

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

Кафедра радиотехнических систем

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

по дисциплине (модулю)

**«Методы спектрального анализа сигналов»**

Направление подготовки

11.04.01 Радиотехника

Направленность (профиль) подготовки

Радиотехнические системы локации, навигации и радиоэлектронной борьбы  
Беспроводные технологии в радиотехнических системах и устройствах

Уровень подготовки

магистратура

Программа подготовки

магистратура

Квалификация выпускника – магистр

Форма обучения – очная, очно-заочная

Рязань 2025

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

**Цель** – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

**Основная задача** – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины, организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретенных обучающимися на практических занятиях, лабораторных работах и курсовом проектировании. При выполнении лабораторных работ применяется система оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ по каждому модулю определено учебным графиком.

На практических занятиях используется система «зачтено – не зачтено», или рейтинговой системы оценки, при которой правильно решенная задача оценивается определенным количеством баллов. При поэтапном выполнении учебного плана баллы суммируются. Положительным итогом выполнения программы является пороговое количество набранных баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением экзамена. Форма проведения экзамена – устный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. В процессе подготовки к устному ответу экзаменуемый может составить в письменном виде план ответа, включающий в себя определения, выводы формул, рисунки.

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

- 1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
- 2) Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
- 3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.
- 4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям.
- 5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

## Паспорт оценочных материалов по дисциплине

| №<br>п/п | Контролируемые разделы<br>(темы) дисциплины                                                                                                                                                                                                                                    | Код<br>контролируемой<br>компетенции<br>(или её части) | Вид, метод,<br>форма<br>оценочного<br>мероприятия |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1.       | Методы, алгоритмы и программы решения систем линейных уравнений.<br>Методы и алгоритмы оптимизации целевых функций, определяющих критерии качества алгоритмов СА. Метод наименьших квадратов. Быстрые алгоритмы в задачах спектрального оценивания.                            | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.<br>Отчет по лабораторной работе.         |
| 2.       | Спектрально-временные модели цифровых радиотехнических сигналов. Статистические свойства спектральных оценок и спектральное разрешение. Качество моделей случайных процессов.                                                                                                  | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен                                           |
| 3.       | Оценивание автокорреляции и взаимной корреляции процессов. Оценивание автокорреляционной последовательности.                                                                                                                                                                   | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен. Отчет по лабораторной работе             |
| 4.       | Принципы непараметрического и параметрического спектрального оценивания.                                                                                                                                                                                                       | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.<br>Отчет по лабораторной работе.         |
| 5.       | Математическая основа классических методов спектрального анализа. Дискретное и быстрое преобразование Фурье. Непараметрические методы оценки спектральной плотности мощности.                                                                                                  | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен                                           |
| 6.       | Весовые функции и их свойства.                                                                                                                                                                                                                                                 | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.<br>Отчет по лабораторной работе.         |
| 7.       | Параметрические методы оценки спектральной плотности мощности.                                                                                                                                                                                                                 | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.                                          |
| 8.       | Авторегрессионная модель случайного процесса.                                                                                                                                                                                                                                  | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.<br>Отчет по лабораторной работе.         |
| 9.       | Модель скользящего среднего, комбинированная АРСС-модель. Связь между параметрами модели и оценкой спектральной плотности мощности.                                                                                                                                            | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.<br>Отчет по лабораторной работе.         |
| 10.      | Проектирование устройств спектральной обработки сигналов.                                                                                                                                                                                                                      | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.<br>Отчет по лабораторной работе.         |
| 11.      | Локационные, навигационные задачи, решаемые с применением цифрового спектрального анализа. Типовые алгоритмы СА сигналов в РЭС локации и навигации. сигналов. Доплеровская фильтрация радиолокационных сигналов. Методы спектральной обработки в беспроводных радиотехнических | УК-2.1-3 УК-2.2-3<br>ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3               | Экзамен.<br>Отчет по лабораторной работе.         |

|  |           |  |  |
|--|-----------|--|--|
|  | системах. |  |  |
|--|-----------|--|--|

Критерии оценивания уровня сформированности компетенций в процессе выполнения лабораторных работ:

- 41%-60% правильных ответов соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования;
- 61%-80% правильных ответов соответствует продвинутому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования;
- 81%-100% правильных ответов соответствует эталонному уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования.

