

## ПРОГРАММА ЭКЗАМЕНА

по дисциплине «Методы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем»

### Перечень теоретических вопросов

1. Вывод рекуррентного уравнения для АПВ дискретных марковских процессов (уравнения Стратоновича в дискретном времени).
2. Что такое корреляционная функция случайного процесса?
3. Что такое спектральная плотность мощности случайного процесса?
4. Чем отличаются определения стационарности случайных процессов в широком и узком смысле?
5. Что такое многомерная случайная величина (с.в.) и что такое плотность вероятности многомерной с.в.?
6. Какими вероятностными характеристиками описывается произвольная случайная последовательность?
7. Какими вероятностными характеристиками описывается гауссовская случайная последовательность?
8. Дайте определение белого гауссовского шума. Какими свойствами обладает такой шум?
9. Какие случайные процессы называют марковскими?
10. Чем по смыслу отличаются термины сигнал, сообщение, помеха?
11. Какие сигналы и процессы называются квазидетерминированными?
12. Какие виды сообщений вы знаете?
13. Какие основные признаки (характеристики) узкополосного сигнала?
14. Что такое статистическая модель сообщения?
15. Привести пример векторно-матричного описания статистической модели сообщения в виде многомерного марковского процесса.
16. Что такое оценивание в теории статистических решений?
17. Что называют решением, решающим правилом, функцией потерь, риском?
18. Чем байесовское решение отличается от решения максимального правдоподобия?
19. Какие наиболее распространённые функции потерь?
20. Что такое апостериорная плотность вероятности и каково её значение в теории статистических решений?
21. Сформулируйте постановку задачи обнаружения полностью известного сигнала.
22. В чём различие критерия Байеса и критерия Неймана-Пирсона в задаче обнаружения сигнала?
23. Что такое отношение правдоподобия?
24. Чем определяется порог обнаружения в обнаружителе, использующем байесовское решающее правило?
25. Назвать основные характеристики обнаружителей сигналов.
26. Чем определяется порог обнаружения в обнаружителе по критерию Неймана-Пирсона?
27. Описать структуру оптимального обнаружителя полностью известного сигнала.
28. Как записать отношение правдоподобия при наличии случайных неинформативных параметров сигнала?
29. Описать структуру оптимального обнаружителя сигнала с неизвестной начальной фазой.
30. Что такое различение сигналов?
31. Чем определяются характеристики различения двух детерминированных сигналов? Какие сигналы имеют наилучшие характеристики различения?
32. Изложить постановку задачи различения  $m$  детерминированных сигналов.
33. Описать структуру оптимального приемника для различения  $m$  сигналов.
34. Сформулировать общую постановку задачи оценки параметров сигнала.
35. Каково общее байесовское решение задачи оценки параметров сигнала при простой и квадратичной функциях потерь? (Записать формулы).

