

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

**Наименование образовательной программы: Радионавигационные системы и комплексы**

**Уровень образования: высшее образование - специалитет**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Методы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей  
спутниковых радионавигационных систем**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шатилов А.Ю.
	Идентификатор	Re9a563c9-ShatilovAY-e2efc2d7

(подпись)

А.Ю.

Шатилов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

(подпись)

А.Ю.

Сизякова

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Куликов Р.С.
	Идентификатор	R7ef0b374-KulikovRS-e851162c

(подпись)

Р.С. Куликов

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов

ИД-1 Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов

ИД-2 Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров

2. ПК-2 Способен выполнять компьютерное (имитационное) моделирование подсистем радиоэлектронных систем и комплексов и процессов для анализа параметров процессов и подсистем

ИД-1 Знает алгоритмы и типовые методики имитационного моделирования процессов в подсистемах радиоэлектронных систем и комплексов

ИД-4 Умеет выполнять анализ и оптимизацию характеристик радиосигналов и параметров подсистем радиоэлектронных систем и комплексов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Оптимальная комплексная фильтрация (Контрольная работа)

2. Оптимальная линейная фильтрация (Контрольная работа)

3. Оптимальная нелинейная фильтрация (Контрольная работа)

4. Оценка параметров сигнала (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Векторно-матричное описание марковских процессов (Коллоквиум)

## БРС дисциплины

9 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	14	15
Статистическое описание сигналов, событий и процессов						
Статистическое описание сигналов, событий и процессов		+	+	+	+	+

Основы теории статистических решений					
Основы теории статистических решений		+	+	+	+
Обнаружение сигналов					
Обнаружение сигналов		+			
Оценка параметров сигнала					
Оценка параметров сигнала		+			
Оптимальная линейная фильтрация					
Оптимальная линейная фильтрация			+		
Оптимальная нелинейная фильтрация					
Оптимальная нелинейная фильтрация				+	
Оптимальная комплексная фильтрация					
Оптимальная комплексная фильтрация					+
Вес КМ:	10	20	30	20	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов	Знать: методы и алгоритмы имитационного моделирования процессов в оптимальных устройствах обработки	Векторно-матричное описание марковских процессов (Коллоквиум)
ПК-1	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров	Уметь: применять полученную информацию при разработке алгоритмов обработки сигналов в аппаратуре СРНС применять методы статистического синтеза для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей	Оптимальная линейная фильтрация (Контрольная работа) Оптимальная нелинейная фильтрация (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Знает алгоритмы и типовые методики имитационного моделирования процессов в подсистемах радиоэлектронных систем и комплексов	Знать: алгоритмы оптимальной обработки сигналов в аппаратуре потребителей СРНС и критерии для синтеза оптимальных алгоритмов обработки	Оценка параметров сигнала (Контрольная работа)

ПК-2	ИД-4 <sub>ПК-2</sub> Умеет выполнять анализ и оптимизацию характеристик радиосигналов и параметров подсистем радиоэлектронных систем и комплексов	Уметь: применять статистические методы анализа радиотехнических систем и устройств для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей	Оптимальная комплексная фильтрация (Контрольная работа)
------	---	--	---

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Векторно-матричное описание марковских процессов

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент с места отвечает на вопрос и при необходимости иллюстрирует ответ на доске

#### Краткое содержание задания:

Записать уравнение произвольного Марковского процесса 3-го порядка в дискретном времени

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы и алгоритмы имитационного моделирования процессов в оптимальных устройствах обработки	1. $\mathbf{a} =  a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 $ , чему равно $\mathbf{a} \cdot \mathbf{a}^T$ , и $\mathbf{a}^T \cdot \mathbf{a}$ ? 2. Что такое математическое ожидание векторной случайной величины? 3. Что такое дисперсия векторной случайной величины? 4. Как смоделировать марковский процесс на компьютере?
---	---

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-2. Оценка параметров сигнала

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам выдается задание и указания по его выполнению в письменной форме. Они его выполняют и сдают отчет с выводом алгоритма и результатами его программной реализации

