

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 Юнаков Л. П.  
 (подпись) ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Направление/специальность подготовки	24.05.06 Системы управления летательными аппаратами
Специализация/профиль/программа подготовки	Системы управления беспилотными летательными аппаратами
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	4	144	51	34	0	17	93	36	0	57	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.05.06 Системы управления летательными аппаратами**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Лемешонок Татьяна Юрьевна, к.т.н., доцент, доцент

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-7 — способность на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательными аппаратами различного назначения, как объектов ориентации, стабилизации, навигации, управления движением, а также создавать математические модели, позволяющие прогнозировать тенденцию их развития как объектов управления и тактики их применения
ПСК-2.5 — Способность к разработке структуры систем управления БПЛА
ПСК-2.6 — Способность к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-7**

*знания:*

знать методы и алгоритмы оптимальной обработки информации, используемые в задачах оценки состояния и параметров объектов различных типов;

*умения:*

применять методы и алгоритмы обработки информации, синтеза управления в динамических системах;

*навыки:*

основными методами анализа и синтеза систем автоматического управления движением объектов.

### **ПСК-2.5**

*знания:*

знать методы анализа и синтеза управляемых динамических систем;

*умения:*

применять методы и алгоритмы обработки информации, синтеза управления в динамических системах;

*навыки:*

определять состояние и оценивать параметры движения объектов различных типов.

### **ПСК-2.6**

*знания:*

знать методы анализа и синтеза управляемых динамических систем;

знать критерии управляемости и наблюдаемости;

знать методы модального управления при полной информации о векторе состояния системы;

знать методы модального управления при неполной информации о векторе состояния системы;

знать алгоритмы фильтрации;

*умения:*

решать задачи анализа и синтеза систем управления ЛА;

*навыки:*

основными методами анализа и синтеза систем автоматического управления движением объектов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.06 *Системы управления летательными аппаратами*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ДИНАМИКА ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ДИНАМИКА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БПЛА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИНАМИКЕ ПОЛЕТА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности, для решения инженерных задач
- ПСК-2.1 — Способность к проведению научных исследований и разработке проектных решений в области динамики и систем управления БПЛА
- ПСК-2.2 — Способность к разработке методик исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов
- ПСК-2.5 — Способность к разработке структуры систем управления БПЛА
- ПСК-2.6 — Способность к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-7	ПСК-2.5	ПСК-2.6
4	8	Раздел 1. Основы теории оценивания. 1.1 Примеры и постановка линейной и нелинейной задач оценивания постоянных параметров при обработки информации. 1.2 Решение задач оценивания на основе детерминированного подхода. Метод наименьших квадратов.	28	8	4	4	20	25	25	25
4	8	Раздел 2. Структурный синтез САУ из условия минимума среднеквадратической ошибки. Постановка задачи структурного синтеза САУ. Фильтр Винера. Необходимые и достаточные условия оптимальности. Решение уравнения Винера-Хопфа без учета условия физической осуществимости. Решение уравнения Винера-Хопфа с учетом физической осуществимости.	33	10	8	2	23	25	25	25
4	8	Раздел 3. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр Калмана. Оптимальная линейная фильтрация. Постановка задачи оптимальной линейной фильтрации. Непрерывный фильтр Калмана. Оценивающее устройство на основе непрерывного фильтра Калмана для контура стабилизации угла крена. Дискретный фильтр Калмана. Построение дискретного фильтра Калмана для системы стабилизации угла крена. Проблемы настройки фильтра Калмана. Причины расходимости фильтра Калмана.	57	27	16	11	30	25	25	25
4	8	Раздел 4. Общие сведения о нелинейной фильтрации. Рекуррентные оптимальные байесовские алгоритмы фильтрации. Постановка и общее решение задачи рекуррентной оптимальной фильтрации. Рекуррентное соотношение для апостериорной плотности в нелинейной задаче фильтрации. Выводы соотношений для фильтра Калмана, свойства оптимальных оценок.	26	6	6	0	20	25	25	25
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	100	100	100
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Основы теории оценивания.	Аппроксимация коэффициента лобового сопротивления методом наименьших квадратов. Методические указания по написанию программы расчета в среде Matlab.	4
2	Раздел 2. Структурный синтез САУ из условия минимума среднеквадратической ошибки.	Примеры решения задач с помощью фильтра Винера.	2
3	Раздел 3. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр Калмана.	Построение наблюдающего устройства на основе метода модального управления при неполной информации о векторе состояния. Методические указания по написанию программы расчета в среде Matlab.	2
4		Построение непрерывного Фильтра Калмана. Методические указания по написанию программы расчета в среде Matlab.	4
5		Построение дискретного фильтра Калмана. Методические указания по написанию программы расчета в среде Matlab.	5
Всего за 8 семестр			17

