

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)  
Институт информационных технологий и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ  
Директор института  
  
А.А. Галкин  
2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»**

**направление подготовки**

27.03.04 Управление в технических системах

**профиль подготовки**

Управление и информатика в технических системах

г. Владимир  
2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Теория автоматического управления» являются ознакомление с основами теории автоматического управления и получение практических навыков использования методов анализа и синтеза систем автоматического управления техническими системами.

Задачи: студенты должны изучить основные принципы построения систем автоматического управления (САУ), математический аппарат их описания, основные показатели качества процесса управления, методы анализа и синтеза систем управления; научиться исследовать статические и динамические свойства автоматических систем и разрабатывать системы, удовлетворяющие заданным техническим требованиям.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теория автоматического управления» относится к дисциплинам обязательной части учебного плана.

Пререквизиты дисциплины: «Математика», «Теория решения изобретательских задач», «Математические основы теории систем».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
1	2	3	4
ОПК-1 Способен анализировать задачи управления в технических системах на основе положений, законов и методов естественных наук и математики	ОПК-1.1. Знает: основы анализа задач управления в технических системах. ОПК-1.2. Умеет анализировать задачи, выделять базовые составляющие управления в технических системах, рассматривать возможные варианты решения задачи управления в технических системах. ОПК-1.3. Владеет навыками оценивая достоинств и недостатков возможных вариантов решения задачи.	Знает: основные положения классической теории управления Умеет анализировать задачи, рассматривать различные варианты решения задач теории управления Владеет навыками оценивания достоинств различных вариантов решения задач управления	
ОПК-2 Способен формулировать задачи профессиональной деятельности на	ОПК-2.1. Знает профильные разделы математических и естественно-научных дисциплин. ОПК-2.2. Умеет формулировать задачи в области управления в технических системах.	Знает: основные проблемы в своей предметной области, обосновывать методы и средства их решения Умеет: ставить задачи проектирования и управления, готовить	КП

<p>основе знаний, профильных разделов математических и естественно-научных дисциплин (модулей)</p>	<p>ОПК-2.3. Владеет навыками грамотно и аргументированно формировать собственные суждения и оценки на основе знаний по профильным разделам математических и естественно-научных дисциплин</p>	<p>технические задания на выполнение проектных работ и обосновывать методы их решения. Владеет: способностью формулировать задачи управления и выбирать методы и средства решения задач.</p>	
<p>ОПК-3 Способен самостоятельно решать задачи управления в технических системах на базе последних достижений науки и техники</p>	<p>ОПК-3.1 Знает принципы построения систем автоматизации и управления, их аппаратные и программные средства. ОПК-3.2 Умеет определять возможные методы решения задач управления в технических системах. ОПК-3.3 Владеет навыками оценивания возможных методов решения задач управления в технических системах</p>	<p>Знает: принципы построения систем автоматизации и управления, современный инструментальный проектирования программно-аппаратных средств для решения задач автоматизации и управления Умеет: самостоятельно решать задачи управления в технических системах на базе последних достижений науки и техники. Владеет: навыками оценивания возможных методов решения задач управления и навыками управления техническими системам с использованием современных технологий обработки информации.</p>	<p>КП</p>
<p>ОПК-4 Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов</p>	<p>ОПК-4.1. Знает критерии оценки эффективности полученных результатов разработки систем управления. ОПК-4.2. Умеет осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов. ОПК-4.3. Владеет навыками применять типовые критерии оценки эффективности полученных результатов разработки систем управления</p>	<p>Знает: основные положения классической теории управления. Умеет: получать и преобразовывать математические модели элементов и систем управления, проводить статический и динамический анализ системы автоматического управления, обоснованно выбирать алгоритмы управления. Владеет: методами математического моделирования САУ, теоретического и экспериментального анализа систем, методами синтеза САУ.</p>	<p>КП</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 час.

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации ( <i>по семестрам</i> )
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
<b>5 семестр</b>									
1	Основные понятия теории управления и ее прикладное значение.	5	1-2	4				2	
2	Типовые задачи управления и принципы управления.	5	3-4	4	2			14	
3	Понятие о непрерывных, дискретных и цифровых САУ, линейных и нелинейных системах.	5	5-6	4	2			14	Рейтинг-контроль 1
7	Основные типовые модели элементов и систем управления.	5	7-11	10	6	8		14	
4	Анализ САУ в установившихся режимах.	5	12-13	4	2	2		14	Рейтинг-контроль 2
5	Анализ линейных динамических непрерывных САУ	5	14-18	10	6	8		14	Рейтинг-контроль 3
<b>Всего за 5 семестр</b>				36	18	18		72	Экзамен (36)
<b>6 семестр</b>									
6	Анализ линейных дискретных САУ	6	1-5	10	4	4		6	
8	Анализ нелинейных САУ	6	6-11	12	4	8		13	Рейтинг-контроль 1
9	Основы синтеза САУ	6	12-15	8	6	6		13	Рейтинг-контроль 2

10	Основные задачи и методы экстремального регулирования и оптимального управления	6	16-18	6	4			13	Рейтинг-контроль 3
Всего за 6 семестр				36	18	18		45	Экзамен (27)
Наличие в дисциплине КП/КР					+				
Итого по дисциплине				72	36	36		117	2 экзамена (63)

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

### Лекции (5 семестр)

**Тема 1.** «Основные понятия теории управления и ее прикладное значение».

Определение понятия «управление», примеры процессов управления в технических, экономических, социальных, живых системах. Понятие о ручном, автоматизированном и автоматическом управлении. Сущность автоматики. Роль автоматизации в развитии техники, технологии, производства. Социальные последствия автоматизации.

