структура приемно-передающей системы.

31. Моделирование канальной матрицы с заданными корреляционными свойствами. Угловой спектр мощности принимаемых сигналов.

32. Измерение канальных коэффициентов. Последовательный и параллельный режим. Режимы работы канала передачи информации: с обратной связью, без обратной связи.

33. Пропускная способность ММО канала передачи информации: разложение по сингулярным числам. Примеры.

34. Расчет пропускной способности гауссовского ММО канала при фиксированном значении канальной матрицы.

35. Согласование канала прохождения радиоволн и передаваемого сообщения. Максимизация пропускной способности, метод водозаполнения.

36. Эргодическая пропускная способность: определение, зависимость от числа антенн. Вероятность простоя.

37. Пространственное кодирование и декодирование BLAST: разновидности, последовательность операций алгоритма декодирования.

38. Блочное пространственно-временное кодирование и декодирование. Алгоритм Аламоути: аналитическое выражение, структурная схема.

39. Оптимальная обработка сигналов в ММО канале передачи информации: метод обращения матрицы, метод псевдообращения матрицы, метод минимума среднего квадрата ошибки, метод сингулярного разложения канальной матрицы

#### **4.3. Вопросы для самопроверки и контроля на практических и лабораторных занятиях**

1. Матрица пространственной корреляции, ее связь с пространственными характеристиками помех и антенной решеткой.

2. По какому критерию производится оптимизация пространственной обработки сигнала? Какие параметры алгоритма оптимизируются?

3. Как изменяются свойства диаграммы направленности антенной решетки при оптимальной пространственной обработке на фоне помех?

4. От чего зависит количество эффективно подавляемых пространственно сосредоточенных помех?

5. Как влияет коэффициент пространственной корреляции сигнала и помехи на эффективность пространственной обработки? От чего зависит коэффициент пространственной корреляции?

6. Как влияет отношение помеха-шум на подавление помех и искажение главного максимума диаграммы направленности АР?

7. Проанализируйте влияние пространственной структуры АР и помех на эффективность пространственной обработки.

8. В чем состоит отличие оптимальной пространственной обработки и пространственно-временной обработки при действии гауссовских помех?
9. Покажите, в каких случаях возможно разделение пространственно-временной обработки на пространственную и временную обработку?
10. Какова область применения весового сумматора?
11. Проанализируйте влияние мощности помех на время адаптации и точность установки весовых коэффициентов.
12. Проанализируйте влияние коэффициента адаптации на время адаптации и точность установки весовых коэффициентов.
13. Проанализируйте влияние вида алгоритма адаптации на устойчивость при изменении мощности помех.
14. Проанализируйте влияние числа помех и числа элементов адаптивной АР на время адаптации и точность установки весовых коэффициентов.
15. Поясните связь адаптивного алгоритма и оптимального алгоритма при частично заданной пространственной структуре.
16. Приведите примеры адаптивных алгоритмов компенсации, обладающих повышенной устойчивостью к изменению мощности помехи.
17. Поясните принцип работы двухрежимного адаптивного компенсатора помехи.
18. Поясните принцип работы двухпроцессорного адаптивного компенсатора помехи.
19. Сравните достоинства и недостатки двухрежимного и двухпроцессорного компенсаторов помехи.
20. Обоснуйте принадлежность рассмотренных в работе адаптивных компенсаторов помехи к классу с замкнутой обратной связью или к классу с разомкнутой обратной связью.
21. Проанализируйте влияние числа элементов адаптивной АР на время фазовой адаптации и точность установки весовых коэффициентов АР.
22. Проанализируйте влияние объема обучающей выборки на время фазовой адаптации и точность установки весовых коэффициентов АР.
23. Проанализируйте влияние числа источников помех на время фазовой адаптации и точность установки весовых коэффициентов АР.
24. Проанализируйте влияние числа элементов адаптивной АР с фазовой адаптацией на подавление заданного числа помех.
25. Объясните принцип работы алгоритма фазовой адаптации АР для подавления помех.
26. Сравните алгоритмы амплитудно-фазовой и фазовой адаптации с точки зрения числа эффективно подавляемых помех, числа необходимых элементов адаптивной АР, времени переходного процесса.
27. Объясните принцип работы двухрежимной АР с фазовой адаптацией, ее достоинства и недостатки.
28. Как влияет число циклов полной адаптации на эффективность подавления помех?
29. Изобразите графически временную диаграмму работы АР с фазовой адаптацией, когда АР используется для подавления помех.
30. Как влияет число отсчетов во времени при измерении мощности помех на эффективность адаптации с точки зрения точности вычисления оптимальных фаз, эффективности подавления помех?
31. Проанализируйте влияние числа элементов передающей и приемной антенн на пропускную способность ММО-канала связи.
32. Проанализируйте влияние пространственного блочного кодирования Аламоути на вероятность ошибки приема сигналов.
33. Проанализируйте влияние пространственного кодирования BLAST на вероятность

