

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Моделирование и информационные технологии проектирования ракетно-космических систем
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

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	
5	10	3	108	34	17	0	17	74	0	0	74	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов**

год набора группы: 2024

Программу составили:

Кафедра А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

Бородавкин Вячеслав Александрович, д.т.н., доцент, заведующий  
кафедрой

\_\_\_\_\_

Кафедра А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

Зыков Сергей Александрович, старший преподаватель

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**

Заведующий кафедрой Бородавкин В.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-6 — способность осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
ПСК-16 — способность оценивать вопросы эффективности, надежности и безопасности в процессе эксплуатации РКТ

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-6**

*знания:*

методы и алгоритмы оценки и обработки информации, идентификации параметров объектов ракетно-космической техники;

*умения:*

создавать и анализировать математические модели функционирования объектов ракетной и ракетно-космической техники;

*навыки:*

определение состояния и оценки параметров работы объектов ракетной и ракетно-космической техники.

### **ПСК-16**

*знания:*

современные программные средства для проведения компьютерного моделирования;

*умения:*

создавать и анализировать математические модели функционирования объектов ракетной и ракетно-космической техники;

*навыки:*

владеть методами построения математических моделей профессиональных задач и содержательной интерпретацией полученных результатов;

использовать современные вычислительные компьютерные технологии и работать с программной средой для математического и имитационного моделирования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.01 *Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ РАКЕТНЫХ СИСТЕМ, ДИНАМИКА ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ.**

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
- ПК-94 — способен к управлению информацией и данными, поиску источников информации и данных, восприятию, анализу, запоминанию и передаче информации с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач
- ПСК-11 — Способен анализировать состояние и перспективы развития ракетной и ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных направлений
- ПСК-12 — Способен разрабатывать на базе системного подхода последовательность решения поставленной задачи, проводить проектирование изделий ракетной и ракетно-космической техники, определять внешний облик изделий, состав и объемно-массовые характеристики систем, механизмов и агрегатов, входящих в ракетный или ракетно-космический комплекс
- ПСК-16 — Способен оценивать вопросы эффективности, надежности и безопасности в процессе эксплуатации РКТ

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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-6	ПСК-16
5	10	<b>Раздел 1. Модель динамической системы в пространстве состояний.</b> Объект управления, его состояние, управляющие и возмущающие воздействия. Структура системы управления, закон управления, обратная связь, качество управления. Свойства системы управления: наблюдаемость, управляемость, устойчивость. Математическое описание элементов системы управления: уравнения состояния, наблюдения, управления, оценивающего устройства.	7	2	2	0	5	15	15
5	10	<b>Раздел 2. Метод наименьших квадратов.</b> Уравнение метода наименьших квадратов. Число обусловленности. Аппроксимация экспериментальной зависимости по методу наименьших квадратов. Определение орбиты искусственного спутника Земли с использованием метода наименьших квадратов.	24	8	4	4	16	20	20
5	10	<b>Раздел 3. Оценка вектора состояния на основе метода модального управления.</b> Метод модального управления. Критерий управляемости и наблюдаемости системы. Теорема разделения. Оптимальная оценка вектора состояния, синтез оптимального управления. Оценивающие устройство для контура стабилизации угла крена.	24	8	4	4	16	20	20
5	10	<b>Раздел 4. Оптимальная линейная фильтрация.</b> Постановка задачи оптимальной линейной фильтрации. Теорема Байеса. Свойства оптимального преобразования. Интегральное уравнение Винера-Хопфа, корреляционные матрицы. Упрощения, аналитическое решение уравнения Винера-Хопфа.	7	2	2	0	5	10	10
5	10	<b>Раздел 5. Фильтр Калмана.</b> Непрерывный фильтр Калмана. Оценивающее устройство на основе непрерывного фильтра Калмана для контура стабилизации угла тангажа. Дискретный фильтр Калмана. Построение дискретного фильтра Калмана для системы стабилизации угла крена. Причины расходимости фильтра Калмана.	40	13	4	9	27	25	25
5	10	<b>Раздел 6. Общие сведения о нелинейной фильтрации.</b> Задача оценивания параметров ЛА в нелинейных системах. Фильтр Лайниотиса.	6	1	1	0	5	10	10
Всего за 10 семестр			108	34	17	17	74	100	100
Всего по дисциплине			108	34	17	17	74	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Метод наименьших квадратов.	Аппроксимация закона Сиаичи методом наименьших квадратов	4
2	Раздел 3. Оценка вектора состояния на основе метода модального управления.	Построение оценивающего устройства на основе модального управления.	4
3	Раздел 5. Фильтр Калмана.	Построение дискретного фильтра Калмана для системы стабилизации угла крена.	4
4		Разработка компьютерной модели динамики движения ракеты-мишени с использованием оценивающего устройства на основе непрерывного фильтра Калмана.	5
Всего за 10 семестр			17