**Тема 2.** «Типовые задачи управления и принципы управления»

Формулировка типовых задач управления: стабилизации, программного регулирования, слежения, экстремального регулирования, оптимального и адаптивного управления, практическое значение. Принципы управления по возмущению, по отклонению. Сущность и значение обратной связи.

**Тема 3.** «Понятие о непрерывных, дискретных и цифровых САУ».

Сущность процессов непрерывного характера, дискретных и импульсных процессов. Понятие о цифровых системах, сущность квантования, АЦП и ЦАП. Понятие о линейном и нелинейном преобразовании величин и сигналов. Принцип суперпозиции. Понятие о линеаризации. Примеры типовых нелинейностей.

**Тема 4.** «Основные типовые модели элементов и систем управления».

Определение понятий «модель», «математическая модель». Аналитический и экспериментальный подходы к получению математической модели. Модель в виде функциональной зависимости, в виде дифференциального уравнения. Линейные и нелинейные модели в виде функциональных зависимостей и ДУ. Модели в виде системы дифференциальных уравнений в нормальной форме. Понятие о SISO и MIMO системах. Модели линейной непрерывной системы в виде передаточной функции в операторной форме и в области изображений по Лапласу. Определение математической модели в виде частотной характеристики, ее связь со спектрами сигналов и передаточной функцией. Графические представления ЧХ в виде графиков АЧХ, ФЧХ, годографа КЧХ. Логарифмические ЧХ. Физическая интерпретация ЧХ. Определение математической модели в виде импульсной и переходной характеристик, связь между ними и связь с передаточной функцией. Понятие о типовых динамических звеньях, методология представления модели с помощью ТДЗ, основные примеры ТДЗ и их характеристики. Математическая модель САУ в виде структурной схемы, правила ее построения и преобразования.

**Тема 5.** «Анализ САУ в установившихся режимах».

Понятие о переходных и установившихся режимах, статике и динамике. Основные подходы к статическому расчету САУ. Понятие об астатизме и структурных условиях его реализации.

**Тема 6** «Анализ линейных непрерывных динамических САУ».

Понятие о качественном и количественном анализе. Определение понятия «устойчивость» САУ и значения этого понятия. Методы исследования устойчивости линейных непрерывных САУ: необходимые условия устойчивости, основное (необходимое и достаточное) условие устойчивости, критерии устойчивости Гурвица, Михайлова, Найквиста. Понятие о критическом коэффициенте передачи САУ. Анализ переходных процессов в САУ, постановка задачи, прямые показатели качества переходных процессов для монотонных апериодических и колебательных процессов. Отыскание переходных процессов на основе аналитических методов (с использованием преобразований Лапласа), численных методов. Косвенные методы оценки качества процессов в САУ.

### Лекции (6 семестр)

#### **Тема 6 «Анализ линейных дискретных САУ».**

Типовые структуры цифровой САУ и особенности процессов в цифровых САУ. Описание дискретных процессов во временной области и области изображений по Лапласу. Определение  $Z$ -изображения и его основные свойства. Описание цифровой части САУ, сущность и особенности разностных уравнений. Линейные разностные уравнения и их представление с помощью передаточных функций в операторной форме и в области  $Z$ -изображений. Дискретное описание непрерывной части цифровой САУ, понятие о приведенной непрерывной части и ее передаточная функция, методика получения ПФ ПНЧ для экстраполятора нулевого порядка. Описание линейной цифровой САУ в целом. Определение и исследование устойчивости, необходимое и достаточное условие устойчивости для полюсов дискретной передаточной функции. Билинейное преобразование и его использование для исследования устойчивости линейной дискретной САУ. Отыскание переходных процессов в дискретной САУ с помощью  $Z$ -преобразования и использования разностного уравнения САУ в форме рекуррентного соотношения.

#### **Тема 7 «Анализ нелинейных САУ».**

Типовые нелинейности в САУ, особенности поведения нелинейных систем. Анализ нелинейных САУ методом фазовой плоскости. Понятие об автоколебаниях и скользящих режимах. Понятие и методы исследования абсолютной устойчивости. Устойчивость по Ляпунову и метод Ляпунова. Метод гармонической линеаризации, техника его использования. Использование численных методов и реализующих их программ для анализа процессов в нелинейных САУ.

#### **Тема 8 «Основы синтеза САУ».**

Постановка задачи синтеза САУ. Решение задачи синтеза САУ в классе ПИД – алгоритмов управления и методики их настройки. Синтез САУ частотными методами. Методы реализации синтезированных алгоритмов.

#### **Тема 9 «Основные задачи и методы экстремального регулирования и оптимального управления».**

Понятие об объектах, имеющих статическую характеристику экстремального типа, примеры таких объектов. Постановка задачи об экстремальном регулировании. Примеры алгоритмов экстремального регулирования. Формулировка классической задачи об оптимальном управлении динамическим объектом (режимом). Понятие о критерии оптимальности и практические примеры задач оптимального управления (оптимизация по быстродействию, с минимизацией затрат энергии на управление, с минимизацией интегральной квадратичной ошибки, обобщенного интегрального квадратичного показателя качества). Основные научные направления для синтеза оптимального динамического управления.