1. Сформированность уровня компетенций не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

2. Формой промежуточной аттестации по данной дисциплине является зачет, оцениваемый по принятой в ФГБОУ ВО «РГРТУ» системе: «зачтено» / «не зачтено».

3. Критерии оценивания промежуточной аттестации представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Критерии оценивания промежуточной аттестации (лабораторные и практические занятия, теоретический зачет)

| Шкала оценивания | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «зачтено»        | <b>студент должен:</b> продемонстрировать общее знание изучаемого материала; знать основную рекомендуемую программой дисциплины учебную литературу; уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; уметь устранить допущенные погрешности в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий под руководством преподавателя, либо (при неправильном выполнении практического задания) по указанию преподавателя выполнить другие практические задания того же раздела дисциплины. Обязательным условием получения «зачтено» является правильное решение задачи и не менее 70% правильных ответов на вопросы из билета. |
| «не зачтено»     | <b>ставится в случае:</b> незнания значительной части программного материала; не владения понятийным аппаратом дисциплины; существенных ошибок при изложении учебного материала; неумения строить                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; неумения делать выводы по излагаемому материалу. Оценка «не зачтено» также ставится студентам, которые не выполнили и защитили лабораторные работы и практические занятия, предусмотренные рабочей программой. |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### **Вопросы для защиты лабораторных работ**

1. Что такое корреляционная функция и корреляционная матрица случайного процесса?
2. От каких параметров случайного процесса и каким образом зависят коэффициенты корреляции процесса?
3. Как статистически правильно определить корреляционные коэффициенты?
4. Какова роль усреднения при определении корреляционной матрицы?
5. Дать определение спектральной плотности мощности сигнала?
6. Как определяется обратная матрица и каковы ее свойства?
7. Как точность вычисления обратной матрицы сказывается на результате ее перемножения с прямой матрицей?
8. Что такое спектр собственных значений матрицы и как он определяется?
9. Как определяется число обусловленности матрицы и что оно характеризует?
10. Как определяются собственные векторы матрицы.
11. Какие параметры входят в одномерную функцию плотности распределения вероятностей нормального закона распределения?
12. Какие параметры входят в многомерную функцию плотности распределения вероятностей нормального закона распределения?
13. Опишите словесно связь ширины спектра флуктуаций процесса со степенью корреляции его значений.
14. От каких параметров СПМ сигнала и каким образом зависят порядок и коэффициенты формирующего фильтра?
15. Как оценить необходимое число отсчетов для получения СПМ приближающейся к теоретической.
16. Опишите различия в алгоритмах формирования и форме СПМ односвязанной и многосвязанной марковских последовательностей.
17. Объясните зависимости степени узкополосности СПМ и числа обусловленности матрицы.
18. Объясните зависимости СПМ от отношения сигнал-шум.
19. Дайте определение гауссовского (нормального) случайного процесса, а также стационарного процесса и объясните характерные особенности моментов распределения.
20. Какие виды непараметрических моделей вам известны?
21. 4. Объясните процедуру вычисления СПМ по методу периодограмм.
22. Как влияет число секций на оценку СПМ?
23. Как влияет степень перекрытия секций на оценку СПМ?
24. 8. Что такое метод модифицированных периодограмм (метод Уэлча)?
25. С какой целью применяется взвешивание при вычислении СПМ периодограммным методом ?
26. 10 Как влияет взвешивание на оценку СПМ периодограммным методов?