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

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Модель динамической системы в пространстве состояний.	изучение лекционного материала по тематике раздела	5
2	Раздел 2. Метод	изучение лекционного материала по тематике раздела	5

3	наименьших квадратов.	подготовка к практической работе № 1 «Аппроксимация закона Сиаучи методом наименьших квадратов», оформление отчёта	11
4	Раздел 3. Оценка вектора состояния на основе метода модального управления.	изучение лекционного материала по тематике раздела	5
5		подготовка к практической работе № 2 «Построение оценивающего устройства на основе модального управления», оформление отчёта	11
6	Раздел 4. Оптимальная линейная фильтрация.	изучение лекционного материала по тематике раздела	5
7	Раздел 5. Фильтр Калмана.	изучение лекционного материала по тематике раздела	5
8		подготовка к практической работе № 3 «Построение дискретного фильтра Калмана для системы стабилизации угла крена», оформление отчёта	11
9		подготовка к практической работе № 4 «Разработка компьютерной модели динамики движения ракеты-мишени с использованием оценивающего устройства на основе непрерывного фильтра Калмана», оформление отчёта	11
10	Раздел 6. Общие сведения о нелинейной фильтрации.	изучение лекционного материала по тематике раздела	5
<b>Всего за 10 семестр</b>			<b>74</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
<b>10</b>				ВПЗ		ДР		ВПЗ		ДР		ВПЗ			ВПЗ	ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

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

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022, 26 экз.
2. В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022, эл. рес.
3. 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.
4. 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.
5. С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 71 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://repository.library.voenmeh.ru/jsrui/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

### 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 2015a SP1;
2. Microsoft Office.

### 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. Проектор;
2. Matlab 2015a SP1;
3. Microsoft Office.

### **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 *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-6 способность осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники;

ПСК-16 способность оценивать вопросы эффективности, надежности и безопасности в процессе эксплуатации РКТ.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с принципами и подходами к определению оценки состояния и параметров летательных аппаратов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**74 ч**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 74 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.
Раздел 1. Модель динамической системы в пространстве состояний.		
изучение лекционного материала по тематике раздела	С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (1) И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1) И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1) В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1) В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1)	5
Итого по разделу 1		5
Раздел 2. Метод наименьших квадратов.		
изучение лекционного материала по тематике раздела	С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (1)	5
подготовка к практической работе № 1 «Аппроксимация закона Сиаиччи методом наименьших квадратов», оформление отчёта		11
Итого по разделу 2		16
Раздел 3. Оценка вектора состояния на основе метода модального управления.		
изучение лекционного материала по тематике раздела	С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (4) В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях:	5
подготовка к практической работе № 2 «Построение оценивающего устройства на основе модального управления», оформление отчёта		11

	СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1) В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1) И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (3) И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (3)	
Итого по разделу 3		16
<b>Раздел 4. Оптимальная линейная фильтрация.</b>		
изучение лекционного материала по тематике раздела	С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (2)	5
Итого по разделу 4		5
<b>Раздел 5. Фильтр Калмана.</b>		
изучение лекционного материала по тематике раздела	С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (3)	5
подготовка к практической работе № 3 «Построение дискретного фильтра Калмана для системы стабилизации угла крена», оформление отчёта	И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4) В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1)	11
подготовка к практической работе № 4 «Разработка компьютерной модели динамики движения ракеты-мишени с использованием оценивающего устройства на основе непрерывного фильтра Калмана», оформление отчёта	В. А. Бородавкин, С. А. Зыков, И. Л. Петрова. . Исследование ракетных систем на компьютерных моделях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1) И. Л. Петрова, А. В. Клочков, Н. Е. Баранов. . Стохастическая фильтрация в задачах динамики полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4)	11
Итого по разделу 5		27
<b>Раздел 6. Общие сведения о нелинейной фильтрации.</b>		
изучение лекционного материала по тематике раздела	С. А. Кабанов. . Оптимизация динамики систем при действии возмущений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (5, 6)	5
Итого по разделу 6		5

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы к экзамену;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- экзамен.

### 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.

#### Вопросы к экзамену

1. Объект управления, его состояние, управляющие и возмущающие воздействия.
2. Структура системы управления ЛА.
3. Законы управления ЛА.
4. Обратная связь, качество управления ЛА.
5. Свойства системы управления: наблюдаемость, управляемость, устойчивость.
6. Модель динамической системы в пространстве состояний.
7. Уравнение метода наименьших квадратов.
8. Число обусловленности.
9. Аппроксимация экспериментальной зависимости по методу наименьших квадратов.
10. Определение орбиты искусственного спутника Земли с использованием метода наименьших квадратов.
11. Метод модального управления.
12. Критерий управляемости и наблюдаемости системы.
13. Теорема разделения.
14. Оптимальная линейная фильтрация.
15. Теорема Байеса.
16. Свойства оптимального преобразования.
17. Интегральное уравнение Винера-Хопфа, корреляционные матрицы.
18. Аналитическое решение уравнения Винера-Хопфа.
19. Непрерывный фильтр Калмана.
20. Оценивающее устройство на основе непрерывного фильтра Калмана для контура стабилизации угла тангажа.
21. Дискретный фильтр Калмана.
22. Построение дискретного фильтра Калмана для системы стабилизации угла крена.
23. Причины расходимости фильтра Калмана.
24. Общие сведения о нелинейной фильтрации.
25. Задача оценивания параметров ЛА в нелинейных системах.
26. Фильтр Лайниотиса.

#### Вопросы/задания по темам ПЗ

Текущий контроль студентов производится в дискретные временные интервалы преподавателем, ведущим практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- оценивание освоения темы практических занятий в форме собеседования;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски.

Отчет по практической работе представляется в печатном виде. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Критерии оценивания: в случае если оформление отчета, доклад студента по выполненной работе и ответы на вопросы преподавателя во время защиты соответствуют требованиям, предъявляемым к знаниям студента по данной практической работе, отчет по практической работе считается принятым. Основаниями для дополнительной доработки отчета являются:

- небрежное выполнение;
- отсутствие необходимых разделов,
- отсутствие необходимого графического материала или низкое его качество (например, отсутствие указания единиц измерения на графиках),
- некорректная обработка результатов.

Отчет по практической работе должен содержать основные разделы:

- 1) цель работы и задачи работы;
- 2) разработка математической модели;
- 3) разработка компьютерной модели;
- 4) проверка адекватности компьютерной модели;
- 5) исходные данные и начальные условия для моделирования;
- 6) планирование и проведение компьютерного моделирования;
- 7) анализ результатов моделирования.

Варианты практических заданий входят в состав УМК дисциплины.