ошибки приема сигналов.

34. Проанализируйте влияние распределения мощности сигналов в передающих антеннах на вероятность ошибки приема сигналов.

35. Опишите схему MIMO-канала связи, его основные характеристики.

36. Опишите алгоритм блочного пространственного кодирования и декодирования Аламоути.

37. Опишите алгоритм пространственного кодирования и декодирования BLAST.

38. Опишите алгоритм пространственного кодирования и декодирования методом собственных лучей.

39. Корреляционные свойства канальной матрицы, ее зависимость от углового спектра.

40. Опишите особенности MIMO-каналов с обратной связью (CLTD) и без обратной связи (OLTD).

#### **4.4. Вопросы для контроля остаточных знаний**

1. Общая структурная схема информационной системы. Основные задачи обработки сигналов.

2. Общие сведения о моделях сигналов и помех. Модели: - детерминированные - случайные, - квазидетерминированные.

3. Пространственная структура сигнала. 1) антенная система с непрерывным раскрытием, 2) антенная система с дискретным раскрытием, 3) антенная система с дискретно-непрерывным раскрытием.

4. Временная структура сигнала. Непрерывный процесс. Дискретный процесс. Случайный процесс. Пространственно-временная структура сигналов.

5. Пространственно-временная обработка дискретных сигналов, отношение правдоподобия, оценочно-корреляционная обработка.

6. Оптимальная винеровская фильтрация случайных сигналов, постановка задачи. Винеровская линейная фильтрация: критерий оптимальности, реализуемый и нереализуемый фильтры.

7. Оптимальная фильтрация марковских процессов. Прямое и косвенное описание случайных процессов. Оценка апостериорного среднего. Гауссовская аппроксимация апостериорной плотности распределения вероятностей.

8. Линейная фильтрация марковского процесса: алгоритм фильтрации, структурная схема, принцип работы.

9. Нелинейная фильтрация марковских процессов: гауссовская аппроксимация апостериорной плотности распределения вероятностей. Квазилинейный алгоритм фильтрации: структурная схема, принцип работы.

10. Линейная оптимальная пространственная обработка сигналов. Разделение обработки на пространственную и временную. \

11. Оценочно-корреляционно-компенсационный алгоритм пространственно-временной обработки многомерных сигналов: модели сигналов и помех, общая запись алгоритма.

12. Искажения сигналов в оптимальном компенсаторе помехи: структура преобразования сигнала в компенсаторе помехи. Преобразование сигнала в компенсаторе гауссовской радиопомехи: искажения сигнала, структурная схема преобразования сигнала.

13. Энергия сигнала на выходе компенсатора гауссовской помехи. Структурная схема обработки сигнала на фоне гауссовской помехи с учетом искажений сигнала в компенсаторе помехи, принцип работы.

14. Подавление некоррелированных негауссовских помех, структурная схема, принцип работы.

15. Нелинейная компенсация модулированной негауссовской помехи. 1, 2, 3 варианты технической реализации. Структурные схемы, принцип работы.

16. Подавление помех в антенных решетках. Структурная схема, весовые

коэффициенты, эффективность подавления в полосе частот.

17. Метод адаптации для преодоления статистической априорной неопределенности: постановка задачи, виды априорной неопределенности, модели статистической неопределенности, примеры для классифицированной и неклассифицированной выборок.

#### **4.5. Критерии оценивания компетенций (результатов)**

1. Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
2. Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
3. Ответы на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность.
4. Качество ответа: структура, логичность, убежденность, общая эрудиция.
5. Использование учебно-методической литературы при подготовке ответов.

Оценочные материалы составил  
д.т.н., профессор

Ю.Н. Паршин