#### Краткое содержание задания:

**Контрольная работа №2а**

По адресу  
[http://www.srns.ru/mediawiki/images/4/4c/Input\\_Y0toT.zip](http://www.srns.ru/mediawiki/images/4/4c/Input_Y0toT.zip)  
 лежит выборка следующих входных сигналов (текстовый файл упакован в ZIP), всего M=2048 отсчетов:

$$y_{1,k} = A_1 \cos(\omega kT + \varphi_1) + n_{1,k},$$

$$y_{2,k} = A_2 \sin(\omega kT + \varphi_2) + n_{2,k},$$

$$y_{3,k} = A_3 \cos(\omega kT + \varphi_3 + \Delta\varphi) + n_{3,k},$$

$$y_{4,k} = A_4 \sin(\omega kT + \varphi_4 + \Delta\varphi) + n_{4,k}, \quad k \in [0, 2047], \quad T = 1/f_s, \quad f_s = 47,5 \text{ МГц}$$

$n_{1..4,k}$  – независимые и некоррелированные по времени ДБШ с СКО  $\sigma_n = 10$   
 Параметры сигналов  $A_i, \omega, \varphi_i, \Delta\varphi$  – неизвестны, но постоянны на интервале наблюдения.  
**Требуется найти:**  $\Delta\varphi$ , дисперсию ошибки для полученной оценки  $D_{\Delta\varphi}$  (нижнюю границу Рао-Крамера)

**Указания**

- Использовать метод максимального правдоподобия, применять итеративный алгоритм оценивания с помощью дискриминаторов.
- Неинформативные параметры (амплитуду, частоту, начальную фазу) считать информативными и тоже оценивать.  $\lambda = [A_1, A_2, \omega, \varphi_1, \Delta\varphi]^T$
- Вектор наблюдений:  $y_k = [y_{1,k}, y_{2,k}, y_{3,k}, y_{4,k}]^T = S_k(\lambda) + n_k$
- Отношение правдоподобия для векторных наблюдений в дискретном времени:  

$$p(Y_k^M) = \exp \left\{ \sum_{k=1}^M S_k^T(\lambda) D_k^{-1} \left( y_k - \frac{1}{2} S_k(\lambda) \right) \right\}$$
 $D_k$  – матрица дисперсий шумов наблюдений, в данной задаче  $D_k = \sigma_n^2 \cdot I$
- Предъявить исходный код программы, выполняющей расчет

Figure 1 Выдаваемое задание

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: алгоритмы оптимальной обработки сигналов в аппаратуре потребителей СРНС и критерии для синтеза оптимальных алгоритмов обработки</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Каковы свойства оценок максимального правдоподобия?</li> <li>Сформулируйте критерий Неймана-Пирсона для задач обнаружения сигналов</li> <li>Какие критерии используются при синтезе оптимальных алгоритмов оценивания в теории статистических решений?</li> </ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-3. Оптимальная линейная фильтрация**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам выдается задание и указания по его выполнению в письменной форме. Они его выполняют и сдают отчет с выводом алгоритма и результатами его программной реализации



## Краткое содержание задания:

Содержание задания приведено ниже на слайдах

### Анализ и моделирование рассмотренной системы ЧАП.

Ширина спектра флуктуаций ускорения  $\alpha = 1 \text{ с}^{-1}$

Флуктуационная характеристика частотного дискриминатора определяется выражением

$$\tilde{N}_0(q_{c/n_0}) = \frac{2}{q_{c/n_0} T^2} \left( 1 + \frac{1}{2q_{c/n_0} T} \right), \quad T = 10 \text{ мс},$$

$q_{c/n_0} = 10^{0,1(14...50 \text{ дБГц})}$  [Гц] - отношение мощности сигнала к

спектральной плотности шума на входе приёмника;

$\omega_0 = 2\pi \cdot (1602 \text{ МГц})$  - несущая частота

1. Найти аналитически и построить на графиках зависимости среднеквадратической ошибки фильтрации частоты и оптимальной полосы ЧАП от отношения с/ш:

$$\sigma_{\Omega}(q_{c/n_0}) = \sqrt{D_{11}}(q_{c/n_0}); \quad \Delta F_{\text{ЧАП}}(q_{c/n_0}) \text{ при } \sigma_a = 10 \text{ м/с}^2$$