### **Экзамен**

Промежуточный контроль: по результатам семестра по дисциплине проходит в форме экзамена, который включает ответы на теоретические и практические вопросы (билеты) и вопросы в тестовой форме.

Критерии оценивания:

- «неудовлетворительно» – студент ответил менее 60% вопросов в тестовой форме и дал неправильные и неполные ответы на вопросы билета;
- «удовлетворительно» – студент ответил на 60% и более вопросов в тестовой форме;
- «хорошо» – студент ответил на 60% и более вопросов в тестовой форме и дал правильные, но недостаточно полные и четкие ответы на вопросы билета;
- «отлично» – студент ответил на 60% и более вопросов в тестовой форме и дал правильные, полные и четкие ответы на все вопросы билета.

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-6	ПСК-16	
5	10	Раздел 1. Модель динамической системы в пространстве состояний.	7	2	2	0	5	15	15	Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 2. Метод наименьших квадратов.	24	8	4	4	16	20	20	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 3. Оценка вектора состояния на основе метода модального управления.	24	8	4	4	16	20	20	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 4. Оптимальная линейная фильтрация.	7	2	2	0	5	10	10	Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 5. Фильтр Калмана.	40	13	4	9	27	25	25	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 6. Общие сведения о нелинейной фильтрации.	6	1	1	0	5	10	10	Вопросы к экзамену
Всего за 10 семестр			108	34	17	17	74	100	100	
Всего по дисциплине			108	34	17	17	74	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-6

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Оценка называется несмещенной, если:
- № 2 Оценка называется эффективной, если:
- № 3 Оценка называется состоятельной, если:
- № 4 Определите ранг матрицы А.
- $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & -3 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ .
- № 5 Определите ранг матрицы В.
- $B = \begin{bmatrix} 1.5 & 0 \\ 0 & -0.7 \end{bmatrix}$ .
- № 6 Определите ранг матрицы С.
- $A = \begin{bmatrix} 0 & 5 & -4.5 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ .
- № 7 Контур стабилизации угла крена описывается системой дифференциальных уравнений:
- 1)  $\frac{dy}{dt} = w_x$ ;
- 2)  $\frac{dw_x}{dt} = c_{22} \cdot w_x + c_{23} \cdot b_e$ .
- № 8 Наблюдаема ли система при измерении только угла крена?  
Контур стабилизации угла крена описывается системой дифференциальных уравнений:
- 1)  $\frac{dy}{dt} = w_x$ ;
- 2)  $\frac{dw_x}{dt} = c_{22} \cdot w_x + c_{23} \cdot b_e$ .
- № 9 Наблюдаема ли система при измерении только угловой скорости крена?  
Контур стабилизации угла тангажа описывается системой дифференциальных уравнений:
- 1)  $\frac{dw_z}{dt} = a_{11} \cdot w_z + a_{12} \cdot \alpha + a_{13} \cdot b_v$ ;
- 2)  $\frac{d\alpha}{dt} = -a_{42} \cdot \alpha + w_z$ ;
- 3)  $\frac{dtangaj}{dt} = w_z$ .
- № 10 Наблюдаема ли система при измерении только угла тангажа?  
Контур стабилизации угла тангажа описывается системой дифференциальных уравнений:
- 1)  $\frac{dw_z}{dt} = a_{11} \cdot w_z + a_{12} \cdot \alpha + a_{13} \cdot b_v$ ;
- 2)  $\frac{d\alpha}{dt} = -a_{42} \cdot \alpha + w_z$ ;
- 3)  $\frac{dtangaj}{dt} = w_z$ .
- № 1 Наблюдаема ли система при измерении только угловой скорости тангажа?  
*Вопросы закрытого типа:*  
Уравнения оптимального фильтра Калмана могут быть получены различными методами, но наиболее строгое решение получается из уравнения ...?
- Винера-Хопфа
  - Калмана-Бьюси
  - Лайонитиса
  - Байеса