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Основы теории оценивания.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программы	20

		расчета в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	
2	Раздел 2. Структурный синтез САУ из условия минимума среднеквадратической ошибки.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программ в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	23
3	Раздел 3. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр Калмана.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программ в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	30
4	Раздел 4. Общие сведения о нелинейной фильтрации. Рекуррентные оптимальные байесовские алгоритмы фильтрации.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программ в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	20
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>93</b>

### 3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Постановка задачи. Анализ научно-технической литературы по теме задания на КП. Разработка методики решения задачи.	1 - 9	18
Этап 2. Разработка алгоритма решения задачи. Разработка программного кода. Реализация разработанной программы на ПК. Анализ результатов исследований. Оформление пояснительной записки и презентации к докладу.	10 - 17	18
<b>Всего за 8 семестр</b>		<b>36</b>

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8			ТекК		Отч. по ПЗ	ДР	ТекК	Отч. по ПЗ	КП, ТекК	ДР		Отч. по ПЗ		ТекК	Отч. по ПЗ	ДР	КП, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- КП – курсовой проект;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. В. Матвеев, В. Я. Распопов. . Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб.: Изд-во ЦНИИ "Электроприбор", 2009, эл. рес.
2. В. И. Козлов. . Системы автоматического управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1979, 10 экз.
3. И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 37 экз.
4. И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, эл. рес.
5. Н. П. Деменков. . Статистическая динамика систем управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, 35 экз.
6. С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 71 экз.
7. С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. В. В. Рыжаков, М. В. Рыжаков. . Стохастические методы идентификации и оценивания характеристик средств измерения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015, 1 экз.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
2. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
3. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
4. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
5. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. MATLAB R 2015a.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. MATLAB R 2015a.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению **24.05.06 Системы управления летательными аппаратами**. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-7 способность на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательными аппаратами различного назначения, как объектов ориентации, стабилизации, навигации, управления движением, а также создавать математические модели, позволяющие прогнозировать тенденцию их развития как объектов управления и тактики их применения;

ПСК-2.5 Способность к разработке структуры систем управления БПЛА;

ПСК-2.6 Способность к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами анализа и синтеза комплексов и систем управления ракет и космических аппаратов, а именно, с методами и алгоритмами оптимальной обработки информации, используемыми в задачах оценки состояния и параметров объектов различных типов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Основы теории оценивания.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программы расчета в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	В. В. Рыжаков, М. В. Рыжаков. . Стохастические методы идентификации и оценивания характеристик средств измерения: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015 (2) Н. П. Деменков. . Статистическая динамика систем управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (4)	20
Итого по разделу 1		20
<b>Раздел 2. Структурный синтез САУ из условия минимума среднеквадратической ошибки.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программ в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (2) Н. П. Деменков. . Статистическая динамика систем управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (2) С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2)	23
Итого по разделу 2		23
<b>Раздел 3. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр Калмана.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программ в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	Н. П. Деменков. . Статистическая динамика систем управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (3) В. В. Матвеев, В. Я. Распопов. . Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем: СПб.: Изд-во ЦНИИ "Электроприбор", 2009 (5) С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (3)	30

