

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор института-заместитель  
директора ФАКТ**

**М.А. Кудров**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Теория автоматического регулирования и управления
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 1

Программу составил: В.С. Королёв

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 15.04.2022

## Аннотация

Предлагаемый курс охватывает две области: теорию управления и цифровую обработку сигналов. В части теории управления курс сосредоточен в основном на матричных методах, которые являются основой для современных методов в линейной теории управления. В части цифровой обработки сигналов предлагаемый курс отражает все те темы, которые представлены в аналогичных курсах. Первый семестр посвящен описанию и анализу непрерывных и дискретных линейных динамических систем, представленных в виде передаточных функций. Второй семестр направлен на переход к матричным методам описания, включая некоторые методы синтеза. Это даёт возможность основательно изложить теорию случайных процессов и методы частотного анализа.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- знакомство студентов с основами классической теорий управления, статистической теории управления и цифровой обработки сигналов, а также пополнение багажа знаний и умений студентов теоретическими и вычислительными методами обозначенных разделов теории управления.

#### Задачи дисциплины

- укрепление фундаментальных знаний студентов, полученных на общефакультетских курсах по математике и физике, и подготовка студентов к курсам базовых кафедр.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- язык классической и статистической теорий управления; роль физико-математического моделирования в задачах анализа и проектирования управляемых технических систем; место цифровой обработки сигналов в задачах управления.

уметь:

- составлять математические динамические модели технических систем, анализировать их теоретическими и численными методами, проектировать фильтры и регуляторы.

владеть:

- средствами численного моделирования динамических систем, анализа и синтеза фильтров и регуляторов.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Исторический обзор. Регулятор Уатта. Основные понятия	1	2		3
2	Моделирование динамических систем	1	2		3
3	Преобразования Лапласа. Свойства преобразования и основные теоремы	1	2		3
4	Динамическое звено, его свойства и временные характеристики. Передаточная функция звена. Частотные характеристики, связь с временными	1	2		3
5	Устойчивость. Алгебраические и частотные критерии устойчивости	1	2		4
6	Показатели качества. Качество переходного процесса. Основные показатели переходного процесса, их оценка. Точность САУ. Статические и астатические системы. Коэффициенты ошибок	1	2		3
7	Описание динамической системы в пространстве состояний для непрерывных и дискретных систем. Управляемость и наблюдаемость	1	2		3
8	Управление обратной связью по вектору состояния. Синтез методом назначения полюсов	1	2		4
9	Наблюдатель Льюенбергера. Разделение задачи регулирования на наблюдение вектора состояния и управление по нему	1	4		3
10	Статистическое описание случайных процессов. Характеристики случайных процессов	2	2		4
11	Методы статистического анализа и оценка точности линейных систем	2	2		6
12	Оптимальное статистическое управление: фильтр Калмана и LQR-регулятор. LQG-регулятор. Уравнения Ляпунова и Риккати	1	2		3
13	Алгоритмы быстрого преобразования Фурье	1	4		3
Итого часов		15	30		45

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

##### 1. Исторический обзор. Регулятор Уатта. Основные понятия

Исторический обзор. Регулятор Уатта. Работы Максвелла и Вышнеградского. Диаграмма Вышнеградского. Предмет и основные понятия классической теории автоматического управления.

##### 2. Моделирование динамических систем

Составление математических динамических с использованием предметно-ориентированных языков программирования. Сведение анализа нелинейных моделей к линейным с помощью первого метода Ляпунова: балансировка и линеаризация моделей.

##### 3. Преобразования Лапласа. Свойства преобразования и основные теоремы

Преобразование Лапласа. Основные свойства преобразования. Типовые образы. Обратное преобразование Лапласа, разложение Хевисайда, формула Меллина.

##### 4. Динамическое звено, его свойства и временные характеристики. Передаточная функция звена. Частотные характеристики, связь с временными

Динамическое звено. Основные свойства динамических звеньев: линейность, причинность и стационарность. Принцип Дюамеля и временные характеристики звена: весовая и переходная функции.

Передаточная функция звена. Связь передаточной функцией и временными характеристиками звена.

Частотные характеристики. Различные формы представления частотных характеристик: амплитудные, фазовые, логарифмические, асимптотические логарифмические характеристики.

Типовые звенья и их классификации: по типу действия (позиционные, интегрирующие и дифференцирующие звенья) и по реализуемости (собственные и несобственные). Временные и частотные характеристики типовых звеньев.

Различные виды композиции динамических звеньев: параллельное и последовательное соединение, обратная связь. Основные характеристики динамических систем. Правила преобразования структурных схем. Приведение многоконтурных систем к одноконтурным. Матрица передаточных функций. Передаточные функции и частотные характеристики системы.

##### 5. Устойчивость. Алгебраические и частотные критерии устойчивости

Устойчивость САУ. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Критерий Михайлова. Робастная устойчивость и полиномы Харитонова.

Критерий Найквиста. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам. Запасы устойчивости. Частотные характеристики разомкнутой системы в координатах замкнутой: семейства N- и M-окружностей. Окружность Аполлония.

##### 6. Показатели качества. Качество переходного процесса. Основные показатели переходного процесса, их оценка. Точность САУ. Статические и астатические системы. Коэффициенты ошибок

Точность САУ. Статические и астатические системы, порядок астатизма. Коэффициенты ошибок.

Качество переходного процесса. Основные показатели переходного процесса, их оценка с использованием нулей и полюсов замкнутой системы. Доминирующие корни. Приближенный способ нахождения нулей и полюсов замкнутой системы по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы.