## Содержание практических занятий по дисциплине

### 5 семестр

Тема №1. Типовые задачи управления и анализ промышленных примеров САУ.

Тема № 2. Анализ промышленных примеров аналоговых и цифровых САУ, линейных и нелинейных систем.

Тема № 3. Примеры элементов САУ и получение их математических моделей. Техника преобразования моделей в виде дифференциальных уравнений и передаточных функций. Изучение структуры и характеристик типовых динамических звеньев. Методика получения и построения частотных характеристик в виде АЧХ, ФЧХ, годографа КЧХ и ЛЧХ. Правила построения и преобразования структурных схем САУ. Отыскание передаточных и импульсных характеристик САУ.

Тема № 4. Анализ САУ в установившемся режиме.

Методика статического расчета САУ на основе упрощения дифференциального уравнения в установившемся режиме. Методика определения установившейся ошибки с помощью предельной теоремы преобразования Лапласа. Свойства астатизма в САУ. Анализ точности САУ при периодических внешних воздействиях. Анализ точности САУ при случайных внешних воздействиях.

Тема № 5. Анализ линейных динамических САУ.

Исследование устойчивости линейных непрерывных САУ. Отыскание переходных процессов в САУ и оценка показателей качества переходных процессов.

### 6 семестр

Тема № 1. Анализ линейных дискретных САУ. Получение передаточной функции цифрового регулятора по алгоритму управления и наоборот. Получение передаточной функции приведенной непрерывной части САУ для экстраполятора нулевого порядка. Получение ПФ цифровой САУ с заданным алгоритмом управления, например, ПИД и заданной ПФ непрерывной части САУ. Исследование устойчивости линейной дискретной САУ, отыскание переходных процессов.

Тема № 2. Анализ нелинейности САУ. Построение фазовых портретов релейных САУ. Исследование абсолютной устойчивости заданной нелинейной САУ. Получение коэффициентов гармонической линеаризации заданных нелинейных элементов. Определение параметров автоколебаний релейной САУ с помощью МГЛ.

Тема № 3. Основы синтеза САУ. Расчет настроек ПИД – регуляторов по заданной модели объекта управления. Синтез алгоритма управления или корректирующего устройства по заданным показателям качества синтезируемой САУ частотным методом. Реализация синтезированных алгоритмов управления в классе аналоговых устройств и цифровых алгоритмов управления.

## Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Л.Р №1. Исследование динамических характеристик типовых звеньев.

Л.Р № 2. Исследование частотных характеристик САУ.

Л.Р № 3. Исследование устойчивости линейных САУ.

Л.Р № 4. Оценка качества переходного процесса САУ.

Л.Р № 5. Исследование системы управления нестационарным объектом.

Л.Р № 6. Исследование системы с запаздыванием.

## Темы лабораторных занятий (6 семестр)

- Л.Р № 1. Исследование динамики релейной системы с гибкой обратной связью.  
Л.Р № 2. Исследование импульсных САУ.  
Л.Р № 3. Исследование локальной цифроаналоговой системы управления.  
Л.Р № 4. Улучшение качества процесса регулирования САУ введением последовательных корректирующих устройств.  
Л.Р № 5. Исследование динамики нелинейных автоматических систем.

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### 5.1 Текущий контроль успеваемости

#### 5 семестр

##### *Рейтинг-контроль 1*

1. Определение понятия «управление».
2. Что такое объект управления, какую природу он может иметь?
3. Почему современная теория управления приобрела фундаментальный характер?
4. Предмет изучения теории автоматического управления.
5. Предмет изучения кибернетики, когда и кем были заложены ее основы.
6. Перечислить и охарактеризовать три уровня управления в зависимости от степени участия человека в процессах управления.
7. Что такое САУ и АСУ?
8. Какова роль автоматики и автоматизации в научно-техническом прогрессе?
9. Перечислить и охарактеризовать основные этапы развития систем автоматического управления.
10. Сформулировать и пояснить основные типовые задачи (цели) управления:
  - стабилизации,
  - программного регулирования,
  - слежения,
  - экстремального регулирования,
  - оптимального управления,
  - адаптивного управления.
11. Сформулировать и пояснить с помощью функциональной схемы два фундаментальных принципа управления:
  - по отклонению,
  - по возмущению
12. Что такое «алгоритм управления», привести примеры алгоритмов управления, в том числе записать уравнение ПИД-алгоритма.
13. Система стабилизации скорости вращения вала ДПТ как пример САУ с ООС – привести схему, пояснить принцип действия.
14. Представление об обобщенном объекте управления и САУ комбинированного типа.

##### *Рейтинг-контроль 2*

1. Что называется математической моделью элемента или системы, каково ее назначение, какие существуют подходы к ее получению.