	<p>В. И. Козлов. . Системы автоматического управления летательными аппаратами: М.: Машиностроение, 1979 (4,6)</p> <p>И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4)</p> <p>И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4)</p> <p>С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (3)</p>	
Итого по разделу 3		30
<b>Раздел 4. Общие сведения о нелинейной фильтрации. Рекуррентные оптимальные байесовские алгоритмы фильтрации.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Написание программ в среде Matlab. Оформление отчетов по практическим заданиям.	<p>С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (5)</p> <p>Н. П. Деменков. . Статистическая динамика систем управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (5)</p>	20
Итого по разделу 4		20

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект;
- дифференцированный зачет.

### **Критерии оценивания**

#### **Диагностическая работа**

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### **Отчет по практическому заданию**

Комплект практических заданий входит в состав УМК дисциплины.

Практическое задание (ПЗ) считается выполненным, если студент полностью выполнил все пункты ПЗ. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненному заданию и ответов на вопросы преподавателя.

При оформлении практических заданий требуется руководствоваться следующими рекомендациями:

-В начале описательной части отчета излагается содержание, приводятся схема, математическая модель, исходные данные для расчетного варианта, метод решения.

-Все вычисления проводятся подробно, сопровождаясь необходимыми пояснениями. Все вычисления заносятся в таблицы.

-Табличные данные представляются также в виде графиков, условные обозначения и размерности откладываемых по осям величин указываются в принятых по ГОСТ сокращениях.

-При выполнении расчетов с использованием ЭВМ нужно обязательно приводить распечатки (листинг) программ.

-По каждому ПЗ студент должен представить выводы на основании выполненных расчетов.

Студент обязан выполнять все ПЗ в срок и сдавать их преподавателю согласно графику мероприятий межсессионного контроля.

Отчет по ПЗ считается принятым в случае, если оформление отчета соответствует указанным требованиям, и студент ответил не менее чем на 60% вопросов преподавателя по теме ПЗ.

Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала.

#### **Вопросы для текущего контроля**

Студенту предлагается 3 вопроса по учебному материалу соответствующего раздела программы дисциплины, на которые необходимо дать правильный ответ.

Вопросы для текущего контроля приведены в УМК дисциплины.

#### **Курсовой проект**

Защита курсового проекта проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Курсовой проект не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов.

Оценка за курсовой проект проставляется по пятибалльной системе:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП, и ответил на все вопросы преподавателя, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП;

- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП, и ответил на 50% вопросов преподавателя, связанные с материалами, изложенными в

пояснительной записке к КП;

- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП, но не ответил на вопросы преподавателя, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП.

### **Дифференцированный зачет**

Промежуточный контроль по дисциплине проходит в форме дифференцированного зачета.

Допуск к дифференцированному зачету оформляется при условии полного выполнения всех мероприятий, предусмотренных графиком контрольных мероприятий.

Дифференцированный зачет проводится в форме ответов на два вопроса. Комплект вопросов входит в состав УМК дисциплины.

Итоги сдачи дифференцированного зачета оцениваются следующим образом:

- полный правильный ответ на оба вопроса – зачтено-отлично;
- полный правильный ответ на один из вопросов с дополнительным собеседованием по второму – зачтено-хорошо;
- неполные ответы на оба вопроса с дополнительным собеседованием по их тематике – зачтено-удовлетворительно;
- неправильные ответы и не готовность к собеседованию по темам билета – не зачтено.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %			НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-7	ПСК-2.5	ПСК-2.6	
4	8	Раздел 1. Основы теории оценивания.	28	8	4	4	20	25	25	25	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 2. Структурный синтез САУ из условия минимума среднеквадратической ошибки.	33	10	8	2	23	25	25	25	Вопросы для текущего контроля
4	8	Раздел 3. Оптимальная линейная фильтрация. Фильтр Калмана.	57	27	16	11	30	25	25	25	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию, Курсовой проект
4	8	Раздел 4. Общие сведения о нелинейной фильтрации. Рекуррентные оптимальные байесовские алгоритмы фильтрации.	26	6	6	0	20	25	25	25	Вопросы для текущего контроля, Курсовой проект
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	100	100	100	
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-7