27. Типы классических весовых окон.
28. Непараметрические и параметрические весовые окна.
29. Характеристики весовых окон.
30. С какой целью применяются весовые окна.
31. Как влияет применение весовой обработки на энергетические параметры (отношение сигнал-шум) в условиях белого шума?
32. Как влияет применение весовой обработки на энергетические параметры (отношение сигнал-помеха) в условиях узкополосных помех?
33. 3. Как влияет число отсчетов сигнала на оценку автокорреляционной последовательности (АКП) и СПМ коррелограммным методом?
34. Объясните процедуру вычисления СПМ по методу коррелограмм.
35. Как влияет число секций на оценку СПМ?
36. Как влияет степень перекрытия секций на оценку СПМ?
37. Какие виды параметрических моделей вам известны?
38. Как связаны ширина спектра флуктуаций процесса и степень приближения оценки АКП и СПМ к вычисленным теоретически?
39. Объясните процедуру создания АР-модели.
40. Из каких соображений выбирается порядок АР-фильтра?
41. Для каких процессов более пригодны АР-модели?
42. Объясните зависимости СПМ, полученной АР-методом, числа и расположения максимумов спектра процесса.
43. Объясните зависимости СПМ, полученной АР-методом, от ширины спектра флуктуаций сигнала.

### **Примеры контрольных вопросов для оценки сформированности компетенций УК-2.1-3 УК-2.2-3**

1. Определить понятие спектральной плотности мощности сигнала.
2. Описать связь корреляционных параметров со спектральной плотностью мощности сигнала.
3. В чем отличие непараметрических моделей сигнала от параметрических?
4. Какова роль усреднения в методах спектрального анализа сигналов?
5. Назовите основные методы создания моделей узкополосных случайных процессов.
6. Чем определяется разрешающая способность сигналов в спектральной области?
7. Для чего применяется весовая обработка сигналов?
8. Перечислите основные методы непараметрического спектрального анализа сигналов.
9. Перечислите основные методы параметрического спектрального анализа сигналов.
10. Как связаны автокорреляционная функция и автокорреляционная последовательность?

11. Какие способы генерирования случайных сигналов применяются в спектральном анализе?
12. Назовите программные и аппаратные средства спектрального анализа.

**Примеры контрольных вопросов для оценки  
сформированности компетенций ОПК-4.1-3 ОПК-4.2-3**

1. Назовите основные программные и аппаратные средства спектрального анализа.
2. В чем отличие алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) от алгоритмов дискретного преобразования Фурье (ДПФ)?
3. На каких свойствах преобразований основаны алгоритмы БПФ?
4. В каких практических задачах используются методы спектрального анализа сигналов?
5. Назовите примеры использования методов спектрального анализа сигналов в задачах радиолокации, связи, технической и медицинской диагностики.
6. Какие программные средства спектрального анализа сигналов удобно использовать в исследовательских и инженерных задачах?
7. Задачи, стоящие перед разработчиком программно-аппаратных средств спектрального анализа сигналов.
8. Перечислите основные способы генерирования случайных сигналов, применяемых в спектральном анализе.

**Перечень вопросов для экзамена**

1. Математические методы, лежащие в основе ЦОС. матрицы и их свойства. операции над матрицами.
2. Спектральный анализ матриц. собственные числа и собственные векторы матрицы.
3. Метод наименьших квадратов.
4. Цифровой спектральный анализ, Основные идеи и проблемы.
5. Реализация ДПФ на основе цифровой фильтрации.
6. Реализация алгоритма БПФ с прореживанием по времени.
7. Реализация алгоритма БПФ с прореживанием по частоте.
8. Алгоритм БПФ для составного значения  $N$ .
9. Использование окон при спектральных измерениях.
10. Спектральные представления детерминированных сигналов.
11. Разрешение сигналов в спектральной области.

12. Коррелограммный метод оценки СПМ.
13. Периодограммный метод оценки СПМ.
14. Контрольный спектр (модель). Тест последовательность, используемая для спектрального оценивания.
15. Параметрические модели случайных процессов
16. Спектральное оценивание на основе моделей авторегрессии – скользящего среднего.
17. АР-процесс и свойства его спектра .
18. Методы АР спектрального оценивания.
19. Метод Юла-Уолкера и алгоритм Левинсона - Дербина.
20. Спектральное оценивание на основе СС-модели.

### Вопросы для оценки остаточных знаний (компетенций)

|                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Какой моделью описывается шумовой радиотехнический сигнал?</p> <p><b><u>Правильный ответ:</u></b> Моделью белого гауссовского шума.</p>                                                     |
| <p>2. Какой моделью описывается узкополосный радиотехнический сигнал?</p> <p><b><u>Правильный ответ:</u></b> Моделью гармонического или случайного процесса с узкополосным спектром.</p>          |
| <p>3. Что такое нормированная ширина спектра флуктуаций дискретного (цифрового) сигнала?</p> <p><b><u>Правильный ответ:</u></b> Произведение ширины спектра сигнала на частоту дискретизации.</p> |
| <p>4. Для чего применяется весовая обработка в процессе фильтрации сигнала?</p> <p><b><u>Правильный ответ:</u></b> Для снижения уровня боковых лепестков АЧХ фильтра.</p>                         |
| <p>5. Какой параметр определяет спектральное разрешение сигнала, представленного <math>N</math> дискретными отсчетами?</p> <p><b><u>Правильный ответ:</u></b> <math>1/N</math> .</p>              |



6. Какой базовый алгоритм используется в непараметрических методах спектрального анализа ?

**Правильный ответ:** Алгоритм дискретного или быстрого преобразования Фурье (ДПФ или БПФ).

7. Нужно ли знать модель данных при использовании непараметрических методах спектрального анализа сигналов?

**Правильный ответ:** Нет, не нужно.

8. К какому классу методов спектрального анализа сигналов относятся коррелограммный и периодограммный алгоритмы?

**Правильный ответ:** К непараметрическим алгоритмам.

9. Назовите наиболее известный параметрический алгоритм спектрального анализа сигналов.

**Правильный ответ:** Алгоритм авторегрессии и скользящего среднего (АРСС) или алгоритм авторегрессии (АР). (Верен любой ответ.)

10. Верно ли утверждение, что для применения алгоритма БПФ необходимо, чтобы число отсчетов было составным?

**Правильный ответ:** Верно.

11. Для какого метода непараметрического спектрального анализа сигналов необходима оценка корреляционной матрицы?

**Правильный ответ:** Для коррелограммного метода.

12. Для какого метода параметрического спектрального анализа сигналов необходима оценка корреляционной матрицы?

**Правильный ответ:** Для авторегрессионного метода (АР-метода или АРСС-метода).

13. Верно ли утверждение, что при использовании параметрической модели можно искусственно формировать процессы с любым конечным числом отсчетов?

**Правильный ответ:** Верно.

14. Верно ли утверждение, что если число отсчетов сигнала может быть сколь угодно большим, то методы непараметрического и параметрического спектрального анализа обеспечивают в пределе одинаково хорошее спектральное разрешение?

**Правильный ответ:** Верно.

15. Для какого метода непараметрического спектрального анализа сигналов не требуется оценка корреляционной матрицы?

**Правильный ответ:** Для периодограммного метода.

16. Модели каких случайных процессов применяются в спектральном анализе сигналов?

**Правильный ответ:** Модель гауссовского и марковского случайных процессов.

17. Какое количество доминирующих частот имеет многомодовый случайный процесс?

**Правильный ответ:** Две и более.

18. Корреляционная матрица белого гауссовского шума имеет вид.....?

**Правильный ответ:** Единичной матрицы.

19. Для формирования случайного процесса с резонансной функцией корреляции применяется метод, называемый .....

**Правильный ответ:** Методом формирующего фильтра.

20. Как изменится спектральная разрешающая способность при увеличении количества отсчетов в два раза?

**Правильный ответ:** улучшится в 2 раза.