2. Сущность аналитического подхода к получению математической модели элемента или системы.
3. Вывод дифференциального уравнения, описывающего RLC-цепь как пример получения математической модели.
4. Сущность экспериментального подхода к получению математической модели, понятие об активном и пассивном экспериментах.
5. Что такое аппроксимация, интерполяция и экстраполяция, что такое МНК?
6. В чем состоит сущность и особенность статической и динамической моделей?
7. Функция как основная форма статической модели, линейная и нелинейная модели.
8. Что такое линеаризация, для чего она делается, какие основные приемы существуют для выполнения линеаризации?
9. Дифференциальное уравнение как основная форма динамической математической модели непрерывной системы
10. почему при моделировании динамики практически всегда приходят к дифференциальным уравнениям?
11. как можно записать ДУ n-порядка, описывающего систему с одним выходом (SISO)?
12. Общий вид математической модели непрерывной системы в виде линейного дифференциального уравнения, и его операторная запись, понятие об операторе или передаточной функции системы в операторной форме.
13. Определение преобразования Лапласа и его основные свойства: линейность, теорема о дифференцировании оригинала, теорема о сдвиге, теорема о свертке.
14. Определение передаточной функции линейной непрерывной системы в области изображений по Лапласу и ее связь с оператором и дифференциальным уравнением этой системы.
15. Определение преобразования Фурье, определение комплексного частотного спектра непрерывного процесса, амплитудного и фазового спектров.
16. Определение комплексной частотной характеристики системы, ее связь с передаточной функцией, определение АЧХ, ФЧХ, ВЧХ, МЧХ.
17. Физическая интерпретация частотной характеристики и ее использование для экспериментального получения математической модели системы в виде ЧХ.
18. Графическое представление ЧХ:
19. В виде «обычных» графиков АЧХ, ФЧХ, МЧХ, ВЧХ,
20. В виде годографа КЧХ,
21. В виде ЛЧХ
22. Что такое асимптотическая ЛАЧХ, как она получается для апериодического звена.
23. Понятие о типовых динамических звеньях, каким образом они получаются из ПФ общего вида, перечислить, записать ПФ и дать названия для основных ТДЗ, привести их ЛАЧХ и ЛФЧХ.
24. Как получить АЧХ и ФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ для произведения ПФ (последовательного соединения звеньев).
25. Какие ПФ соответствуют особым ТДЗ?
26. Записать уравнение во временной области и ПФ для звена чистого (транспортного) запаздывания
27. Сформулировать определение и привести основные свойства  $\delta$  – функции
28. Что называется импульсной характеристикой системы?
29. Что называется переходной характеристикой системы?
30. Каким образом ИХ и ПХ связаны между собой и связаны с ПФ?
31. Записать общий вид математической модели в виде СДУ в НФ (в развернутом и кратком векторно-матричном виде).

32. Что такое SISO и MIMO – системы
33. Записать общий вид и привести векторно-матричную запись математической модели в виде линейной СДУ в НФ.
34. Каковы преимущества математической модели в виде СДУ в НФ.
35. Основные правила построения математической модели в виде структурной схемы
36. Каковы основные правила преобразования структурных схем?
37. Что такое принцип суперпозиции, для каких целей и каким образом он используется?

### ***Рейтинг-контроль 3***

1. В чем состоит сущность задачи анализа САУ, в чем состоят особенности качественного и количественного анализа?
2. Сформулировать определение понятия устойчивости.
3. Необходимые, необходимые и достаточные условия устойчивости линейной непрерывной динамической системы.
4. Алгебраические критерии устойчивости (кр.Гурвица)
5. Сформулировать критерий Михайлова.
6. Понятие о разомкнутой и замкнутой САУ с ООС.
7. Сформулировать критерий Найквиста:
  - для годографа КЧХ,
  - для ЛЧХ.
8. Что такое область устойчивости в пространстве параметров и как она получается?
9. Прямые показатели качества переходных процессов в САУ (для монотонных, апериодических и колебательных процессов)
10. Частотные показатели качества как пример косвенных показателей качества переходных процессов в САУ.

## **6 семестр**

### ***Рейтинг-контроль 1***

1. Типовая структура цифровой САУ.
2. Каким образом по алгоритму управления получить передаточную функцию, а передаточной функции перейти к алгоритму управления во временной области?
3. Как определяется передаточная функция приведенной непрерывной части, каким образом она определяется для экстраполятора нулевого порядка?
4. Как находится передаточная функция замкнутой цифровой системы по заданному алгоритму ЦВУ и заданной непрерывной части?
5. Какие условия для полюсов передаточной функции исследуемой цифровой системы позволяют проверить ее устойчивость?
6. Каким образом можно найти переходный процесс в линейной дискретной САУ, используя Z-преобразование?
7. Каким образом можно найти переходный процесс в дискретной САУ, используя разностное уравнение этой системы в виде рекуррентного соотношения?
8. Как определить КЧХ линейной дискретной системы и каковы ее основные свойства?
9. Каким образом можно исследовать устойчивость линейной дискретной САУ, используя ее КЧХ?
10. Как формулируется теорема Котельникова-Шеннона-Найквиста и каково ее значение?
11. Определение нелинейных систем, особенности поведения. Типичные нелинейности.
12. Сущность метода пространства состояний и метода фазового пространства (плоскости).