#### Вопросы открытого типа:

- № 1 Для чего нужен фильтр Винера?
- № 2 В чем суть метода модального управления?
- № 3 Какая система называется «полностью наблюдаемой»?
- № 4 Дано уравнение измерения:  $Z(t) = C(t)X(t) + V(t)$ . Ответьте по порядку, как называется каждая переменная, входящая в данное уравнение.
- № 5 Что такое априорная матрица ошибок оценивания?
- № 6 Напишите пропущенное слово:
- Уменьшение ошибки, обусловленное самой системой, сопровождается обычно \_\_\_\_\_ ошибки, обусловленной помехой.
- № 7 Напишите пропущенное слово:
- Среднеквадратическая ошибка (СКО), которая является результатом совместного действия всех сигналов (полезного и помехи), при проектировании оптимальной системы автоматического управления должна быть \_\_\_\_\_.
- № 8 Решить уравнение Винера-Хопфа, значит найти какую функцию?
- № 9 Как называется уравнение, представленное ниже, записанное в терминах пространства состояний:  $Z(t) = H(t)X(t) + V(t)$ ?
- № 10 Верно ли утверждение, что исходная система является полностью наблюдаема, если все координаты текущего вектора состояния  $X(t)$  могут быть восстановлены по результатам измерения  $Z(s)$ , где

$$s \leq t$$

?

#### Вопросы закрытого типа:

- № 1 Выберете из списка сигналы, которые воспринимаются автопилотом как "полезные":

- a. турбулентность атмосферы
  - b. случайные неоднородности
  - c. шумы измерительных устройств
  - d. шумы усилителей
  - e. шумы на входе информационных систем
- № 2 Задача линейного оценивания.

Задан постоянный вектор  $x$ ,

$$\dot{x} = 0$$

Вектор измерения определяется уравнением  $y = Hx + V$ , где  $V$  - вектор ошибок измерения. Требуется найти оценку какого неизвестного вектора?

- a.  $x$
  - b.  $y$
  - c.  $H$
  - d.  $V$
  - e.  $Hx$
- № 3 Сделайте верное соотношение.

1.



$$J(x) = (y - s(x))^T (y - s(x))$$

2.

$$J(x) = (y - s(x))^T Q (y - s(x))$$

3.

$$J(x) = (y - s(x))^T Q (y - s(x)) + (x - \bar{x})^T D (x - \bar{x})$$

4. Матрица  $Q$  в критерии  $J(x)$  является

5. Матрица  $D$  в критерии  $J(x)$  является

a. Критерий метода наименьших квадратов (МНК)

b. Критерий обобщенного метода наименьших квадратов (ОМНК)

c. Критерий модифицированного метода наименьших квадратов (ММНК)

d. Весовая матрица

e. Матрица штрафов

№ 4

Сделайте верное соответствие:

1.

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{hz}(jw)}{S_z(w)} e^{jw t} dt$$

2.

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(jw) e^{jw t} dt$$

a. Импульсная переходная функция без учета условия физической осуществимости

b. Импульсная переходная функция с учетом условия физической осуществимости

c. Частотная характеристика без учета условия физической осуществимости

d. Частотная характеристика с учетом условия физической осуществимости

№ 5

Сделайте верное соответствие:

1.

$$\Phi(jw) = \frac{S_{hz}(jw)}{S_z(w)}$$

2.

$$\Phi(jw) = \frac{1}{\Psi(jw)} \left[ \frac{S_{hz}(jw)}{\Psi(-jw)} \right]^+$$

a. Импульсная переходная функция без учета условия физической осуществимости

- б. Импульсная переходная функция с учетом условия физической осуществимости
- с. Частотная характеристика без учета условия физической осуществимости
- д. Частотная характеристика с учетом условия физической осуществимости
- № 6 Уравнение Винера-Хопфа выглядит следующим образом:

$$\int_0^{\infty} G(\lambda) K_z(\tau - \lambda) d\lambda = K_{hz}(\tau)$$

для

$$\tau \geq 0$$

. Выберите, что в этом уравнении является известными функциями?