36. Чем байесовские оценки параметров сигнала отличаются от оценок максимального правдоподобия? В чём достоинство оценок максимального правдоподобия?
37. Каково общее решение задачи оценивания параметров сигнала по методу максимального правдоподобия? (Записать уравнение правдоподобия).
38. Какими свойствами обладают оценки максимального правдоподобия?
38. Что такое потенциальная точность оценок параметров сигнала? Дать определение нижней границы Рао-Крамера, (записать выражение).
39. Как найти потенциальную точность совместного оценивания нескольких параметров сигнала?
40. Как зависит потенциальная точность оценок параметров сигнала от отношения сигнал/шум?
41. Можно ли, и если можно, то как рассчитать потенциальную точность оценок информативных параметров сигнала при наличии неинформативных случайных параметров?
42. Какие параметры сигнала называются энергетическими, а какие неэнергетическими?
43. Чем определяется потенциальная точность оценки задержки сигнала?
44. Чем определяется потенциальная точность оценки частоты сигнала?
45. Чем определяется потенциальная точность совместных оценок частоты и задержки сигнала?
46. В чём заключается идея оценивания параметров сигнала с помощью дискриминаторов?
47. Дайте определение дискриминатора с точки зрения теории статистических решений.
48. Изложить постановку задачи оптимальной фильтрации случайного процесса.
49. В чём различие задач оценивания: фильтрации, интерполяции и экстраполяции?
50. Что такое плотность вероятности перехода дискретного марковского процесса? Как связана плотность вероятности перехода с плотностью вероятности формирующего шума?
51. Является ли АПВ случайного процесса детерминированной или случайной функцией и почему?
52. Изложить постановку задачи оптимальной линейной фильтрации.
53. Записать уравнения фильтра Калмана для векторных наблюдений и процессов. Пояснить работу фильтра на шаге экстраполяции и на шаге оценивания.
54. При каких условиях фильтр Калмана является абсолютно оптимальным, т.е. нельзя найти никакого другого линейного фильтра, дающего меньшую дисперсию ошибки фильтрации?
55. Чем определяется закон формирования экстраполированных оценок?
56. Какую роль играют априорные сведения в задаче фильтрации?
57. Каково основное назначение математического аппарата оптимальной линейной фильтрации с точки зрения обработки сигналов?
58. Изложить постановку задачи оптимальной нелинейной фильтрации. В чём отличие задачи нелинейной фильтрации от линейной?
59. Записать уравнения расширенного фильтра Калмана для векторных наблюдений и процессов. Пояснить работу фильтра на шаге экстраполяции и на шаге оценивания.
60. В чём особенность решения дисперсионных уравнений в расширенном фильтре Калмана, в отличие от линейного фильтра Калмана?
61. Что такое гауссовское приближение в теории оптимальной нелинейной фильтрации?
62. Как определяется дискриминатор в структуре оптимальной (в гауссовском приближении) нелинейной системы фильтрации?
63. Чем определяется структура оптимального дискриминатора?
64. Чем определяется структура сглаживающего фильтра в нелинейной системе фильтрации?
65. Возможно ли разработать фильтр для решения задачи нелинейной фильтрации, дающий более высокую точность, чем расширенный фильтр Калмана?
66. При каких условиях и как можно снизить скорость обработки в дискретной системе фильтрации?
67. В чём состоит принцип оптимальной комплексной фильтрации?
68. В чём заключается первый модернизированный вариант комплексирования?

69. В чём заключается второй модернизированный вариант комплексирования?
70. Что необходимо учитывать в аппаратуре при комплексировании различных измерителей?
71. Где и для чего применяются комплексные инерциально-спутниковые навигационные системы?
72. Благодаря каким свойствам комплексирование спутниковой и инерциальной навигационной системы оказывается эффективным?
73. Какие схемы комплексирования ИНС и СРНС вы знаете? В чём особенность каждой схемы?
74. При комплексировании следящих систем навигационного приемника какую внешнюю информацию вводят в фильтр?
75. Какие характеристики следящих систем навигационного приемника повышаются при их комплексировании с информацией от ИНС и за счёт чего?
76. Что называют пространственно-временным сигналом?
77. Как физически получают пространственно-временной сигнал?
78. В каких устройствах применяют обработку пространственно-временных сигналов?
79. В каких приближениях выводятся алгоритмы обработки пространственно-временных сигналов?
80. Что такое характеристика и диаграмма направленности блока пространственной обработки?
81. Что такое коэффициент эффективности блока пространственной обработки?
82. Что такое время адаптации блока пространственной обработки?