13. Основные свойства фазовых траекторий.
14. Анализ линейных динамических систем на фазовой плоскости. Определение и основные типы особых точек.
15. Исследование релейных САУ методом фазовой плоскости (на примере системы с двухинтеграторной линейной частью, при наличии и отсутствии обратной связи по скорости).
16. Сущность скользящего режима в релейных системах.
17. Сущность автоколебаний в нелинейных динамических системах.
18. Построение фазового портрета методом изоклин.
19. Построение фазового портрета с помощью ПК.
20. Исследование кусочно-линейных динамических систем методом припасовывания.
21. Постановка задачи и основные положения метода гармонического баланса. Сущность гипотезы фильтра.
22. Определения ЭККП и КГЛ.
23. Уравнение гармонического баланса в комплексной форме.
24. Вывод КГЛ на примере 2-х позиционного реле.
25. Свойства КГЛ для неоднозначных и однозначных нелинейностей.
26. Решение уравнения гармонического баланса аналитическим путем.
27. Решение уравнения гармонического баланса графическим путем.
28. Использование МГБ для исследования релейных САУ.
29. Исследование устойчивости периодических режимов в нелинейных САУ методом гармонической линеаризации.
30. Исследование процессов в САУ с нелинейностью типа «Насыщение» с помощью МГБ.
31. Основные направления расширения сферы применения МГБ.
32. Постановка задачи об исследовании устойчивости положения равновесия нелинейных систем. Определение устойчивости по Ляпунову.
33. Первый метод Ляпунова для исследования устойчивости.
34. Сущность второго метода Ляпунова для исследования устойчивости динамических систем.
35. Определение абсолютной устойчивости нелинейных САУ.
36. Формулировка критерия В.М.Попова для исследования абсолютной устойчивости нелинейной САУ.
37. Круговой критерий абсолютной устойчивости нелинейной САУ.

### ***Рейтинг-контроль 2***

1. Классическая формулировка задачи о синтезе САУ.
2. Основы линейного частотного синтеза САУ.
3. Основные правила формирования желаемой ЛАЧХ. (в области средних, низких и высоких частот).
4. Каким образом по ЛАЧХ, полученной в результате частотного синтеза, можно найти передаточную функцию (уравнение) алгоритма управления.
5. Синтез САУ в классе стандартных (типовых) регуляторов (алгоритмов управления):
6. - уравнение ПИД алгоритмов управления во временной области и отрасли изображений.
7. - метод Циглера-Никольса.
8. - сущность методик настройки по параметрам переходной характеристики.
9. Параметрический оптимизационный синтез: постановка задачи, сущность методики.
10. Цифровая реализация стандартных алгоритмов управления.

### ***Рейтинг-контроль 3***

1. Постановка задачи об экстремальном регулировании и ее особенности.
2. Основные алгоритмы поиска экстремума:
3. Основные особенности использования алгоритмов поиска в СЭР.
4. Формулировка классической задачи об оптимальном управлении непрерывной динамической системой.
5. Классическая форма записи и основные частные случаи критериев оптимальности.
6. Формулировка принципа максимума.
7. Синтез алгоритма управления 2-х интегральным объектом с минимизацией затрат энергии на управление.
8. Синтез оптимального по быстродействию управления 2-х интегральным объектом.
9. Синтез алгоритмов управления оптимальных по обобщенному квадратичному интегральному критерию качества: постановка задачи, сущность и физическая интерпретация критерия качества, вид (структура) оптимального алгоритма.

### **5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен)**

#### ***Контрольные вопросы к экзамену 5 семестр***

1. Определение понятия «управление».
2. Что такое объект управления, какую природу он может иметь?
3. Почему современная теория управления приобрела фундаментальный характер?
4. Предмет изучения теории автоматического управления.
5. Предмет изучения кибернетики, когда и кем были заложены ее основы.
6. Перечислить и охарактеризовать три уровня управления в зависимости от степени участия человека в процессах управления.
7. Что такое САУ и АСУ?
8. Какова роль автоматики и автоматизации в научно-техническом прогрессе?
9. Перечислить и охарактеризовать основные этапы развития систем автоматического управления.
10. Сформулировать и пояснить основные типовые задачи (цели) управления:
  - стабилизации,
  - программного регулирования,
  - слежения,
  - экстремального регулирования,
  - оптимального управления,
  - адаптивного управления.
11. Сформулировать и пояснить с помощью функциональной схемы два фундаментальных принципа управления:
  - по отклонению,
  - по возмущению
12. Что такое «алгоритм управления», привести примеры алгоритмов управления, в том числе записать уравнение ПИД-алгоритма.
13. Система стабилизации скорости вращения вала ДПТ как пример САУ с ООС – привести схему, пояснить принцип действия.