7. Описание динамической системы в пространстве состояний для непрерывных и дискретных систем. Управляемость и наблюдаемость

Описание динамической системы в пространстве состояний. Связь с описанием передаточными функциями. Управляемость и наблюдаемость динамических систем.

8. Управление обратной связью по вектору состояния. Синтез методом назначения полюсов

Регулирование обратной связью по полному вектору состояния. Метод назначения полюсов. Формула Аккермана.

9. Наблюдатель Люенбергера. Разделение задачи регулирования на наблюдение вектора состояния и управление по нему

Наблюдатель Люенбергера. Разделение задачи регулирования на наблюдение вектора состояния и управление по нему.

10. Статистическое описание случайных процессов. Характеристики случайных процессов

Статистическое описание случайных процессов. Характеристики случайных процессов. Векторные случайные процессы. Классификация случайных процессов. Спектральная плотность стационарных случайных процессов. Белый шум. Формирующий фильтр

11. Методы статистического анализа и оценка точности линейных систем

Статистический анализ и оценка точности линейных систем. Соотношения между математическими ожиданиями и корреляционными функциями входа и выхода. Преобразование стационарной случайной функции стационарной линейной системой. Соотношения между спектральными плотностями. Корреляционная система уравнений.

12. Оптимальное статистическое управление: фильтр Калмана и LQR-регулятор. LQG-регулятор. Уравнения Ляпунова и Риккати

Задача оптимального оценивания. Фильтр Калмана. Принцип разделения задачи управления на оценивание и формирование обратной связи. Линейно-квадратичное гауссовское управление и его робастность.

13. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье

Алгоритмы быстрого преобразования Фурье: базовые частные случаи для степеней простых чисел и композиция для степеней произведения взаимно-простых чисел.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием (проектор или плазменная панель), доской.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Теория автоматического управления [Текст] : в 2 т. : учеб. пособие для вузов : доп. М-вом образования Рос. Федерации. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Д. П. Ким .— М. : Физматлит, 2004 .— 464 с.

### Дополнительная литература

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://www.dsplib.ru/>

[http://www.mathworks.com/help/toolbox/comm/ug/comm\\_ug\\_collection.html](http://www.mathworks.com/help/toolbox/comm/ug/comm_ug_collection.html)

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общими понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные понятия и утверждения теории передачи сигналов, основные методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов.

Успешное освоение курса требует напряженной самостоятельной работы студента. В программе курса отведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам занятий, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенные для самостоятельного изучения, решение задач;
- подготовка к дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов следует обращаться за консультациями к лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Беспилотные авиационные системы  
Физтех-школа авиационных и цифровых технологий  
кафедра аэрофизики и летательных аппаратов  
**курс:** 3  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** В.С. Королёв

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория автоматического регулирования и управления» обучающийся должен:

### знать:

- язык классической и статистической теорий управления; роль физико-математического моделирования в задачах анализа и проектирования управляемых технических систем; место цифровой обработки сигналов в задачах управления.

### уметь:

- составлять математические динамические модели технических систем, анализировать их теоретическими и численными методами, проектировать фильтры и регуляторы.

### владеть:

- средствами численного моделирования динамических систем, анализа и синтеза фильтров и регуляторов.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Классификация типовых звеньев. Примеры.
2. Показатели качества переходного процесса. Доминирующие корни
3. Логарифмические характеристики звена.
4. Частотные характеристики звена.
5. Временные характеристики звена.
6. Критерий Найквиста.
7. Замкнутая и разомкнутая САУ. Передаточные функции.
8. Точность САУ. Статические и астатические системы. Коэффициенты ошибок
9. Определение устойчивости по логарифмическим характеристикам.
10. Критерий Найквиста для нейтральных систем.
11. Основные понятия ТАУ (понятие САУ, принципы управления, алгоритмы функционирования).
12. Точность САУ. Коэффициенты ошибки.



13. Динамическое звено, его свойства и временные характеристики. Пример.
14. Метод назначения полюсов в задаче синтеза САУ. Запасы устойчивости. Пример.
15. Различные способы описания систем со множеством входов-выходов, связь между ними. Пример.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Статистическое описание случайных явлений. Функции распределения.
2. Вывод уравнения связи спектральных плотностей входа и выхода линейной системы.
3. Классификация случайных процессов. Стационарные и эргодические процессы.
4. Вывод корреляционной системы уравнений.
5. Математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция скалярных и векторных случайных процессов.
6. Белый шум. Формирующий фильтр.
7. Корреляционная функция, дисперсия, спектральная плотность стационарных скалярных случайных процессов.
8. Вывод интегральных уравнений связи статистических характеристик входа и выхода линейной системы.
9. Статистические характеристики случайных процессов.
10. Классификация случайных процессов. Стационарные и эргодические процессы.
11. Белый шум. Формирующий фильтр.
12. Вывод корреляционной системы уравнений.
13. Корреляционная функция, дисперсия, спектральная плотность стационарных скалярных и векторных случайных процессов.
14. Сравнительная характеристика методов статистического анализа точности линейных систем.
15. Статистическое описание случайных явлений. Функции распределения.

##### **Билет 1**

1. Классификация типовых звеньев. Примеры.
2. Показатели качества переходного процесса. Доминирующие корни.

##### **Билет 2**

1. Частотные и временные характеристики звена.
2. Критерий Найквиста для нейтральных систем.

##### **Билет 3**

1. Классификация случайных процессов. Стационарные и эргодические процессы.
2. Корреляционная функция, дисперсия, спектральная плотность стационарных скалярных случайных процессов.

##### **Билет 4**

1. Сравнительная характеристика методов статистического анализа точности линейных систем.
2. Статистическое описание случайных явлений. Функции распределения.

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.