### Перечень практических заданий

1. Записать определение вероятности
2. Записать определение плотности вероятности
3. Определение совместной плотности вероятности.
4. Определение условной плотности вероятности.
5. Записать формулу Байеса.
6. Записать определение плотности вероятности многомерной случайной величины.
7. Определение математического ожидания многомерной случайной величины.
8.  $\mathbf{x}$  – случайный вектор-столбец размерности  $n$ . Какова размерность  $M[\mathbf{x}]$ ?
9.  $\mathbf{x}$  – случайный вектор-столбец размерности  $n$ . Какова размерность  $p(\mathbf{x})$ ?
10.  $\mathbf{Y}$  – матрица случайных чисел размером  $2048 \times 4$ . Какова размерность  $M[\mathbf{Y}]$ ?
11. Определение дисперсии многомерной случайной величины.
12. Назвать свойства матрицы дисперсий (ковариационной матрицы случайного вектора).
13.  $\mathbf{x}$  – случайный вектор-столбец размерности  $n$ . Какова размерность его матрицы дисперсий?
14.  $\mathbf{x}$  – вектор-столбец размерности  $n$ . Чему равна размерность величины  $\mathbf{A} = \mathbf{x} \cdot \mathbf{x}^T$ ?
15.  $\mathbf{x}$  – вектор-столбец размерности  $n$ . Чему равна размерность величины  $\mathbf{A} = \mathbf{x}^T \cdot \mathbf{x}$ ?
16.  $\mathbf{a} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \end{vmatrix}$ ,  $\mathbf{b} = \begin{vmatrix} 4 \\ 5 \end{vmatrix}$  чему равно  $\mathbf{b} \cdot \mathbf{a}$ ? Имеет ли смысл выражение  $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ ? или  $\mathbf{a} + \mathbf{b}$ ? или  $\mathbf{a}^T + \mathbf{b}$ ?
17. Матрица  $\mathbf{A}$  имеет размерность  $3 \times 3$ . Вектор  $\mathbf{b}$  имеет размерность  $3 \times 1$ . Какую будет иметь размерность величина:
  - а)  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{b}$ ;
  - б)  $\mathbf{b}^T \cdot \mathbf{A}$ ;

в)  $\mathbf{b}^T \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{b}$ ;

18. Матрица  $\mathbf{A}$  имеет размерность  $2 \times 4$ . Матрица  $\mathbf{B}$  имеет размерность  $4 \times 7$ . Какую размерность будет иметь матрица  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$ ?

19. Дана векторная функция  $\mathbf{f}$  (размерности  $m$ ) векторного аргумента  $\mathbf{x}$  (размерности  $n$ ), то есть

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{pmatrix}. \text{ Чему по определению равна производная } \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} ?$$

20. Векторная функция  $\mathbf{f}$  имеет размерность 10, её векторный аргумент  $\mathbf{x}$  имеет размерность 3. Какую размерность имеет производная  $\frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}$ ?

21.  $\mathbf{x} = \begin{vmatrix} x & y & z \end{vmatrix}^T$ ,  $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{vmatrix} A \cdot \sin(2x - y) \\ A \cdot \cos(3z - y) \end{vmatrix}$ . Найти  $\frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}$ .

22.  $\mathbf{n}$  – случайный вектор с математическим ожиданием  $M[\mathbf{n}] = \mathbf{m}_n$  и матрицей дисперсий  $\mathbf{D}_n$ ,  $a$  – известное число. Чему равняется матожидание и дисперсия величины  $a\mathbf{n}$ .

23.  $\mathbf{n}$  – случайный вектор с математическим ожиданием  $M[\mathbf{n}] = \mathbf{m}_n$  и матрицей дисперсий  $\mathbf{D}_n$ ,  $\mathbf{S}$  – известный вектор такой же размерности как  $\mathbf{n}$ . Чему равняется матожидание и дисперсия величины  $(\mathbf{S} + \mathbf{n})$ ?

24. Дана выборка случайной величины  $x: \{-1, 8, 4, 2\}$ . Найти выборочное среднее.

25. Дана выборка случайной величины  $x: \{-1, 8, 4, 2\}$ . Найти выборочную дисперсию.

26. Что означает запись  $\int_{\mathbf{x}} \mathbf{f}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}$ , если  $\mathbf{f}$  – векторная функция векторного аргумента  $\mathbf{x}$ ?

#### Критерии шкалы оценивания:

– оценка 5 («отлично»), если правильно выполнено практическое задание и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных процессов и явлений или решения задач;

– оценка 4 («хорошо»), если правильно выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки;

– оценка 3 («удовлетворительно»), если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки;

– оценка 2 («неудовлетворительно»), если практическое задание не выполнено или не даны ответы на вопросы экзаменационного билета и не выполнены критерии для оценки 3 («удовлетворительно»).

Лектор дисциплины

А.Ю. Шатилов

Зав. кафедрой

Р.С. Куликов