а.

$$K_{hz}(\tau)$$

б.

$$K_z(\tau - \lambda)$$

с.

$$G(\lambda)$$

д. Все функции известны

е. Все функции неизвестны

- № 7 В чем заключается задача синтеза управления для системы

$$\dot{x} = (A - BL)x$$

?

а. Выбор матрицы L

б. Выбор матрицы A

с. Выбор матрицы B

д. Выбор вектора x

е. Выбор матрицы A и B

- № 8 Постановка задачи синтеза САУ: среди всех.....линейных стационарных систем найти ту, которая доставляет минимум дисперсии ошибки

а. импульсных переходных функций

б. линейных функций

с. нелинейных функций

д. оптимальных функций

е. спектральных функций

ф. корреляционных функций

№ 9 Выберите сигнал, который формируется на выходе оптимального фильтра.

a.  $Z(t)$

b.  $X(t)$

c.

$$\hat{\tilde{X}}(t)$$

d.  $V(t)$

e.

$$\hat{\tilde{Y}}(t)$$

№ 10 Выберите верные утверждения.

a. Любой фильтр обязан подавлять помехи.

b. Любой фильтр обязан подавлять помехи с наименьшими искажениями.

c. Любой фильтр обязан подавлять помехи и с наименьшими искажениями пропускать полезный сигнал.

d. Фильтр дает оценку полезного сигнала.

e. Фильтр дает оптимальную оценку полезного сигнала.

### ПСК-2.5

*Вопросы открытого типа:*

№ 1 Вставить пропущенные слова из предложенных, чтобы получилось верное определение:

\_\_\_\_\_ фильтр Калмана является \_\_\_\_\_ системой, формулируется в терминах \_\_\_\_\_, т.е. алгоритм фильтрации представляет собой систему \_\_\_\_\_ дифференциальных уравнений представленных в форме Коши, разрешенных относительно \_\_\_\_\_ производных.

динамический оптимальный классический обыкновенный нелинейной дискретной линейной расширенной классической теории автоматического управления пространства состояний классической теории фильтрации оптимальной фильтрации нелинейных квадратных линейных случайных первых вторых третьих главных

№ 2 Что такое апостериорная матрица ошибок оценивания?

№ 3 Оценка

$$\hat{x}(k|k)$$

известна для некоторого  $k$ . Требуется определить оценку

$$\hat{x}(k+1|k+1)$$

при известном  $z(k+1)$ . Какой будет алгоритм дискретного фильтра Калмана?

№ 4 Когда используются фильтр Мехра?

№ 5 Когда используются фильтр Луенбергера?

№ 6 Для системы были получены следующие матрицы:

$$A(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix},$$

- состояния,

$$G(t) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- возмущения,

$$H(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- измерения.

Сколько скалярных уравнений Риккати нужно решить для реализации фильтра Калмана для данной системы?