2. Найти аналитически и построить на графиках зависимости среднеквадратической ошибки фильтрации частоты и оптимальной полосы ЧАП от среднеквадратического ускорения:

$$\sigma_{\Omega}(\sigma_a) = \sqrt{D_{11}}(\sigma_a); \quad \Delta F_{\text{ЧАП}}(\sigma_a) \text{ при } q_{c/n_0} = 10^{0,1(30 \text{ дБГц})} \text{ -- ???}$$

\*  $\sigma_a = 1...30 \text{ м/с}^2$

\*\* при построении графиков от  $q_{c/n_0}$  по оси X откладывать значе

$$q_{c/n_0} \text{ в дБГц: } q_{c/n_0} [\text{дБГц}] = 10 \lg(q_{c/n_0} [\text{Гц}])$$

Решить аналогичную задачу в дискретном времени.

$$\Omega_k = \Omega_{k-1} + v_{k-1}T, \quad T = 10 \text{ мс},$$

$$v_k = v_{k-1} \cdot (1 - \alpha T) + \alpha T \cdot \xi_{k-1}, \quad \sigma_\xi^2 = \frac{S_\xi}{2T},$$

$$\tilde{y}_k = \Omega_k + \tilde{n}_k, \quad \tilde{n}_k - \text{ДБГШ с дисперсией } \sigma_n^2 = \frac{\tilde{N}_0(q_{c/n_0})}{2T}$$

3. Записать уравнения оптимальной фильтрации для дискретного времени:  $\hat{\Omega}_k = \dots, \hat{v}_k = \dots$

4. Смоделировать входное воздействие и оптимальную систему ЧАП в дискретном времени при следующих параметрах:

$$q_{c/n_0} = 10^{0,1 \cdot (30 \text{ дБГц})}, \quad \mathbf{D}_0 = \begin{vmatrix} (34 \text{ рад/с})^2 & 0 \\ 0 & (340 \text{ рад/с}^2)^2 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} \Omega_0 \\ v_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 100 \\ 100 \end{vmatrix}$$

5. Построить график зависимости истинной доплеровской частоты от времени:  $\Omega_k(t_k), t = 0..10$ .
6. Построить график зависимости среднеквадратичной ошибки фильтрации частоты от времени:  

$$\sqrt{D_{11}}(t_k), t = 0..10 \text{ с}$$
(До установившегося режима, когда  $D_{11} \approx const$  )
7. Построить мгновенную ошибку фильтрации частоты от времени:  

$$\varepsilon_{\Omega}(t_k) = \hat{\Omega}_k - \Omega_k, t = 0..10 \text{ с}$$
8. Для установившегося режима сравнить  $D_{11}$  и дисперсию ошибки, рассчитанную по графику  $\varepsilon_{\Omega}$  (сделать вывод).

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: применять методы статистического синтеза для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей</p>	<p>1. На любом удобном языке программирования (по желанию) записать код шага оценивания линейного фильтра Калмана  2. Изобразить структурную схему непрерывного линейного фильтра 2-го порядка с одним входом  3. Записать уравнения непрерывного линейного фильтра 2-го порядка с двумя входами</p>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

## КМ-4. Оптимальная нелинейная фильтрация

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам выдается задание и указания по его выполнению в письменной форме. Они его выполняют и сдают отчет с выводом алгоритма и результатами его программной реализации.

### Краткое содержание задания:

#### Моделирование системы нелинейной фильтрации фазы и амплитуды

Дано:

$\omega = 1 \text{ c}^{-1}$  – ширина спектра фазовой ускорения;

$T = 10 \text{ мс}$  (срок фильтрации),  $T_f = 0.2 \text{ мс}$  (срок работы АФТ)

$\omega_n = 2\pi \cdot (1602 \text{ МГц})$  – несущая частота (для расчетов);

$\omega_s = 2\pi \cdot (2 \text{ МГц})$  – промежуточная частота;

$\sigma_s = 10 \text{ мс}^2 \Rightarrow S_s = 2\sigma_s \left( \frac{\omega_n}{\omega_s} \right)^2$ ,  $\sigma_s^2 = \frac{S_s}{2T}$

$\sigma_n = 1$ ,  $\sigma_\omega = 0.5$ ,  $\sigma_{\omega_n} = 10^{10} \text{ рад}^2/\text{с}^2$ ;  $\sigma_a = \frac{\omega_n}{2\sqrt{B_{\text{эф}} T_f}} = 35.4$