- № 2 Из перечисленных уравнений выберите уравнение состояния:
- $Z = C * X + E_z$
  - $dX/dt = A * X + B * U + n_x$
  - $U = -L * X$
  - $dX_{oc}/dt = A * X_{oc} + B * U + K * (Z - C * X_{oc})$
- № 3 Из перечисленных уравнений выберите уравнение измерения:
- $dX/dt = A * X + B * U + n_x$
  - $U = -L * X$
  - $Z = C * X + E_z$
  - $dX_{oc}/dt = A * X_{oc} + B * U + K * (Z - C * X_{oc})$
- № 4 Из перечисленных уравнений выберите уравнение управления:
- $Z = C * X + E_z$
  - $dX/dt = A * X + B * U + n_x$
  - $dX_{oc}/dt = A * X_{oc} + B * U + K * (Z - C * X_{oc})$
  - $U = -L * X$
- № 5 Из перечисленных уравнений выберите уравнение оценивающего устройства:
- $dX_{oc}/dt = A * X_{oc} + B * U + K * (Z - C * X_{oc})$
  - $Z = C * X + E_z$
  - $dX/dt = A * X + B * U + n_x$
  - $U = -L * X$
- № 6 Из перечисленных уравнений выберите уравнение метода наименьших квадратов:
- $X_{oc} = (C^T * W * C)^{-1} * C^T * W * z$
  - $X_{oc} = (C^T * W * C)^{-1} * C^T * W * z$
  - $z = (C^T * W * C)^{-1} * C^T * W * X_{oc}$
  - $z = (C^T * W * C)^{-1} * C^T * W * X_{oc}$
- № 7 Для построения оценивающего устройства необходимо задаться расположением корней характеристических полиномов на комплексной плоскости. Корни должны располагаться?
- все в правой полуплоскости
  - все в верхней полуплоскости
  - все в левой полуплоскости
  - все в нижней полуплоскости
- № 8 Модальное управление – это управление,
- обеспечивающее для заданного объекта управления или процесса закон управления или управляющую последовательность воздействий, обеспечивающих максимум или минимум заданной совокупности критериев качества системы
  - когда совокупность действий, направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта без непосредственного участия человека в соответствии с заданной целью управления

- при котором каждое из перемещений объекта производится модами через систему управления
- когда достигается требуемый характер переходных процессов за счет обеспечения необходимого расположения корней характеристического полинома на комплексной плоскости
- № 9 Выберите верное утверждение:
- характеристический многочлен замкнутой системы с регулятором, использующим оценки состояния объекта, и наблюдателем равен произведению характеристического многочлена системы с «идеальным» модальным регулятором и характеристического многочлена наблюдателя
- характеристический многочлен замкнутой системы с регулятором, использующим оценки состояния объекта, и наблюдателем равен сумме характеристического многочлена системы с «идеальным» модальным регулятором и характеристического многочлена наблюдателя
- характеристический многочлен замкнутой системы с регулятором, использующим оценки состояния объекта, и наблюдателем равен отношению характеристического многочлена системы с «идеальным» модальным регулятором к характеристическому многочлену наблюдателя
- № 10 Из перечисленных утверждений выберите утверждение, соответствующее теореме разделения.
- задачи разделения и оценивания должны решаться вместе
- задачи управления и оценивания могут решаться отдельно
- задачи управления и оптимизации могут решаться отдельно
- задачи разделения и оценивания должны решаться вместе
- ПСК-16**
- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Какая размерность у матрицы  $A$  в представленном уравнении (контур стабилизации угла крена)?
- $$\begin{bmatrix} dy/dt \\ dw_x/dt \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} y \\ w_x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c_{23} \end{bmatrix} b_e$$
- № 2 Какое минимальное число экспериментальных точек  $N$  требуется для их аппроксимации методом наименьших квадратов полиномом порядка  $n$ ?
- № 3 Оценивающее устройство, полученное методом модального управления ....., оно позволяет оценить фазовый вектор и разработчику самому принимать решение – годится оно или нет.
- № 4 На лекции по теме «Метод модального управления» употреблялась фраза: «ехать тише, чем думаешь». О чем была речь?
- № 5 Задача наблюдения состоит в том, чтобы ошибку оценивания свести к ...
- № 6 Фильтр Калмана не работает, когда отсутствуют шумы ...
- № 7 Опишите правило определения транспонированной матрицы.
- № 8 Опишите алгоритм определения обратной матрицы.
- № 9 Опишите правило деления матрицы на число.
- № 10 Опишите правило умножения матрицы на число.
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 "Чисто" белый шум, т.е. белый шум, имеющий одинаковую спектральную мощность на всех частотах, ...
- встречается только в радиотехнике
- реально существует
- в природе и технике не встречается
- № 2 Выберите последний пункт алгоритма построения оценивающего устройства на основе метода модального управления?