№ 7

Сколько уравнений из представленных не являются уравнениями непрерывного фильтра Калмана?

$$K(t) = P(t)H^T(t)R^{-1}(t) = p \cdot 1 \cdot \frac{1}{r} = \frac{p}{r}.$$

$$\dot{\hat{x}}(t) = \mu \hat{x}(t) + \frac{p(t)}{r} [z(t) - \hat{x}(t)],$$

$$\hat{\dot{x}}(t | t_1) = -\mu \hat{x}(t | t_1)$$

$$\dot{\hat{x}}_1 = \frac{p_{12}}{r} (z - \hat{x}_2),$$

$$\dot{\hat{x}}_2 = \hat{x}_1 + \frac{p_{22}}{r} (z - \hat{x}_2).$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_{12} \\ r \\ p_{22} \\ r \end{bmatrix} \left( z - \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} \right),$$

№ 8

Заданы уравнения, записанные в пространстве состояний:

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + G(t)W(t) + B(t)U(t)$$

$$Z(t) = H(t)X(t) + V(t).$$

Найдите и запишите вектор ошибки измерения.

№ 9

Верно ли утверждение?

«Основным требованием оптимальной фильтрации является условие, чтобы на выходе некоторой динамической системы действовали возмущения в виде белого шума. В тех случаях, когда входные возмущения отличны от белого шума, необходимо в физическую динамическую систему ввести фиктивную линейную систему, описываемую уравнением соответствующего формирующего фильтра, возбуждаемую фиктивным белым шумом единичной интенсивности».

№ 10

Когда входные возмущения в реальной системе отличны от белого шума, необходимо в физическую динамическую систему ввести фиктивную линейную систему, возбуждаемую фиктивным белым шумом единичной интенсивности. Справедливо ли это утверждение для случая калмановской фильтрации?

Вопросы закрытого типа:

№ 1

Задача оценки имеет несколько частных случаев, определяемых соотношением моментов времени измерения  $z(t_1)$  и выработки оценки

$$\hat{x}(t)$$

. Сделайте верное соответствие:

1. использование всех сигналов измерения до  $z(t_1)$  включительно для выработки вектора оценок в момент времени  $t$  ( $t=t_1$ )
  2. получение вектора оценок в некоторый прошедший момент времени  $t$  на основании всей имеющейся к моменту  $t_1$  информации ( $t<t_1$ )
  3. получение вектора оценок после поступления последнего измерения  $z(t_1)$  ( $t>t_1$ ).
    - a. задача фильтрации
    - b. задача сглаживания
    - c. задача предсказания
- № 2 По величинам диагональных элементов какой матрицы можно судить об эффективности применения оптимального фильтра в конкретной системе?
- a.  $P(t)$
  - b.  $C(t)$
  - c.  $K(t)$
  - d.  $R(t)$
  - e.  $Q(t)$
- № 3 Выберите верное соответствие:
1.  $\Gamma(k+1, k)$
  2.  $\Psi(k+1, k)$
  3.  $\{w(0), w(1), \dots\}$
  4.  $\{u(0), u(1), \dots\}$
  5.  $\{x(1), x(2), \dots\}$
  6.  $\{z(1), z(2), \dots\}$
  7.  $\nu(1), \nu(2), \dots$
- a. переходная матрица возмущения
  - b. переходная матрица управления
  - c. возмущающая последовательность
  - d. управляющая последовательность
  - e. последовательность состояния
  - f. последовательность измерений
  - g. последовательность ошибок измерений
- № 4 Выберите лишнее(ие) утверждение(я).
- Алгоритм фильтра Калмана включает следующие этапы:
- a. Проверить управляемость системы.
  - b. Найти корреляционную матрицу  $P(t)$ .

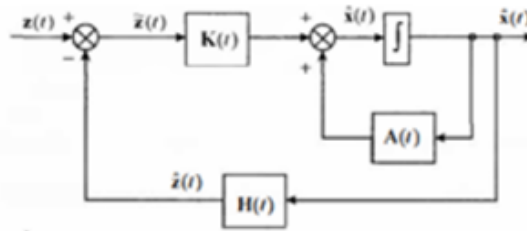
с. Найти матрицу передачи фильтра  $K(t)$ .

d. Все перечисленное справедливо.

е. Проверить наблюдаемость системы.