1. Смоделировать входное воздействие и дискретизировать нелинейную систему фильтрации фазы и амплитуды в дискретном времени при следующих начальных условиях:

$$D_0 = \begin{bmatrix} 0.3^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_s^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (24 \text{ рад}^2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_\omega^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (340 \text{ рад}^2/\text{с}^2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\omega_n}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_n^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\omega_n}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\omega_n}^2 \end{bmatrix}$$

Амплитуду моделировать ступенчатой:

$$a_i = \begin{cases} 1, & \text{при } i_1 < 1; \\ 0.5, & \text{при } i_1 \geq 1; \end{cases}$$

2. Построить на одном графике временные зависимости

- мгновенной ошибки фильтрации фазы  $\epsilon_\phi(t) = \theta_t - \hat{\theta}_t$ ;

- предельные границы ошибок фильтрации фазы по уровню  $3\sigma$

(по оценкам матрицы дисперсий фильтра  $D_{\phi,t}$ ):

$$\pm 3\sqrt{D_{\phi,t}(t)}, \quad \pm 3\sqrt{D_{\theta,t}(t)}, \quad t = 0..2 \text{ c}$$

(по оси ординат - градуса).

3. Построить на одном графике временные зависимости

- мгновенной ошибки фильтрации амплитуды  $\epsilon_a(t) = \hat{a}_t - a_t$ ;

- предельные границы ошибок фильтрации амплитуды по уровню  $3\sigma$

(по оценкам матрицы дисперсий фильтра  $D_{a,t}$ ):

$$\pm 3\sqrt{D_{a,t}(t)}, \quad \pm 3\sqrt{D_{a,t}(t)}, \quad t = 0..2 \text{ c}$$

(по оси ординат - деления).

4. Построить на одном графике временные зависимости

- мгновенной ошибки частоты с д.з.  $\epsilon_\omega(t) = \hat{\omega}_t - \omega_t$ ;

- предельные границы ошибок частоты по уровню  $3\sigma$

(по оценкам матрицы дисперсий фильтра  $D_{\omega,t}$ ):

$$\pm 3\sqrt{D_{\omega,t}(t)}, \quad \pm 3\sqrt{D_{\omega,t}(t)}, \quad t = 0..2 \text{ c}$$

(по оси ординат - рад/с).

5. Сравнить ошибки частоты с д.з. №3 – сделать вывод о том, в какой системе ошибки оценивания частоты выше при прочих равных условиях.

6. Сделать общие выводы о том, что происходит в системе при падении амплитуды сигнала (уменьшении отношения с/ш)

Figure 2 Текст задания

### Контрольные вопросы/задания:

**Уметь:** применять полученную информацию при разработке алгоритмов обработки сигналов в аппаратуре СРНС

1. Записать произвольное нелинейное динамическое уравнение многомерного марковского процесса.
2. Наблюдается гармонический сигнал в дискретном времени на фоне белого гауссовского шума. Отклонение частоты сигнала от номинальной дается винеровским процессом. Требуется найти алгоритм оценивания фазы этого сигнала. Записать постановку задачи и её решение методами оптимальной нелинейной фильтрации
3. На любом удобном языке программирования (по желанию) записать код шага оценивания расширенного фильтра Калмана

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-5. Оптимальная комплексная фильтрация

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 20**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам выдается задание и указания по его выполнению в письменной форме. Они его выполняют и сдают отчет с выводом алгоритма и результатами его программной реализации.

**Краткое содержание задания:**

**Реализовать комплексирование в фильтре системы линейной фильтрации ФАП и амплитуды из гл.3, №4**

Дано: вид связи, что в гл.3, №4.  
 Добавляется входная информация от ИНС:  
 $\gamma_1, \dots, \gamma_N, \Delta_k$  - измеренные радиальные ускорения в процессе к фазе;  
 $\delta_k$  - измеренные угловые скорости радиального ускорения от ИНС;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значение фазы;  
 $\delta_k, \delta_k'$  - ДИГ ИС с линейной С;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения координат фазовой привязки ускорения;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения координат фазовой привязки ускорения;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения координат фазовой привязки ускорения;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения координат фазовой привязки ускорения;