- составление уравнения оценивающего устройства
  - проверка системы на управляемость и наблюдаемость
  - задание корней характеристического полинома контура управления
- № 3 Выберите первый пункт алгоритма построения оценивающего устройства на основе метода модального управления?
- проверка системы на управляемость и наблюдаемость
  - составление уравнения оценивающего устройства
  - задание корней характеристического полинома контура управления
  - задание корней характеристического полинома контура наблюдения
- № 4 Элементы матрицы коэффициентов оценивающего устройства, разработанного на основе фильтра Калмана, ...
- постоянные
  - изменяются с течением времени
  - всегда убывают с течением времени
  - всегда возрастают с течением времени
- № 5 Ковариационная матрица ошибок оценивания R
- несимметрична
  - убывающая
  - не зависит от измерений
  - возрастающая
- № 6 Непрерывный фильтр Калмана определяется следующей системой:

$$\begin{cases} \dot{\hat{Y}} = A \cdot \hat{Y} + K \cdot (z - C \cdot \hat{Y}) \\ K = R \cdot C^T \cdot Q^{-1} \\ \dot{\hat{R}} = A \cdot R + R \cdot A^T - R \cdot C^T \cdot Q^{-1} \cdot C \cdot R + G \end{cases}$$

$$\begin{cases} \tilde{x}_{i+1} = \Phi_i \cdot \hat{x}_i + \Gamma_i \cdot \tilde{\eta}_i \\ P_{i+1} = \Phi_i \cdot R_i \cdot \Phi_i^T + \Gamma_i \cdot G_i \cdot \Gamma_i^T \\ R_{i+1} = P_{i+1} - P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot [C_{i+1} \cdot P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T + Q_{i+1}]^{-1} \cdot C_{i+1} \cdot P_{i+1} \\ \hat{x}_{i+1} = \tilde{x}_{i+1} + R_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot Q_{i+1}^{-1} \cdot [y_{i+1} - C_{i+1} \cdot \tilde{x}_{i+1}] \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\hat{Y}} = A \cdot \hat{Y} + K \cdot (z - C \cdot \hat{Y}) \\ K = R \cdot C^{-1} \cdot Q^T \\ \dot{R} = A \cdot R + R \cdot A^T - R \cdot C^{-1} \cdot Q^T \cdot C \cdot R + G \end{cases}$$

—

$$\begin{cases} \tilde{x}_i = \Phi_i \cdot \hat{x}_i + \Gamma_i \cdot \tilde{\eta}_i \\ P_i = \Phi_i \cdot R_i \cdot \Phi_i^T + \Gamma_i \cdot G_i \cdot \Gamma_i^T \\ R_i = P_{i+1} - P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot [C_{i+1} \cdot P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T + Q_{i+1}]^{-1} \cdot C_{i+1} \cdot P_{i+1} \\ \hat{x}_i = \tilde{x}_{i+1} + R_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot Q_{i+1}^{-1} \cdot [y_{i+1} - C_{i+1} \cdot \tilde{x}_{i+1}] \end{cases}$$