14. Представление об обобщенном объекте управления и САУ комбинированного типа.
15. Что называется математической моделью элемента или системы, каково ее назначение, какие существуют подходы к ее получению.
16. Сущность аналитического подхода к получению мат.модели элемента или системы.
17. Вывод дифференциального уравнения, описывающего RLC-цепь как пример получения математической модели.
18. Сущность экспериментального подхода к получению математической модели, понятие об активном и пассивном экспериментах.
19. Что такое аппроксимация, интерполяция и экстраполяция, что такое МНК?
20. В чем состоит сущность и особенность статической и динамической моделей?
21. Функция как основная форма статической модели, линейная и нелинейная модели.
22. Что такое линеаризация, для чего она делается, какие основные приемы существуют для выполнения линеаризации?
23. Дифференциальное уравнение как основная форма динамической математической модели непрерывной системы
  - почему при моделировании динамики практически всегда приходят к дифференциальным уравнениям,
  - как можно записать ДУ n-порядка, описывающего систему с одним выходом (SISO)
24. Общий вид математической модели непрерывной системы в виде линейного дифференциального уравнения, и его операторная запись, понятие об операторе или передаточной функции системы в операторной форме.
25. Определение преобразования Лапласа и его основные свойства: линейность, теорема о дифференцировании оригинала, теорема о сдвиге, теорема о свертке.
26. Определение передаточной функции линейной непрерывной системы в области изображений по Лапласу и ее связь с оператором и дифференциальным уравнением этой системы.
27. Определение преобразования Фурье, определение комплексного частотного спектра непрерывного процесса, амплитудного и фазового спектров.
28. Определение комплексной частотной характеристики системы, ее связь с передаточной функцией, определение АЧХ, ФЧХ, ВЧХ, МЧХ.
29. Физическая интерпретация частотной характеристики и ее использование для экспериментального получения математической модели системы в виде ЧХ.
30. Графическое представление ЧХ:
  - В виде «обычных» графиков АЧХ, ФЧХ, МЧХ, ВЧХ,
  - В виде годографа КЧХ,
  - В виде ЛЧХ
31. Что такое асимптотическая ЛАЧХ, как она получается для апериодического звена.
32. Понятие о типовых динамических звеньях, каким образом они получаются из ПФ общего вида, перечислить, записать ПФ и дать названия для основных ТДЗ, привести их ЛАЧХ и ЛФЧХ.
33. Как получить АЧХ и ФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ для произведения ПФ (последовательного соединения звеньев).
34. Какие ПФ соответствуют особым ТДЗ?
35. Записать уравнение во временной области и ПФ для звена чистого (транспортного) запаздывания
36. Сформулировать определение и привести основные свойства  $\delta$  – функции
37. Что называется импульсной характеристикой системы?
38. Что называется переходной характеристикой системы?
39. Каким образом ИХ и ПХ связаны между собой и связаны с ПФ?

40. Записать общий вид математической модели в виде СДУ в НФ (в развернутом и кратком векторно-матричном виде).
41. Что такое SISO и MIMO – системы
42. Записать общий вид и привести векторно-матричную запись математической модели в виде линейной СДУ в НФ.
43. Каковы преимущества математической модели в виде СДУ в НФ.
44. Основные правила построения математической модели в виде структурной схемы
45. Каковы основные правила преобразования структурных схем?
46. Что такое принцип суперпозиции, для каких целей и каким образом он используется?
47. В чем состоит сущность задачи анализа САУ, в чем состоят особенности качественного и количественного анализа?
48. Сформулировать определение понятия устойчивости.
49. Необходимые, необходимые и достаточные условия устойчивости линейной непрерывной динамической системы.
50. Алгебраические критерии устойчивости (кр.Гурвица)
51. Сформулировать критерий Михайлова.
52. Понятие о разомкнутой и замкнутой САУ с ООС.
53. Сформулировать критерий Найквиста:
  - для годографа КЧХ,
  - для ЛЧХ.
54. Что такое область устойчивости в пространстве параметров и как она получается?
55. Прямые показатели качества переходных процессов в САУ (для монотонных, апериодических и колебательных процессов)
56. Частотные показатели качества как пример косвенных показателей качества переходных процессов в САУ.

### 6 семестр

1. Определение нелинейных систем, особенности поведения. Типичные нелинейности.
2. Сущность метода пространства состояний и метода фазового пространства (плоскости).
3. Основные свойства фазовых траекторий.
4. Анализ линейных динамических систем на фазовой плоскости. Определение и основные типы особых точек.
5. Исследование релейных САУ методом фазовой плоскости (на примере системы с двухинтеграторной линейной частью, при наличии и отсутствии обратной связи по скорости).
6. Сущность скользящего режима в релейных системах.
7. Сущность автоколебаний в нелинейных динамических системах.
8. Построение фазового портрета методом изоклин.
9. Построение фазового портрета с помощью ПК.
10. Исследование кусочно-линейных динамических систем методом припасовывания.
11. Постановка задачи и основные положения метода гармонического баланса. Сущность гипотезы фильтра.
12. Определения ЭККП и КГЛ.
13. Уравнение гармонического баланса в комплексной форме.
14. Вывод КГЛ на примере 2-х позиционного реле.
15. Свойства КГЛ для неоднозначных и однозначных нелинейностей.
16. Решение уравнения гармонического баланса аналитическим путем
17. Решение уравнения гармонического баланса графическим путем.
18. Использование МГБ для исследования релейных САУ.