1. Провести синтез комплексного фильтра ФАП по модифицированному алгоритму комплексирования фазовых элементов [3]. Подсчитать:  
 $\gamma_1, \dots, \gamma_N, \Delta_k$  - значения фазовых элементов;  
 $\delta_k, \delta_k'$  - координатный СП, который вычисляется в векторной форме;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;  
 Задать на графике полученные значения в векторно-матричном виде, как на слайде 7 (таблица 11).  
 Сопоставить входные и выходные значения подпрограммы от ИНС и схему ФАП с подпрограммой.  
 Амплитуду модифицировать  $\delta_k, \delta_k'$  при  $\delta_k < \delta_k'$  - ступенчатой;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;

Начальные условия для моделирования:  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;

2. Построить на одном графике временные зависимости:  
 - измеренные радиальные ускорения  $\gamma_1, \dots, \gamma_N, \Delta_k$  и погрешности измерений радиального ускорения от ИНС  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - измеренные угловые скорости радиального ускорения от ИНС  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - значения фазовых элементов  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - значения координат фазовой привязки ускорения  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - значения координат фазовой привязки ускорения  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - значения координат фазовой привязки ускорения  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - значения координат фазовой привязки ускорения  $\delta_k, \delta_k'$ ;

3. Построить на одном графике реализации истинного радиального ускорения  $\gamma_1, \dots, \gamma_N, \Delta_k$  и погрешности измерений радиального ускорения от ИНС  $\delta_k, \delta_k'$ ;

4. Выписать, как и во сколько раз изменилась дисперсия ошибки фазы  $\delta_k, \delta_k'$  на протяжении с.г.в. №4 в установившемся режиме до и после скачка амплитуды;  
 - значения фазовых элементов  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - значения координат фазовой привязки ускорения  $\delta_k, \delta_k'$ ;  
 - значения координат фазовой привязки ускорения  $\delta_k, \delta_k'$ ;

5. Рассчитать выходы в поперечности ФАП (рис. 1);  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;  
 $\delta_k, \delta_k' = \delta_k + \delta_k'$  - значения фазовых элементов;

Figure 3 Текст задания

**Контрольные вопросы/задания:**

**Уметь:** применять статистические методы анализа радиотехнических систем и устройств для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей

- Записать модель измерений 3-осевого акселерометра, включающую:
  - смещения нулей;
  - ошибки масштабных коэффициентов
- Записать модель измерений 3-осевого датчика угловых скоростей, включающую:
  - смещения нулей;
  - шум;
  - перекосы осей
- Изобразить тесно связанную схему комплексирования приемника СРНС и ИНС и пояснить принцип её работы

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 9 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Как преобразуются ПВ распределения случайных величин при их функциональном преобразовании?
2. Вывод рекуррентного уравнения для АПВ дискретных марковских процессов (уравнения Стратоновича в дискретном времени)

### Процедура проведения

Устный экзамен в соответствии с действующим "Положением о промежуточной аттестации обучающихся в ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры"

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов

#### Вопросы, задания

1. Каков метод расчета шумовой полосы непрерывной следящей системы?
2. Изложите метод дискриминаторов при решении задачи оценивания параметров радиосигнала.
3. В чем заключается модернизированный вариант комплексирования при комплексной обработке информации СРНС/ИНС?

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Случайный процесс можно полностью охарактеризовать

Ответы:

а) спектральной плотностью мощности; б) автокорреляционной функцией; в) набором его реализаций; г) совместной плотностью вероятности всех его отсчетов; д) апостериорной плотностью вероятности.

Верный ответ: г)

2. Узкополосный сигнал - это такой сигнал

Ответы:

а) который можно описать немодулированным гармоническим колебанием б) у которого эффективная ширина спектра много меньше несущей частоты в) который занимает полосу меньше 1 кГц

Верный ответ: б)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-1</sub> Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров

#### Вопросы, задания

1. Применяя методы статистического синтеза поставить и решить задачу обнаружения сигнала СРНС со случайной фазой, полагая остальные параметры сигнала известными