№ 7 Дискретный фильтр Калмана определяется следующей системой:

—

$$\begin{cases} \dot{\hat{Y}} = A \cdot \hat{Y} + K \cdot (z - C \cdot \hat{Y}) \\ K = R \cdot C^T \cdot Q^{-1} \\ \dot{R} = A \cdot R + R \cdot A^T - R \cdot C^T \cdot Q^{-1} \cdot C \cdot R + G \end{cases}$$

—

$$\begin{cases} \tilde{x}_{i+1} = \Phi_i \cdot \hat{x}_i + \Gamma_i \cdot \tilde{\eta}_i \\ P_{i+1} = \Phi_i \cdot R_i \cdot \Phi_i^T + \Gamma_i \cdot G_i \cdot \Gamma_i^T \\ R_{i+1} = P_{i+1} - P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot [C_{i+1} \cdot P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T + Q_{i+1}]^{-1} \cdot C_{i+1} \cdot P_{i+1} \\ \hat{x}_{i+1} = \tilde{x}_{i+1} + R_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot Q_{i+1}^{-1} \cdot [y_{i+1} - C_{i+1} \cdot \tilde{x}_{i+1}] \end{cases}$$

—

$$\begin{cases} \dot{\hat{Y}} = A \cdot \hat{Y} + K \cdot (z - C \cdot \hat{Y}) \\ K = R \cdot C^{-1} \cdot Q^T \\ \dot{R} = A \cdot R + R \cdot A^T - R \cdot C^{-1} \cdot Q^T \cdot C \cdot R + G \end{cases}$$

—

$$\begin{cases} \tilde{x}_i = \Phi_i \cdot \hat{x}_i + \Gamma_i \cdot \tilde{\eta}_i \\ P_i = \Phi_i \cdot R_i \cdot \Phi_i^T + \Gamma_i \cdot G_i \cdot \Gamma_i^T \\ R_i = P_{i+1} - P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot [C_{i+1} \cdot P_{i+1} \cdot C_{i+1}^T + Q_{i+1}]^{-1} \cdot C_{i+1} \cdot P_{i+1} \\ \hat{x}_i = \tilde{x}_{i+1} + R_{i+1} \cdot C_{i+1}^T \cdot Q_{i+1}^{-1} \cdot [y_{i+1} - C_{i+1} \cdot \tilde{x}_{i+1}] \end{cases}$$

№ 8 Какая система уравнений описывает оценивающее устройство на основе непрерывного фильтра Калмана для контура стабилизации угла тангажа при измерении только угла тангажа?

—

$$\begin{cases} \dot{\hat{\omega}}_{z1} = a_{12} \cdot \hat{\alpha} + \hat{\omega}_{z1} \cdot (a_{11} - a_{13} \cdot i_2) - a_{13} \cdot i_1 \cdot \hat{\theta} + \frac{R_{13}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\theta}); \\ \dot{\hat{\alpha}} = \hat{\omega}_{z1} - a_{42} \cdot \hat{\alpha} + \frac{R_{23}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\theta}); \\ \dot{\hat{\theta}} = \hat{\omega}_{z1} + \frac{R_{33}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\theta}). \end{cases}$$

—

$$\begin{cases} \dot{\hat{\omega}}_{z1} = a_{12} \cdot \hat{\alpha} + \hat{\omega}_{z1} \cdot (a_{11} - a_{13} \cdot i_2) - a_{13} \cdot i_1 \cdot \hat{\theta} + \frac{R_{13}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\omega}_{z1}); \\ \dot{\hat{\alpha}} = \hat{\omega}_{z1} - a_{42} \cdot \hat{\alpha} + \frac{R_{23}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\omega}_{z1}); \\ \dot{\hat{\theta}} = \hat{\omega}_{z1} + \frac{R_{33}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\omega}_{z1}). \end{cases}$$