№ 5

На рисунке представлена структурная схема оптимального линейного фильтра для непрерывных линейных систем



Заполните пропуски словами/словосочетаниями/формулами, приведенными ниже, чтобы получилось верное определение.

Фильтр представляет собой модель 1.\_\_\_\_\_ системы 2.\_\_\_\_\_, возбуждаемую сигналом коррекции от цепи обратной связи 3.\_\_\_\_\_, где 4.\_\_\_\_\_ - невязка измерения, 5.\_\_\_\_\_ - оценка измерения.

a. динамики

b.

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t)$$

c.

$$K(t)z \sim (t)$$

d.

$$z \sim (t) = z(t) - \hat{z}(t)$$

е.

$$z(t) = H(t) - \hat{x}(t)$$

№ 6

Основная причина, вызывающая расходимость в фильтре Калмана состоит в том, что

a. коэффициент передачи фильтра очень быстро стремится к нулю

b. неточно задана матрица состояния

c. присутствуют ошибки округления

d. присутствуют ошибки в вероятностных характеристиках шума

е. неверно заданы неизвестные входные сигналы

№ 7

Дискретный фильтр Калмана работает по методу "коррекции предсказания". Выберите из списка "корректирующий" член.

a.

$$K(k+1)\tilde{z}(k+1|k)$$

b.

$$\Phi(k+1, k)\hat{x}(k|k) + K(k+1)(z(k+1) - C(k+1)\Phi(k+1, k)\hat{x}(k|k))$$

c.

$$z(k+1) - C(k+1)\Phi(k+1, k)\hat{x}(k|k)$$

d.

$$C(k+1)\Phi(k+1, k)\hat{x}(k|k)$$

e.

$$\Phi(k+1, k)\hat{x}(k|k)$$

№ 8 Диагональные элементы ковариационной матрицы случайного вектора  $x$  это

- a. дисперсии элементов случайного вектора  $x$
- b. СКО элементов случайного вектора  $x$
- c. математические ожидания элементов случайного вектора  $x$
- d. корреляции элементов случайного вектора  $x$

№ 9 Для поиска оценки методом наименьших квадратов необходимо

- a. минимизировать сумму квадратов невязок
- b. максимизировать сумму квадратов измерений
- c. максимизировать сумму невязок
- d. минимизировать сумму невязок
- e. минимизировать сумму квадратов измерений

№ 10 Отметьте методы, ошибки которых не зависят от вектора состояния или его погрешностей

- a. МНК
- b. ОМНК
- c. ММНК

#### ПСК-2.6

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Какая динамическая система может называться формирующим фильтром?
- № 2 Для чего используется формула полной вероятности?
- № 3 Чем корреляционный момент отличается от ковариации?
- № 4 Перечислите свойства спектральной плотности.
- № 5 Что называется спектральным разложением стационарного случайного процесса?
- № 6 Верно ли предположение, что в дискретной модели  $w(t)=\text{const}$  и  $v(t)=\text{const}$  для интервала  $t_k \leq t \leq t_{k+1}$
- № 7 Задача линейного оценивания.