19. Исследование устойчивости периодических режимов в нелинейных САУ методом гармонической линеаризации.
20. Исследование процессов в САУ с нелинейностью типа «Насыщение» с помощью МГБ.
21. Основные направления расширения сферы применения МГБ.
22. Постановка задачи об исследовании устойчивости положения равновесия нелинейных систем. Определение устойчивости по Ляпунову.
23. Первый метод Ляпунова для исследования устойчивости.
24. Сущность второго метода Ляпунова для исследования устойчивости динамических систем.
25. Определение абсолютной устойчивости нелинейных САУ.
26. Формулировка критерия В.М.Попова для исследования абсолютной устойчивости нелинейной САУ.
27. Круговой критерий абсолютной устойчивости нелинейной САУ.
28. Классическая формулировка задачи о синтезе САУ.
29. Основы линейного частотного синтеза САУ.
30. Основные правила формирования желаемой ЛАЧХ. (в области средних, низких и высоких частот).
31. Каким образом по ЛАЧХ, полученной в результате частотного синтеза, можно найти передаточную функцию (уравнение) алгоритма управления.
32. Синтез САУ в классе стандартных (типовых) регуляторов (алгоритмов управления):
  - уравнение ПИД алгоритмов управления во временной области и отрасли изображений.
  - метод Циглера-Никольса.
  - сущность методик настройки по параметрам переходной характеристики.
33. Параметрический оптимизационный синтез: постановка задачи, сущность методики.
34. Цифровая реализация стандартных алгоритмов управления.
35. Постановка задачи об экстремальном регулировании и ее особенности.
36. Основные алгоритмы поиска экстремума:
  - метод покоординатной оптимизации
  - симплексный метод
  - метод случайного поиска
37. Поиск экстремума на основе алгоритма Ньютона-Рафсона; градиентных алгоритмов поиска экстремума, их геометрическая интерпретация.
38. Методика оценки градиента на основе экспериментального подхода.
39. Основные особенности использования алгоритмов поиска в СЭР.
40. Формулировка классической задачи об оптимальном управлении непрерывной динамической системой.
41. Классическая форма записи и основные частные случаи критериев оптимальности.
42. Формулировка принципа максимума.
43. Использование принципа максимума для решения задачи Эйлера.
44. Синтез алгоритма управления 2-х интегральным объектом с минимизацией затрат энергии на управление.
45. Синтез оптимального по быстродействию управления 2-х интегральным объектом.
46. Использование принципа максимума для решения задачи Больца, сущность условий трансверсальности.
47. Синтез алгоритма управления оптимального по быстродействию, теорема Фельдбаума об n-интервалах.
48. Синтез оптимальной по быстродействию САУ с использованием обратных связей (на примере системы с 2-х интегральным объектом).
49. Понятие о квазиоптимальных алгоритмах управления.

50. Отыскание параметров оптимального алгоритма управления на основе приближенных итерационных процедур.

51. Синтез алгоритмов управления оптимальных по обобщенному квадратичному интегральному критерию качества: постановка задачи, сущность и физическая интерпретация критерия качества, вид (структура) оптимального алгоритма.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося

#### Темы СРС

Для *самостоятельной работы* студентам предоставляется список тем, которые они должны изучить самостоятельно:

#### 5 семестр

**Тема №1.** Прикладное значение автоматики и систем автоматического управления (по материалам анализа использования САУ в различных областях техники).

**Тема № 2.** Типовые задачи автоматического управления – на примерах из различных областей техники.

**Тема № 3.** Сущность и особенности непрерывных, дискретных и цифровых САУ, линейных и нелинейных САУ – на примерах прикладных систем.

**Тема № 4.** Типовые модели элементов и систем управления. Примеры получения статических и динамических моделей элементов САУ аналитическим и экспериментальным путем. Линеаризация нелинейных характеристик. Получение передаточной функции по дифференциальному уравнению. Получение частотной характеристики (КЧХ, АЧХ, ФЧХ) по передаточной функции. Представления модели через типовые динамические звенья. Изучение временных и частотных характеристик ТДЗ. Изучение техники построения годографа КЧХ и ЛЧХ. Изучение техники построения и преобразования структурных схем.

**Тема № 5.** Анализ САУ в установившихся режимах. Изучение техники статического расчета САУ. Ознакомление с сущностью астатизма. Оценка амплитуды ошибки при периодическом внешнем воздействии на САУ. Оценка СКО при стационарном случайном внешнем воздействии.

**Тема № 6.** Анализ линейных непрерывных динамических САУ. Изучение теории и техники исследования устойчивости линейных САУ с использованием различных условий и критериев. Изучение техники и решение задач по расчету переходных процессов в САУ. Косвенная оценка качества процессов в САУ с использованием частотных, корневых и интегральных методов.

#### 6 семестр

**Тема № 1.** Анализ линейных дискретных САУ. Изучение типовых структур цифровых САУ. Вывод передаточной функции цифрового алгоритма управления. Получение алгоритма по передаточной функции. Изучение методики и разборов примеров получения передаточной функции приведенной непрерывной части цифровой САУ. Исследование устойчивости и расчет переходных процессов в линейных САУ – изучение теории, анализ примеров, решение задач.

**Тема № 2.** Анализ нелинейных САУ. Изучение примеров нелинейных САУ. Анализ техники построения фазовых портретов линейных и нелинейных САУ. Изучение особых точек динамических систем. Решение задач по исследованию САУ с различными типовыми нелинейностями методом фазовой плоскости. Изучение сущности понятия абсолютной устойчивости, ознакомление с гипотезой Айзермана, Калмана, критерием В.М.Попова. Изучение определе-



ния устойчивости по Ляпунову. Ознакомление с выводом уравнения гармонического баланса, техники получения коэффициентов гармонической линеаризации и их свойствами. Изучение способов решения уравнения гармонического баланса (аналитическим и графическим методом), разбор примеров. Проведение расчета процессов в нелинейных САУ с использованием численных методов, в том числе с использованием MATLAB.

**Тема № 3.** Основы синтеза САУ. Изучение методик расчета параметров настройки ПИД – алгоритмов управления. Решение задач по настройке ПИД-регулятора для заданной модели объекта управления. Ознакомление с методами синтеза САУ на основе частотного, корневого и интегральных подходов. Решение задач по синтезу алгоритмов управления для заданного объекта управления. Ознакомление с методологией и решение задач по определению структуры и параметров корректирующего устройства или цифрового алгоритма управления, реализующих синтезированный алгоритм управления.