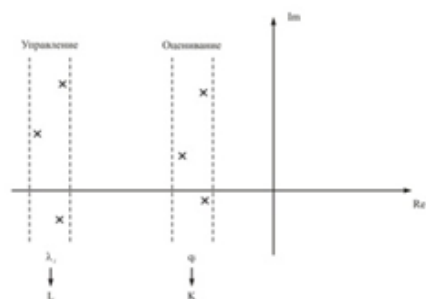
—

$$\begin{cases} \dot{\hat{\omega}}_{z1} = a_{12} \cdot \hat{\alpha} + \hat{\omega}_{z1} \cdot (a_{11} - a_{13} \cdot i_2) - a_{13} \cdot i_1 \cdot \hat{\theta} + \frac{R_{11}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\theta}); \\ \dot{\hat{\alpha}} = \hat{\omega}_{z1} - a_{42} \cdot \hat{\alpha} + \frac{R_{22}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\theta}); \\ \dot{\hat{\theta}} = \hat{\omega}_{z1} + \frac{R_{33}}{\sigma_{\theta}^2} \cdot (z - \hat{\theta}). \end{cases}$$

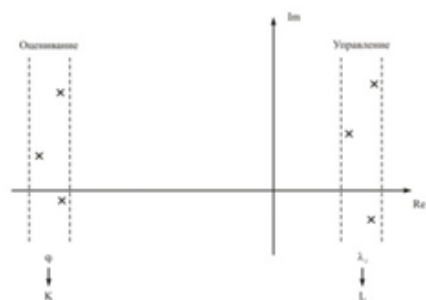
№ 9

Выберите рисунок, который иллюстрирует верное расположение корней характеристического многочлена на комплексной плоскости при построении оценивающего устройства на основе метода модального управления.

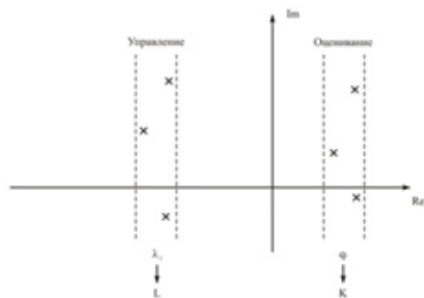
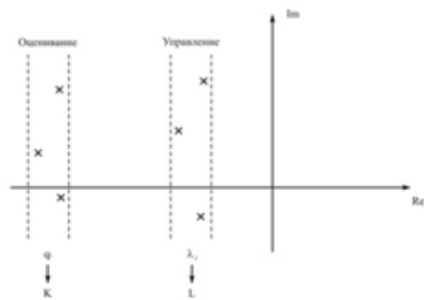
—



—



—



№ 10

Какое уравнение иллюстрирует теорему разделения, строго доказанную для линейных систем?

$$D(s) = \underbrace{\det(I \cdot s - A + B \cdot L)}_{\text{контур наблюдения } D_n(s)} \cdot \underbrace{\det(I \cdot s - A + K \cdot C)}_{\text{контур управления } D_y(s)}$$

$$D(s) = \underbrace{\det(I \cdot s + A - B \cdot L)}_{\text{контур управления } D_y(s)} \cdot \underbrace{\det(I \cdot s + A - K \cdot C)}_{\text{контур наблюдения } D_n(s)}$$

$$D(s) = \underbrace{\det(I \cdot s + A - B \cdot L)}_{\text{контур наблюдения } D_n(s)} \cdot \underbrace{\det(I \cdot s + A - K \cdot C)}_{\text{контур управления } D_y(s)}$$

$$D(s) = \underbrace{\det(I \cdot s - A + B \cdot L)}_{\text{контур управления } D_y(s)} \cdot \underbrace{\det(I \cdot s - A + K \cdot C)}_{\text{контур наблюдения } D_n(s)}$$