Задан постоянный вектор  $x$ ,

$$\dot{x} = 0$$

. Вектор измерения определяется уравнением  $y = Hx + V$ , где  $V$

- вектор ошибок измерения. Требуется найти оценку какого неизвестного вектора?
- № 8 Верно ли утверждение, что в случае, когда ошибки в канале измерения отсутствуют фильтр Калмана не работает и может быть использован фильтр Луенбергера?
- № 9 Для оценки скалярного вектора состояния  $x$  используем измерения, изменяющиеся по закону  $y = 5\sin(t+x)$ . Чему будет равно разностное измерение  $y(x_l)$  при полученном измерении  $y=0$  в момент времени  $t=1$  при выбранной точке линеаризации  $x_l = -1$
- № 10 Верно ли утверждение, что некоррелированные случайные величины являются независимыми?
- Вопросы закрытого типа:
- № 1 Сопоставьте размерности
- Функция правдоподобия
- Функция потерь
- Критерий в виде матожидания от квадратической функции потерь
- Измерения
- Оцениваемые параметры
- Количество информации по Фишеру  $I(x)$
- Шумы измерений
- а. скаляр
- б. вектор
- с. матрица
- № 2 Небайесовские алгоритмы строятся в предположении ...
- а. о случайном характере только ошибок (шумов) измерения
- б. случайном характере только ошибок (шумов) оцениваемого вектора
- с. случайном характере ошибок (шумов) оцениваемого вектора и измерения
- д. об отсутствии априорной информации про характер ошибок (шумов) оцениваемого вектора и измерения
- № 3 Какие свойства небайесовских оценок вектора состояния существуют и играют важную роль в анализе полученной оценки
- а. несмещенность
- б. состоятельность
- с. эффективность
- д. независимость
- е. коммутативность
- ф. неотрицательность
- г. транзитивность
- № 4 Что такое случайный процесс?



- a. Случайным процессом называется случайная функция, аргументом которой является время.
- b. Случайным процессом называется функция, аргументом которой является случайная величина.
- c. Случайным процессом называется совокупность случайных величин.
- d. Случайным процессом называется функция, выходные значения которой однозначно зависят от аргумента
- № 5 e. Случайным процессом называется сумма случайных величин.  
В чем суть метода модального управления?
- a. Основан на управлении исходя из заданного расположения корней характеристического уравнения, причем корни контура управления располагаются правее корней контура наблюдения
- b. Основан на управлении исходя из заданного расположения корней характеристического уравнения, причем корни контура управления располагаются левее корней контура наблюдения
- c. Основан на программном управлении
- d. Основан на оптимальном управлении
- e. Основан на управлении исходя из заданного расположения корней уравнения наблюдения
- № 6 Что характеризует дисперсия СП?
- a. Характеризует поведение процесса в среднем.
- b. Характеризует степень разброса реализаций около его математического ожидания.
- c. Характеризует распределение случайного процесса в фиксированные моменты времени.
- d. Характеризует степень линейной зависимости между двумя сечениями случайного процесса.
- e. Характеризует рассеивание значений процесса во времени относительно среднего значения.
- № 7 Как называется случайный процесс, у которого спектральная плотность постоянна на всех частотах?
- a. Экспоненциально-коррелированный случайный процесс
- b. Окрашенный шум
- c. Стационарный белый шум
- d. Винеровский случайный процесс
- e. Белый шум
- № 8 Почему невозможно реализовать на практике случайный процесс в виде белого шума?
- a. Дисперсия белого шума стремится к бесконечности.
- b. Дисперсия белого шума стремится к нулю.
- c. Интенсивность белого шума стремится к бесконечности.
- d. Спектральная плотность белого шума стремится к бесконечности.

- № 9
- е. Математическое ожидание белого шума стремится к нулю.  
 Выберите верные характеристики стационарного белого шума:
- а. стационарный белый шум - стационарный случайный процесс
  - б. спектральная плотность постоянна
  - в. спектральная плотность переменная
  - г. корреляционная функция равна
 
$$2 \cdot \pi \cdot S_0 \cdot \delta(\tau)$$
  - е. корреляционная функция равна
 
$$2 \cdot \pi \cdot \delta(\tau)$$
- № 10
- Какой случайный процесс называется стационарным?
- а. Случайный процесс называется стационарным, если все вероятностные характеристики случайного процесса не зависят от времени.
  - б. Если совместные плотности распределения вероятности случайного процесса имеют нормальные (гауссовы) законы распределения.
  - в. Это случайный процесс, поведение которого в последующий момент времени определяется только его текущим состоянием и не зависит от предыстории.
  - г. Среднее значение по любому сечению случайного процесса можно заменить на среднее значение по одной достаточно продолжительной реализации.
  - е. Случайный процесс называется стационарным, если все вероятностные характеристики случайного процесса зависят от времени.