**Тема № 4.** Задачи и методы экстремального регулирования и оптимального управления. Ознакомление с объектами, имеющими статическую характеристику экстремального типа, и факторами, порождающими ее возможную деформацию и сдвиг. Изучение алгоритмов поиска экстремума и анализ особенностей их использования в СЭР. Ознакомление с прикладными задачами оптимального управления и используемыми критериями оптимальности. Ознакомление с научными направлениями, которые могут быть использованы при синтезе оптимальных алгоритмов динамического управления.

### Содержание курсовой работы

Для выполнения курсовой работы студентам выдаются темы с индивидуальными числовыми параметрами:

1. Разработка и исследование автоматической системы регулирования скорости двигателя постоянного тока.
2. Моделирование автоматической системы регулирования скорости нелинейной обратной связью по току.
3. Моделирование и исследование цифровой системы регулирования скорости двигателя постоянного тока.
4. Расчет и исследование следящего электропривода.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
1	2	3
<b>Основная литература</b>		
1. Ушаков А.В., Вундер (Полинова) Н.А. Современная теория управления. Дополнительные главы: Учебное пособие для университетов / Под ред. А. В. Ушакова – СПб.: Университет ИТМО, 2015. 182 с., 43 ил.	2015	<a href="https://books.ifmo.ru/file/pdf/1722">https://books.ifmo.ru/file/pdf/1722.</a>
Дядик В.Ф. Теория автоматического управления: учебное пособие/ В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.	2011	<a href="https://portal.tpu.ru/SHARED/d/DYADIK/study/tau/Tab/posobie_tau">https://portal.tpu.ru/SHARED/d/DYADIK/study/tau/Tab/posobie_tau.</a>
Карпов А.Г. Теория автоматического управления. Часть 1: Учебное пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. – 212 с. ISBN 978-5-9130-2131-1	2011	<a href="https://edu.tusur.ru/publications/6249/download">https://edu.tusur.ru/publications/6249/download</a>
Моделирование систем управления с применением Matlab: Учебное пособие / А.Н. Тимохин, Ю.Д. Румянцев. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 256 с.: ISBN 978-5-16-010185-9	2016	
Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления: учеб. пособие. — СПб.: Профессия, 2007.	2007	
Бесекерский В.А., Попов Е.П. 4-е изд // Теория систем автоматического управления. — СПб.: Профессия, 2003.		
<b>Дополнительная литература</b>		
Пронин А.И. Теория автоматического управления – Учеб пособие/ А.Т.Пронин, Е.Б.Щелкунов – 2 изд. Доп. Комсомольск-на-Амуре. ФГБОУ ВПО «КНАГТУ» ISBN978-5-7765-1132-5	2015	<a href="https://knastu.ru/media/files/page_files/page_421/posobiya">https://knastu.ru/media/files/page_files/page_421/posobiya</a>
В.И.Гаркушенко, Г.Л.Дегтярев. Теория автоматического управления: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. 274с.	2010	<a href="https://kai.ru/documents/11101069/1120396/">https://kai.ru/documents/11101069/1120396/</a>

## **6.2. Периодические издания**

1. «Автоматика и телемеханика», ISSN 000-5-2310
2. «Информационно-измерительные и управляющие системы» ISSN 2070-0814
3. «Мехатроника, автоматизация, управление» ISSN 1684-6427
4. «Теория и системы управления» ISSN 0002-3388
5. «Известия ВУЗов. Приборостроение» ISSN 0021-3454
6. «Динамика сложных систем» ISSN 1999-7493

## **6.3. Интернет-ресурсы**

1. IXBT – новостной сайт с разборами техники, информационных технологий и новых программных продуктов
2. Slashdot – сайт, на котором представлены новости о науке, технике и политике.
3. Computerworld Россия — сайт, где публикуются обзоры событий индустрии информационных технологий в России и в мире, а также примеры успешных внедрений информационных систем на российских предприятиях.
4. DWG — сайт для проектировщиков и инженеров, снабженный всей необходимой справочной информацией.

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

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Лабораторные занятия проводятся в компьютерных классах кафедры ВТиСУ 109-3, 111-3, 117-3, оснащенных современными персональными компьютерами с установленной операционной системой Windows 8 (10).


Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MS DOS фирмы Microsoft (режим эмуляции), Windows 2008, MS Office 2010, лицензированные пакеты автоматизированного конструкторского и технологического проектирования Protel, Altium Designer Summer.

Рабочую программу составил к.т.н., профессор \_\_\_\_\_

А.А.Галкин

Рецензент (представитель работодателя):

начальник лаборатории ЗАО «Автоматика» \_\_\_\_\_

  
В.М. Дерябин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ВТ и СУ

Протокол № 1 от 24.08.2021 года


Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

  
В.Н. Ланцов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
Направления «Управление в технических системах»

Протокол № 1 от 24.08.21 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

  
А.Б.Градусов

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины

*НАИМЕНОВАНИЕ*

образовательной программы направления подготовки *код и наименование ОП*, направленность:  
*наименование (указать уровень подготовки)*

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

*Подпись*

*ФИО*