2. Применяя информацию пройденного курса разработать алгоритм выделения границ символов навигационного сообщения в аппаратуре приема сигналов СРНС
3. Применяя методы статистического синтеза поставить и решить задачу обнаружения сигнала СРНС со случайной задержкой, полагая остальные параметры сигнала известными
4. Применяя методы статистического синтеза поставить и решить задачу обнаружения сигнала СРНС со случайной задержкой, частотой, начальной фазой и амплитудой.
5. Провести синтез дискриминатора задержки радионавигационного сигнала и построить его дискриминационную характеристику
6. Провести синтез сглаживающего фильтра системы слежения за фазой 3-го порядка. Значения коэффициентов фильтра задать исходя из того, что отношение сигнал/шум равно 40 дБГц, среднеквадратичное приращение ускорения за 1 секунду составляет 1g.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Оценивание в теории статистических решений - это

Ответы:

- а) нелинейная фильтрация
- б) оценка параметров сигнала
- в) принятие решения о значении информативного параметра

Верный ответ: в)

2. Наибольшая различимость достигается для бинарных сигналов с манипуляцией

Ответы:

- а) Амплитуды
- б) Частоты
- в) Задержки
- г) Фазы на 180 градусов

Верный ответ: г)

### 3. Компетенция/Индикатор: ИД-1<sub>ПК-2</sub> Знает алгоритмы и типовые методики имитационного моделирования процессов в подсистемах радиоэлектронных систем и комплексов

#### Вопросы, задания

1. Какие Вы знаете алгоритмы оптимальной обработки сигналов в аппаратуре потребителей СРНС?
2. Какие Вы знаете критерии для синтеза оптимальных алгоритмов обработки сигналов в аппаратуре потребителей СРНС?
3. Какие вы знаете методы и алгоритмы имитационного моделирования процессов в устройствах обработки сигналов?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Потенциальная точность оценивания задержки радионавигационного сигнала определяется

Ответы:

- а) отношением сигнал/шум и эффективной длительностью сигнала б) отношением сигнал/шум и эффективной шириной спектра сигнала в) отношением сигнал/шум и вероятностью ложной тревоги г) уровнем боковых лепестков АКФ дальномерного кода д) доплеровским смещением частоты сигнала

Верный ответ: б)

2. При приеме радионавигационного сигнала с неизвестной фазой используется

Ответы:

- а) метод максимального правдоподобия б) синфазный и квадратурный каналы коррелятора в) метод Ньютона г) многоуровневое квантование

Верный ответ: б)



3. Потенциальная точность оценивания частоты радионавигационного сигнала определяется

Ответы:

а) отношением сигнал/шум и эффективной длительностью сигнала б) отношением сигнал/шум и эффективной шириной спектра сигнала в) отношением сигнал/шум и вероятностью ложной тревоги г) количеством символов дальномерного кода д) абсолютным доплеровским смещением частоты сигнала

Верный ответ: а)

**4. Компетенция/Индикатор:** ИД-4<sub>ПК-2</sub> Умеет выполнять анализ и оптимизацию характеристик радиосигналов и параметров подсистем радиоэлектронных систем и комплексов

### Вопросы, задания

1. Применяя статистические методы анализа радиотехнических систем и устройств вывести выражение для дисперсии ошибки слежения за частотой сигнала СРНС в системе ЧАП 2-го порядка

2. Оптимизировать коэффициенты системы ФАП 3-го порядка для приема радионавигационного сигнала, модулированного навигационным сообщением, с отношением сигнал/шум 35 дБГц. Динамика изменения фазы такова, что среднеквадратичное приращение ускорения за 1 секунду составляет 1g.

3. Какой максимальный шаг дискретизации можно выбрать при фильтрации частоты радионавигационного сигнала с помощью системы ЧАП 2-го порядка с шумовой полосой 2 Гц?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Вероятность ложной тревоги при обнаружении сигнала определяются

Ответы:

а) отношением сигнал/шум б) длительностью символа дальномерного кода в) доплеровской частотой сигнала г) порогом обнаружения д) эффективной шириной спектра сигнала

Верный ответ: а) и г)

2. В задаче обнаружения радионавигационного сигнала часто используют критерий

Ответы:

а) минимума дисперсии ошибки б) Стьюдента в) Байеса г) Фишера д) Неймана-Пирсона е) Сильвестра

Верный ответ: д) и в)

3. Навигационный спутник движется относительно приемной антенны с постоянным ускорением. Минимальный требуемый порядок астатизма системы слежения за фазой сигнала от спутника:

Ответы:

а) 0-й б) 1-й в) 2-й г) 3-й д) 4-й

Верный ответ: г)

## II. Описание шкалы оценивания

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих