

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»  
(БГТУ им. В. Г. Шухова)



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины (модуля)

Теория автоматического управления

Направление подготовки (специальность):

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность программы (профиль, специализация):

Мехатроника и робототехника

Квалификация:

бакалавр

Форма обучения

очная

Институт Энергетики, информационных технологий и управляющих систем


Кафедра Технической кибернетики

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 15.03.06 Мехатроника и робототехника (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1046 от 17 августа 2020 г.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В. Г. Шухова в 20 21 году.

Составитель (составители):

канд. техн. наук  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

Е. Б. Кариков  
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 14 » 05 20 21 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой:

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

В. Г. Рубанов  
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей(ими) кафедрой(ами)

Технической кибернетики

(наименование кафедры/кафедр)

Заведующий кафедрой:

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

В. Г. Рубанов  
(инициалы, фамилия)

« 14 » 05 20 21 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 20 » 05 20 21 г., протокол № 9

Председатель:

канд. техн. наук, доц.  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

А. Н. Семернин  
(инициалы, фамилия)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
ОПК-13 Способен применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности.	ОПК-13.1 Выбирает и использует стандартные методы расчета при проектировании робототехнических систем	<b>Знать:</b> принципы построения и математического описания систем, методы анализа устойчивости и качества, методы синтеза законов управления робототехническими системами <b>Уметь:</b> производить расчет динамических свойств систем, осуществлять синтез корректирующих устройств и законов управления <b>Владеть:</b> способностью проводить экспериментальные исследования систем и обработку результатов
	ОПК-13.3 Производит расчет элементов систем управления роботов, с получением их математических моделей	<b>Знать:</b> подходы к составлению математических моделей элементов и систем <b>Уметь:</b> собирать необходимый материал и использовать математический аппарат и физические законы для получения математических моделей <b>Владеть:</b> методами анализа и синтеза систем управления роботов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

**1. Компетенция** ОПК-13 Способен применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Теория автоматического управления
2	Электронные устройства мехатронных и робототехнических систем
3	Технические средства систем управления роботов
4	Метрология и средства измерений в робототехнике
5	Проектирование робототехнических систем

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 18 зач. единиц, 648 часов.

Форма промежуточной аттестации экзамен.

Вид учебной работы	Всего часов	Се- местр № 4	Се- местр № 5	Се- местр № 6
Общая трудоемкость дисциплины, час	648			
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в том числе:</b>	<b>255</b>	<b>85</b>	<b>68</b>	<b>85</b>
лекции	119	34	34	51

лабораторные	51	17	17	17
практические	68	34	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	17	5	5	7
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	<b>393</b>	<b>140</b>	<b>124</b>	<b>129</b>
курсовой проект	54	0	0	54
курсовая работа	0	0	0	0
расчетно-графическое задание	18	18	0	0
индивидуальное домашнее задание	0	0	0	0
самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	213	86	88	39
экзамен	108	36	36	36

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Наименование тем, их содержание и объем

Курс   2  . Семестр   4  

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Общие сведения о системах автоматического управления</b>					
	История развития теории автоматического управления. Понятие об объекте управления, управляющем устройстве и видах воздействия. Примеры управляемых объектов и систем автоматического управления. Классификация систем автоматического управления. Понятие о классификационных признаках. Классификация систем управления по характеру внутренних динамических процессов и виду уравнений, описывающих динамические процессы. Принципы построения систем автоматического управления.	2	2		3
<b>2. Виды математических моделей объектов и систем управления</b>					
	Понятие о моделях систем автоматического управления. Виды моделей. Математические модели в области действительного переменного: уравнения движения, формы их представления (классическая, форма Коши, векторно-матричная). Модели систем в области комплексного переменного: а) преобразование Лапласа и его свойства, б) передаточная функция, в) векторно-матричная передаточная функция, г) частотная форма модели системы. Типовые входные воздействия. Переходная и импульсная переходная (весовая) временные характеристики систем и их показатели качества. Частотные характеристики систем объектов и систем управления	4	2		10
<b>3. Элементарные динамические звенья и их характеристики</b>					
	Временные и частотные динамические характеристики элементарных динамических звеньев, описываемых дифференциальными уравнениями не выше второго порядка (усилительное (безынерционное) звено; интегрирующее звено; идеальное дифференцирующее звено; форсирующее звено 1-го порядка; инерционное (апериодическое) звено; форсирующее звено 2-го порядка; колебательное звено; звено с запаздыванием)	10	4	10	27
<b>4. Структурные схемы объектов и систем управления</b>					
	Передаточные функции последовательного, параллельного и встречно-параллельного соединения эле-	4	2	8	14

	ментов в системе. Правила преобразования структурных схем. Передаточные функции разомкнутых и замкнутых систем автоматического управления. Частотные характеристики последовательного и параллельного соединений звеньев. Векторно-матричные модели систем управления.				
<b>5.</b>	<b>Математические модели объектов и элементов автоматики</b>				
	Математические модели объектов управления, электромеханических элементов автоматики в классической форме и в форме передаточных функций и структурных схем.	6		8	10
<b>6.</b>	<b>Математические модели нелинейных элементов систем</b>				
	Общие свойства статических характеристик нелинейных элементов. Типовые статические характеристики нелинейных элементов.	2	4	8	11
<b>7.</b>	<b>Понятие о конечно-разностных уравнениях и передаточных функциях дискретных систем</b>				
	Конечно-разностные уравнения, z-преобразование. Передаточные функции дискретных систем. Цифровые модели динамических процессов. Цифровые модели элементарных динамических звеньев.	6	3		11
	<b>ВСЕГО</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>86</b>

### Курс 3. Семестр 5

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>Общие свойства систем</b>					
1	Основные понятия, задачи теории управления, информация и принципы управления. Предмет теории управления как раздела кибернетики. Понятие об управлении, системе и среде. Обмен информацией между управляемой системой и средой. Понятие обратной связи. Цели и задачи, решаемые теорией управления.	1			2
2	Классификация систем управления, поведение объектов и СУ. Понятие о классификационных признаках. Классификация систем по физической или социальной природе объектов (технических, технологических, эргатических, организационных) управления. Классификация систем по характеру внутренних динамических процессов, по виду уравнений, описывающих процессы в системах, по ошибке при обработке ступенчатого воздействия, по объему используемой информации и характеру изменения задающего воздействия.	1			2

3	Примеры систем управления. Поплавковый регулятор уровня жидкости. Регулятор скорости вращения якоря электрического двигателя постоянного тока. Следящая система.	2			4
4	Функциональные системы автоматических систем управления. Принципы построения автоматических систем управления. Функциональные схемы систем управления. Функционально-необходимые элементы автоматических систем. Виды обратных связей. Законы управления.	2	1		4
5	Математические модели систем и сигналов, линейные непрерывные модели, модели «вход-выход», модели «вход-состояние-выход». Уравнение движения. Статическая характеристика. Модели действительного и комплексного переменного. Векторно-матричное описание сигналов. Модели «вход-состояние-выход». Графовые модели. Преобразование форм представления моделей.	2	1		8
6	Структурные схемы систем и методы их преобразования. Структурная схема автоматической системы. Преобразование структурных схем линейных систем. Виды передаточных функций систем. Передаточные функции статических и астатических систем. Оценка точности астатических систем.	4	1	2	8
Методы анализа и синтеза линейных систем					
7	Анализ основных свойств линейных систем управления. Устойчивость линейных автоматических систем. Определение устойчивости автономных и неавтономных систем. Условие устойчивости автономных систем по Ляпунову. Критерии устойчивости: Гурвица, Михайлова, Найквиста, логарифмический критерий устойчивости. Критический коэффициент усиления систем. Д-разбиение в плоскости одного и двух параметров	8	6	6	14
8	Наблюдаемость и управляемость систем управления, инвариантность, чувствительность. Физическое содержание понятия наблюдаемость систем. Виды наблюдаемости в пространстве состояния. Условие наблюдаемости линейных стационарных систем. Физическое содержание понятия управляемости по Калману. Принцип двойственности в теории управляемости и наблюдаемости. Понятие инвариантности динамических управляемых систем.	2			13
9	Качество переходных процессов в линейных системах управления. Методы анализа качества линейных автоматических систем Прямые и косвенные методы оценки качества линейных систем. Оценка качества систем во временной области с использованием электронной модели и модели в форме пространства состояния. Косвенная оценка качества по вещественной частотной характеристике и с применением метода корневого годографа.	6	6	2	13

	Интегральные методы оценки качества.				
10	Задачи и методы синтеза линейных автоматических систем Параметрический синтез систем с использованием интегральных оценок. Автоматические регуляторы, реализующие требуемые законы управления, как средства стабилизации и повышения качества регулирования. Методы повышения статической точности, методы увеличения запаса устойчивости. Методы синтеза корректирующих устройств. Синтез корректирующих устройств по ЛАЧХ, по корневому годографу.	6	3	6	20
	ВСЕГО	34	17	17	88

### Курс 3. Семестр 6

Методы анализа и синтеза нелинейных систем					
11	Нелинейные модели систем управления и их свойства. Особенности нелинейных автоматических систем регулирования и управления. Нарушение принципов коммутативности и суперпозиции. Зависимость характера выходного сигнала от уровня входного сигнала и начальных условий. Виды устойчивости в нелинейных системах. Типы нелинейностей и виды статических характеристик нелинейных элементов.	3	1		2
12	Анализ равновесных режимов. Косвенные методы оценки устойчивости нелинейных систем (точные методы исследования). Первый и второй методы Ляпунова частотный метод исследования абсолютной устойчивости. Определение свойства устойчивости нелинейных систем. Второй метод Ляпунова. Геометрическая интерпретация. Теоремы Ляпунова об асимптотической и автоколебательной устойчивости. Абсолютная устойчивость нелинейных систем. Метод Попова.	4	2	2	3
13	Анализ поведения системы управления на фазовой плоскости. Прямые методы оценки устойчивости и качества нелинейных систем (точные методы исследования). Метод фазовой плоскости. Фазовые траектории. Предельные циклы. Метод изоклин. Анализ равновесных режимов. Особые точки фазовой плоскости: центр, фокус, узел, седло. Особые точки и фазовые траектории нелинейных систем непрерывного и разрывного классов. Метод припасовывания. Иллюстрация на примере релейной следящей системы.	6	3	4	2
14	Структурные способы улучшения качества управления. Организация скользящего режима как метод улучшения качества управления. Системы с переменной структурой. Скользящий режим в системах с переменной структурой.	2	2	2	3
15	Исследование периодических режимов методом гармонического баланса. Гармоническая линеаризация нелинейных систем (приближенные методы исследования периодических режимов с нелинейных систе-	10	4	6	2



	мах). Физические основы метода гармонической линеаризации. Гармоническая линеаризация нелинейностей. Коэффициенты гармонической линеаризации. Эквивалентный комплексный коэффициент передачи нелинейного элемента. Линеаризованная модель нелинейной системы. Метод Гольдфарба. Частота и амплитуда периодических колебаний. Алгебраический метод свободных одночастотных колебаний. Анализ симметричных одночастотных вынужденных колебаний. Исследование вынужденных одночастотных периодических колебаний. Режимы захватывания.				
16	Методы коррекции нелинейных автоматических систем. Способы коррекции. Линейная коррекция. Нелинейные корректирующие устройства. Псевдолинейные корректирующие устройства. Их свойства. Оценка косвенных показателей качества по ЛАЧХ.	2			2
Оптимальные системы АУ					
17	Оптимальные системы управления. Критерии оптимальности. Постановка задачи оптимального управления. Методология выбора минимизируемого функционала. Классификация минимизируемых функционалов. Особенности стабилизирующего оптимального управления.	2			2
18	Методы теории оптимального управления: классическое вариационное исчисление, принцип максимума, динамическое программирование. Классическое вариационное исчисление. Принцип максимума Понтрягина. Метод динамического программирования Беллмана.	6			3
19	Оптимальные по быстродействию системы управления, расходу ресурсов и расходу энергии. Принцип максимума для оптимальных по быстродействию систем. Теорема об $n$ -интервалах. Примеры синтеза оптимальных по быстродействию систем. алгоритмов управления методом вариационного исчисления и с помощью принципа максимума для различных объектов управления.	4	4		3
5. Динамические системы АУ					
20	Линейные дискретные модели: основные понятия дискретных СУ. Классификация дискретных СУ. Классификация дискретных систем. Математические модели дискретных систем. Амплитудный импульсный элемент. Формирователь. Решетчатая функция. Конечно-разностные управления. Дискретное преобразование Лапласа. $z$ – преобразование. Передаточные функции дискретных систем. Частотные характеристики.	4			4
21	Анализ и синтез дискретных систем. Понятие устойчивости дискретных систем по Ляпунову. Аналоги критериев Устойчивости Найквиста. Михайлова.	2			2
22	Цифровые автоматические системы. Структура цифровых систем. Передаточные функции ЦАС. Передаточные функции ЦВМ, реализующей	2	2	2	3

	алгоритмы линейных законов управления: пропорционального, интегрального, ПИД - закона и т.п. Методы синтеза.				
23	Анализ качества цифровых автоматических систем. Источники ошибок. Эффекты квантования. Методы построения переходной характеристики цифровых систем.	1			2
<b>6. Оптимальные системы АУ</b>					
24	Понятие об адаптивных системах. Постановка задачи адаптивного управления. Параметрически адаптивные системы управления. Прямой алгоритм адаптивного управления. Структура адаптивных систем. Методы адаптивного управления.	1			2
25	Системы экстремального регулирования. Понятие экстремального управления. Методы нахождения экстремума однопараметрических объектов. Экстремальные системы, реагирующие на знак или величину производной. Системы с запоминанием экстремума. Экстремальные системы со вспомогательной модуляцией. Алгоритмы систем экстремального управления (переходные процессы и периодические движения).	2			4
	<b>ВСЕГО</b>	<b>51</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>39</b>

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
<b>семестр №4</b>				
1	Общие сведения о системах автоматического управления	Принципы построения систем автоматического управления. Функционально-необходимые элементы систем и функциональные схемы систем.	2	2
2	Виды математических моделей объектов и систем управления	Математические модели элементов и систем автоматического управления. Классификация моделей. Математический аппарат описания моделей.	4	3
3	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Динамические характеристики элементов и систем. Способы их получения. Иллюстрация на примерах элементарных динамических звеньев.	4	3
4	Структурные схемы объектов и систем управления	Соединение элементарных динамических звеньев. Правила преобразования структурных схем. Правила построения частотных характеристик при различных соединениях звеньев.	6	3
5	Математические модели нелинейных элементов систем	Типовые нелинейные характеристики. Их математические модели.	2	2
6	Математические модели нелинейных	Эквивалентный комплексный коэффициент передачи нелинейного звена.	6	4

	элементов систем	Получение коэффициентов гармонической линеаризации для различных типов нелинейных статических характеристик.		
7	Понятие о конечно-разностных уравнениях и передаточных функциях дискретных систем	Математические модели дискретного элемента и цифровой системы управления. Методы получения решетчатых переходных функций по z-передаточной функции.	6	4
8	Понятие о конечно-разностных уравнениях и передаточных функциях дискретных систем	Построение комплексных частотных характеристик дискретной системы.	4	4
<b>семестр №5</b>				
1		Типовые структуры систем автоматического управления и методы их преобразования.		
2		Критерий устойчивости Ляпунова, Гурвица		
3		Критерий устойчивости Михайлова		
4		Критерий устойчивости Найквиста		
5		Логарифмический критерий устойчивости		
6		Методы анализа качества линейных систем		
7		Корректирующие устройства и методы их синтеза		
<b>семестр №6</b>				
1		Второй метод Ляпунова, метод Попова		
2		Построение фазовых портретов свободного движения линейных объектов 2-го порядка		
3		Анализ релейных систем автоматического управления методом фазовой плоскости, скользящие режимы		
4		Гармоническая линеаризация типовых нелинейных характеристик		
5		Анализ автоколебательных процессов в релейных системах автоматического управления методом гармонического баланса		
6		Вариационные методы оптимизации. Принцип максимума Понтрягина.		
7		Анализ качества цифровых систем и синтез цифровых законов управления.		
<b>ИТОГО:</b>			<b>34</b>	<b>25</b>
<b>ВСЕГО:</b>			<b>34</b>	<b>25</b>

### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
-------	---------------------------------	----------------------------	------------	----------------

семестр № 4				
1.	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Изучение аналогового вычислительного комплекса АВК-6.	2	2
2.	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Исследование динамических характеристик элементарных звеньев первого порядка на АВК-6	2	2
3.	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Изучение пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	2	2
4.	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Исследование статических и динамических характеристик элементарных звеньев первого и второго порядка с использованием пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	2	2
5.	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Исследование влияния обратной связи на динамические свойства элементарных динамических звеньев на АВК-6 и пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	3	3
6.	Структурные схемы объектов и систем управления	Моделирование типовых нелинейностей на АВК-6 и с использованием пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	2	2
7.	Математические модели нелинейных элементов систем	Изучение пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	4	4
семестр № 5				
1.	Математические модели систем и сигналов, линейные непрерывные модели, модели «вход-выход», модели «вход-состояние-выход». Структурные схемы систем и методы их преобразования.	Математические модели и структурные преобразования.	3	
2.	Анализ основных свойств линейных систем управления. Устойчивость линейных автоматических систем.	Устойчивость линейных динамических систем. Экспериментальная оценка устойчивости системы при охвате ее единичной отрицательной обратной связью. Наблюдение свободного движения замкнутой системы при ненулевых начальных условиях. Определение критического коэффициента усиления разомкнутой системы: по частотным характеристикам, по свободному движению замкнутой системы, теоретически (с помощью критериев устойчивости). Экспериментальное определение запаса устойчивости по фазе и	6	

		амплитуде.		
3.	<p>Качество переходных процессов в линейных системах управления. Методы анализа качества линейных автоматических систем</p>	<p>Повышение точности систем автоматического управления в установившемся режиме.</p> <p>Анализ влияния коэффициента усиления разомкнутой системы на величину статической и динамической ошибки.</p> <p>Подтверждение результатов анализа теоретическими рассуждениями.</p> <p>Проанализировать состояние системы при введении неединичной отрицательной обратной связи. Анализ статической ошибки системы и влияние коэффициента усиления усилительного звена на характер переходного процесса, обоснование результатов эксперимента теоретически.</p>	2	
4.	<p>Качество переходных процессов в линейных системах управления. Методы анализа качества линейных автоматических систем</p> <p>Задачи и методы синтеза линейных автоматических систем</p>	<p>Анализ качества линейных систем автоматического управления. Статические и астатические системы.</p> <p>Наблюдение характера свободного движения системы при ненулевом начальном условии с одновременным анализом значения интеграла. Определение для исследуемой системы зависимости оптимального коэффициента усиления. Экспериментально подтвердить теоретический результат.</p>	2	
5.	<p>Качество переходных процессов в линейных системах управления. Методы анализа качества линейных автоматических систем</p> <p>Задачи и методы синтеза линейных автоматических систем</p>	<p>Системы автоматического управления с ПИД-регулятором.</p> <p>Исследовать временные и частотные характеристики ПИД-регулятора.</p> <p>Реализовать на АВК модель объекта управления и исследовать его временные и частотные характеристики по передаточной функции. Определение значения критерия качества переходного процесса. Методом пошагового спуска определить оптимальные параметры настроек ПИ-регулятора при ограничении на корневой показатель абсолютного затухания и на корневой показатель колебательности.</p>	4	
семестр № 6				
1.	<p>Нелинейные модели систем управления и их свойства</p> <p>Анализ равновесных режимов. Косвенные методы оценки устойчивости нелинейных систем (точные методы исследования). Первый и второй</p>	<p>Типовые нелинейности систем автоматического управления.</p> <p>Изучение назначения органов настройки нелинейной зависимости. Исследование статической характеристики последовательного соединения нелинейного элемента и усилительного звена. Анализ характеристики при охвате обратной связью последовательного соединения усилительного</p>	3	

	методы Ляпунова частотный метод исследования абсо- лютной устойчивости.	звена и нелинейного элемента с коэф- фициентом передачи.		
2.	Анализ поведения системы управления на фазовой плоскости. Прямые методы оценки устойчивости и качества нелиней- ных систем (точные методы исследова- ния).	Анализ движения управляемых объек- тов методом фазовой плоскости Практическое получение уравнения состояния объекта и уравнения изо- клин. Выбор коэффициента при раз- личных случаях расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости. Получение фазового портрета при свободном и вынужденном движении объекта.	2	
3.	Анализ поведения системы управления на фазовой плоскости. Прямые методы оценки устойчивости и качества нелиней- ных систем (точные методы исследова- ния).	Исследование релейных систем авто- матического управления методом фазовой плоскости. Реализация модели релейной системы. Исследование свободного движения системы при различных типах реле. Введение коррекции по скорости и исследование влияния коэффициента обратной связи по скорости на дина- мику системы при различных типах реле.	2	
4.	Структурные способы улучшения качества управления.	Системы автоматического управления с переменной структурой. Реализация нелинейной характери- стики при использовании нелинейного блока.	2	
5.	Исследование перио- дических режимов методом гармониче- ского баланса. Гармо- ническая линейариза- ция нелинейных систем (приближен- ные методы исследо- вания периодических режимов с нелиней- ных системах).	Структурный анализ периодических сигналов. Гармоническая линейариза- ция. Исследование спектрального состава прямоугольного сигнала генератора АВК. Изучение гармонической линейа- ризации. Построение графиков зави- симости коэффициента гармонической линейаризации нелинейностей от амплитуды входного сигнала.	4	
6.	Исследование перио- дических режимов методом гармониче- ского баланса. Гармо- ническая линейариза- ция нелинейных систем (приближен- ные методы исследо- вания периодических режимов с нелиней- ных системах).	Исследование нелинейных систем методом гармонического баланса. Исследование теоретически возможно- сти возникновения автоколебаний. Вычисление амплитуды автоколебаний и анализ их устойчивости.	2	
7.	Цифровые автоматиче- ские системы.	Исследование цифровых систем реализация и исследование цифровых	2	

	законов управления.		
		ИТОГО:	17 17
		ВСЕГО:	17 17

#### 4.4. Содержание курсового проекта/работы

Примерный перечень тем курсовых проектов:

1. Система регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока.
2. Система стабилизации напряжения генератора постоянного тока.
3. Система стабилизации температуры печи.
4. Релейная следящая система.
5. Система стабилизации температуры релейного класса.
6. Система экстремального регулирования непрерывного класса.
7. Система экстремального регулирования шагового типа.
8. Оптимальная система управления транспортным роботом.

Целью выполнения курсового проекта является получение навыков проектирования систем автоматического управления различных объектов и закрепление теоретических знаний, полученных при изучении лекции и на практических занятиях при решении задач.

Для данного объекта управления строится математическая модель, разрабатывается структура системы управления, осуществляется статический расчет и исследуется динамика синтезированной системы. Задание охватывает линейные, нелинейные, дискретные, оптимальные классы систем.

При этом следует иметь в виду, что каждая из тем курсового проекта предполагает различные варианты в подходе и реализации принципиальной схемы системы, что оговаривается в задании. Кроме того, для заданного способа реализации принципиальной схемы система предусматривается множества вариантов, ограничивающих свойства объекта управления, что в комплексе делает задание исключительно индивидуальным.

#### Краткое содержание и объем курсовой работы

Расчетно-пояснительная записка к курсовой работе объемом 25–30 страниц машинописного текста, выполненного с соблюдением требований ЕСКД как к текстовой части, так и к графическому исполнению. Она должна включать следующие разделы:

1. Введение (отражается актуальность построения и применения систем данного класса и назначения).
2. Разработка функциональной схемы и выбор функционально-необходимых элементов (осуществляется анализ существующих схемных решений, предложение по выбору рационального решения, с обоснованием такого выбора, статический расчет элементов и выбор этих элементов из существующей номенклатуры с обоснованием).
3. Разработка структурной схемы системы (построение математических моделей объекта управления и всех функционально-необходимых элементов с выводом уравнений движения и получением передаточных функций, определение передаточных функций разомкнутой и замкнутой систем).

4. Анализ динамики системы (построение частотных характеристик, используемых для оценки устойчивости по заданному методу, проверка на соответствие требованиям по качеству, предложения по синтезу законов управления).
5. Синтез структуры системы, удовлетворяющей требуемым параметрам качества или критерию оптимальности (выбор и обоснование метода синтеза, синтез и оценка качества синтезированной системы со сравнением с заданием).
6. Выводы.
7. Список литературы (в соответствии с требованиями ЕСКД).
8. Оглавление.

#### **4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий**

Расчетно-графическое задание имеет своей целью закрепить теоретические знания, полученные при изучении лекционного материала, и практические навыки, приобретенные в процессе выполнения лабораторных работ и решения задач на практических занятиях.

Расчетно-графическое задание выполняется на основе полученного студентами типового задания структуры с индивидуальным вариантом номенклатуры звеньев, входящих в структуру, и числовых значений параметров звеньев.

В расчетно-графическом задании предусматривается получение передаточных функций разомкнутой и замкнутой систем на основе передаточных функций элементарных динамических звеньев с учетом последовательного, параллельного и встречно-параллельного их соединения; построение частотных характеристик отдельных звеньев (КЧХ, АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ) и соединения в целом (КЧХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ); построение математической модели, соответствующей результирующей передаточной функции, и определение по ней модели соединения в форме пространства состояния.

Расчетно-пояснительная записка должна быть оформлена по требованиям ЕСКД и должна содержать изложение теоретических вопросов, основных математических выводов, расчетные данные, оформленные в таблицы и графики. Примерный объем 25 – 30 страниц машинописного текста. Библиография должна быть приведена в соответствии с требованиями ЕСКД.

На выполнение РГЗ предусмотрено 36 часов самостоятельной работы студента.



## Задание

Задана обобщенная структурная схема (рис.1) и коэффициенты дифференциальных уравнений, описывающих элементы этой системы. Каждый элемент системы описывается в общем виде дифференциальным уравнением не выше второго порядка:

$$a_2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0 x(t) = b_1 \frac{dg(t)}{dt} + b_0 g(t), \quad (1)$$

где  $x(t)$  — выходная,  $g(t)$  — входная величина элемента;  $a_i, b_i (i=0,1,2)$  — постоянные коэффициенты.

Значение коэффициентов дифференциальных уравнений элементов 1, 2 и 3 системы выбираются из табл. 1 по предпоследней цифре шифра зачетной книжки, а коэффициенты уравнений элементов 4-7 из табл. 2 по последней цифре шифра зачетной книжки студента.

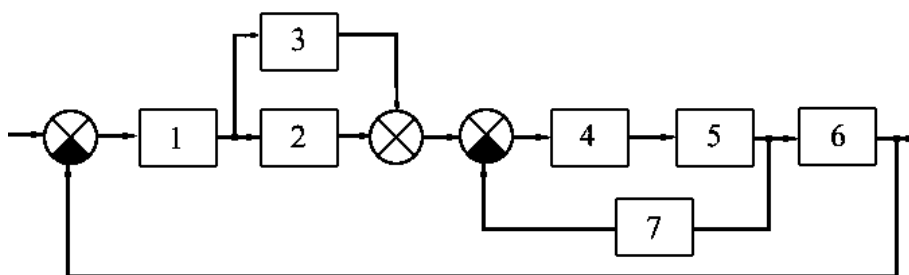


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы

Таблица 1

№ Пред-ья цифра зачетной книжки	1 элемент				2 элемент				3 элемент			
	$b_1=0$				$a_2=0$				$a_2=0$			
	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$b_0$	$a_1$	$a_0$	$b_1$	$b_0$	$a_1$	$a_0$	$b_1$	$b_0$
0	0	0,05	1	5,5	2	1	0,4	0	2	1	0	1
1	0,16	4,08	2	10	0	1	0	2	0	1,5	1,5	0
2	0	0,066	2	15	0,25	1	0	1	0	0	0	0
3	0	0,028	1	4	0	1,5	0	2,25	1	0	0	1,5
4	0	0,075	3	12	6	2	0,4	2	0	0	0	0
5	0	0,022	1	6,5	1	1	0	1	1	1	0,2	0
6	0,05	2,52	1	2	0	1,5	3,0	0	0	0,5	0	4
7	0	0,054	3	7,5	0	0	0	0	0,25	2	0	2
8	0	0,016	1	3,5	2	0	0	6	0	1	0	1
9	0	0,03	2	10	0	0	0	0	1	1	1,16	1

Таблица 2

№ элемента	4 элемент		5 элемент				6 элемент			7 элемент		
Последняя цифра зачетной книжки	$b_1 = a_2 = a_1 = 0$		$b_1 = 0$				$b_1 = a_2 = 0$			$a_2 = a_1 = 0$		
	$a_0$	$b_0$	$a_2$	$a_4$	$a_0$	$b_0$	$a_4$	$a_0$	$b_0$	$a_0$	$b_1$	$b_0$
0	0,1	12	0,75	3	0	0,3	0	0,4	10	2	4	0
1	0,2	25	0	1,2	4	0,4	1	0	12	4	0	1,6
2	0,2	80	0	1	0	1	2	0	7	1	0	0,1
3	0,5	100	0,2	2	0	0,4	0	0,5	1	5	0,5	0
4	0,3	48	0	1	5	1,25	4	0	10	1	0	0,1
5	0,5	125	0	0,5	0	1	1	0	4,4	3	0	0,6
6	0,1	10	0,8	2	0	3	0	1	1	2	1,2	0
7	0,5	70	0	0,3	1	0,2	0,2	0	3	2	0	1
8	0,2	32	0	1	0	0,5	0,5	0	4	1	0	0,25
9	0,1	19	0,75	1,5	0	0,15	0	1	20	1	1	0

### Требуется:

1. Записать дифференциальные уравнения элементов системы. Найти передаточные функции этих элементов и их структурную схему.
2. Получить структурно-динамическую схему системы. Определить передаточные функции разомкнутой и замкнутой системы.
3. Записать дифференциальное уравнение замкнутой системы.
4. Построить комплексные частотные характеристики элементарных звеньев, входящих в систему.
5. Построить амплитудные и фазовые частотные характеристики звеньев.
6. Построить КЧХ разомкнутой системы.
7. Построить ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.
8. Найти частоту среза.
9. Построить модель соединения по его разомкнутой передаточной функции  $W(s)$ , соответствующую векторно-матричному представлению соединения.
10. Найти матрицы состояния, управления, измерения и переходов (A, B, C, D) и записать уравнения состояния и выхода.

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1. Реализация компетенций

**1. Компетенция** Компетенция ОПК-13 Способен применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности..

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ОПК-13.1 Выбирает и использует стандартные методы расчета при проектировании робототехнических систем	защита РГЗ, защита лабораторных работ, дифференцированный зачет при защите курсового проекта, экзамен
ОПК-13.3 Производит расчет элементов систем управления роботов, с получением их математических моделей	защита РГЗ, защита лабораторных работ, дифференцированный зачет при защите курсового проекта, экзамен

## 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

### 5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена / дифференцированного зачета / зачета

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что является предметом изучения теории автоматического управления?</li> <li>2. Перечислите проблемы, решаемые теорией управления.</li> <li>3. В чем состоят задачи анализа и синтеза систем?</li> <li>4. Какие воздействия действуют на объекты и системы управления? Дайте определение этим воздействиям.</li> </ol>
2	2	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Из каких соображений выбираются классификационные признаки автоматических систем управления?</li> <li>6. Приведите классификационные признаки при классификации динамических систем автоматического управления?</li> <li>7. Дайте определение статическим и астатическим системам.</li> <li>8. Проиллюстрируйте свойства статических и астатических систем на примере.</li> <li>9. Какие бывают виды самонастраивающихся систем?</li> </ol>
3	3	<ol style="list-style-type: none"> <li>10. Проиллюстрируйте на примере реализацию автоматического управления различными объектами.</li> </ol>
4	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>11. Дайте определение функциональной схемы системы автоматического управления.</li> <li>12. Перечислите функционально-необходимые элементы автоматических систем.</li> <li>13. Перечислите виды обратных связей.</li> <li>14. Перечислите принципы построения автоматических систем и укажите особенности в их реализации.</li> <li>15. Дайте определение закона управления.</li> <li>16. Перечислите основные виды линейных законов управления и приведите их математические модели.</li> </ol>

		<p>17. Проведите сравнительную характеристику линейных законов управления.</p> <p>18. Какие виды нелинейных законов управления вы знаете?</p>
5	5	<p>19. Что такое математическая модель объекта или системы управления?</p> <p>20. Какие вы знаете формы представления математических моделей систем?</p> <p>21. Что такое уравнение движения системы?</p> <p>22. Дайте определение статической характеристики системы.</p> <p>23. Перечислите этапы составления уравнения движения системы.</p> <p>24. В чем состоит линеаризация нелинейностей?</p> <p>25. Чем отличается классическая модель непрерывной системы от дискретной?</p> <p>26. Как получить операторную форму модели системы?</p> <p>27. Приведите математические модели систем в форме Коши и форме пространства состояний.</p> <p>28. Укажите основные свойства преобразования Лапласа, используемые при получении передаточной функции.</p> <p>29. Дайте определение передаточной функции.</p> <p>30. Дайте определение временных характеристик системы.</p> <p>31. Перечислите параметры переходной характеристики системы, определяющие ее динамические свойства.</p> <p>32. Что такое фундаментальная матрица системы?</p> <p>33. Какие виды частотных динамических характеристик системы вы знаете?</p> <p>34. Дайте определение основным видам частотных характеристик системы.</p> <p>35. Изложите методику получения основных частотных характеристик. Что такое элементарное динамическое звено?</p> <p>36. Перечислите виды элементарных динамических звеньев.</p> <p>37. Запишите передаточные функции элементарных динамических звеньев.</p> <p>38. Приведите комплексные частотные характеристики звеньев фазоотстающего типа.</p> <p>39. Приведите комплексные частотные характеристики звеньев фазопережающего типа.</p> <p>40. Чем отличаются амплитудные частотные характеристики фазопережающих и фазоотстающих звеньев?</p> <p>41. Как получить переходную и весовую характеристики звеньев?</p>

		42. Как получить логарифмические характеристики звеньев?
6	6	<p>43. Что собой представляет структурная модель системы?</p> <p>44. Перечислите основные свойства преобразования структурных схем систем.</p> <p>45. Какой математический аппарат применяется для описания цифровой модели системы.</p> <p>46. Какие виды передаточных функций замкнутых систем вы знаете?</p> <p>47. Приведите выражения для различных видов передаточных функций замкнутых систем через передаточные функции разомкнутых систем.</p> <p>48. Как получить выходной сигнал и ошибку через передаточные функции систем по известным входным сигналам?</p> <p>49. Чем отличаются передаточные функции статических астатических систем?</p> <p>50. Как влияет на величину ошибки системы степень ее астатизма и порядок полинома входного воздействия?</p>
7	7	<p>51. Дайте определение понятия устойчивости системы.</p> <p>52. Что определяет свободное движение системы в её математической модели?</p> <p>53. Сформулируйте критерий устойчивости линейных систем по Ляпунову.</p> <p>54. Сформулируйте необходимые и достаточные условия устойчивости систем по Гурвицу.</p> <p>55. Сформулируйте правило построения определителя Гурвица.</p> <p>56. Дайте определение критического коэффициента усиления.</p> <p>57. Как определить критический коэффициент усиления по Гурвицу?</p> <p>58. На чем основана связь между критерием Ляпунова и критерием Михайлова?</p> <p>59. Покажите связь между величиной приращения аргумента вектора, соответствующего характеристическому полиному системы, и количеством квадрантов, через которые проходит годограф Михайлова.</p> <p>60. Дайте определение устойчивости систем по критерию Михайлова.</p> <p>61. Как можно оценить запас устойчивости системы по критерию Михайлова?</p> <p>62. В чем состоит следствие из критерия Михайлова?</p> <p>63. Как найти критический коэффициент усиления системы по критерию Михайлова?</p> <p>64. С помощью какой частотной характеристики судят об устойчивости системы по критерию</p>

		<p>Найквиста?</p> <p>65. Сформулируйте критерий Найквиста для случая, когда разомкнутая система устойчива.</p> <p>66. Как определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе по критерию Найквиста?</p> <p>67. Сформулируйте критерий Найквиста для случая, когда разомкнутая система неустойчива.</p> <p>68. Проиллюстрируйте связь между критерием Найквиста и логарифмическим критерием устойчивости.</p> <p>69. Дайте определение устойчивости замкнутой системы по логарифмическому критерию устойчивости для случаев устойчивой и неустойчивой разомкнутой системы.</p> <p>70. Как определить запасы устойчивости системы по логарифмическому критерию?</p> <p>71. В чем особенности оценки устойчивости систем с запаздыванием по критерию Найквиста?</p> <p>72. Что такое критическое время запаздывания и как оно определяется?</p> <p>73. Чем определяется необходимость выделения области устойчивости в пространстве параметров системы?</p> <p>74. Какая связь между плоскостью корней и <math>D</math>-разбиением в плоскости одного параметра?</p> <p>75. Сформулируйте правило штриховки кривой <math>D</math>-разбиения в плоскости одного параметра.</p> <p>76. Как определяется область устойчивости при <math>D</math>-разбиении в плоскости одного параметра?</p> <p>77. Изложите методику получения кривой <math>D</math>-разбиения в плоскости двух параметров.</p> <p>78. Сформулируйте правило штриховки кривой <math>D</math>-разбиения и особых прямых.</p> <p>79. Проиллюстрируйте изменение положения корней в плоскости корней при переходе из одной области плоскости <math>D</math>-разбиения в другую.</p>
8	9	<p>80. Какими показателями характеризуется качество системы?</p> <p>81. Назовите точные и приближенные методы оценки качества систем.</p> <p>82. Какие вы знаете методы получения переходной характеристики?</p> <p>83. Дайте определение основных показателей качества по переходной характеристике.</p> <p>84. Приведите выражение, связывающее вещественную частотную характеристику замкнутой системы и ее переходную функцию.</p> <p>85. Какими значениями ВЧХ определяются начало и конец переходной характеристики?</p> <p>86. На что указывают разрывы непрерывностей и пики ВЧХ?</p> <p>87. Как влияет «ширина» ВЧХ на длительность переходной характеристики?</p>

		<p>88. Как определить статизм или астатизм системы по ВЧХ?</p> <p>89. Чему равна статическая ошибка системы?</p> <p>90. Чем отличается метод структурного моделирования от метода понижения порядка производной?</p> <p>91. Перечислите основные этапы моделирования методом понижения порядка производной.</p> <p>92. Что такое машинное устройство?</p> <p>93. Как выбираются масштабные коэффициенты?</p> <p>94. Каким образом осуществляется анализ качества методом электронного моделирования?</p> <p>95. В чем состоит методика перехода от модели в форме передаточных функций к модели в форме пространства состояния?</p> <p>96. Как составляется уравнение состояния по структурной модели системы?</p> <p>97. Как составляется уравнение выхода по структурной модели системы?</p> <p>98. Дайте определение корневого годографа системы.</p> <p>99. Запишите уравнения модулей и фаз.</p> <p>100. Чем определяется начало и конец корневого годографа?</p> <p>101. Как определить участки вещественной оси, принадлежащие корневому годографу?</p> <p>102. Обоснуйте свойства непрерывности и симметрии корневого годографа.</p> <p>103. В чем состоят асимптотические свойства корневого годографа?</p> <p>104. Как определить положение асимптот?</p> <p>105. Как найти точки выхода (входа) корневого годографа с вещественной оси плоскости корней?</p> <p>106. Как определить угол выхода корневого годографа из комплексно-сопряженного полюса?</p> <p>107. Изложите методику оценки качества систем по корневому годографу.</p> <p>108. Какие вы знаете интегральные оценки качества?</p> <p>109. Дайте сравнительную характеристику интегральных оценок качества.</p> <p>110. В чем состоит задача параметрического синтеза системы на основе интегральных оценок?</p>
9	10	<p>111. Объясните содержание задачи стабилизации системы.</p> <p>112. В чем состоит смысл задачи демпфирования системы?</p> <p>113. Укажите возможные пути повышения точности систем в переходном и установившемся режимах.</p>

		<p>114. Как осуществляется демпфирование системы путем внесения отрицательных фазовых сдвигов?</p> <p>115. Проиллюстрируйте эффект демпфирования системы за счет внесения положительных фазовых сдвигов.</p> <p>116. Изложите общую методику синтеза последовательных корректирующих устройств методом логарифмических частотных характеристик.</p> <p>117. Как определяется коэффициент преобразования систем статического и астатического классов?</p> <p>118. Как определяется частота среза желаемой ЛАЧХ?</p> <p>119. Объясните влияние изменения частоты среза системы на ее быстродействие.</p> <p>120. Как выбирается наклон среднечастотной асимптоты желаемой ЛАЧХ?</p> <p>121. Какие существуют ограничения на изломы среднечастотного участка желаемой ЛАЧХ?</p> <p>122. Как определить ЛАЧХ корректирующего устройства?</p> <p>123. Изложите методику синтеза регулятора фазопережающего типа методом корневого годографа.</p> <p>124. Как определяется положение нуля и полюса регулятора фазопережающего типа на плоскости корней?</p> <p>125. Как по корневному годографу находится значение коэффициента усиления системы, соответствующее заданному положению доминирующих корней?</p> <p>126. Изложите методику синтеза регулятора фазоотстающего типа методом корневого годографа.</p>
10	11	<p>127. Какие системы относятся к классу нелинейных систем?</p> <p>128. Перечислите особенности нелинейных систем.</p> <p>129. В чем проявляется нарушение принципа коммутативности и свойства суперпозиции в нелинейных системах?</p> <p>130. Проиллюстрируйте зависимость формы выходного сигнала нелинейной системы от начальных условий и уровня входного сигнала.</p> <p>131. Какие формы устойчивости присущи нелинейным системам?</p> <p>132. Дайте классификацию нелинейностей по различным классификационным признакам.</p> <p>133. Приведите типовые статические характеристики нелинейных элементов.</p> <p>134. Как осуществляется аналитическое описание</p>



		<p>типовых нелинейностей?</p> <p>135. Как осуществляется эквивалентное преобразование структурных схем нелинейных систем?</p>
11	12	<p>136. Дайте определение устойчивости динамической системы по Ляпунову.</p> <p>137. Какие Вы знаете функции Ляпунова и какими свойствами они обладают?</p> <p>138. Сформулируйте теоремы Ляпунова об устойчивости движения нелинейных систем.</p> <p>139. Что такое абсолютная устойчивость нелинейных систем?</p> <p>140. Какие ограничения имеют место при применении критерия В.М. Попова?</p> <p>141. Сформулируйте критерий Попова для случая нелинейности класса <math>(0, k_m)</math>.</p>
12	13	<p>142. Каким образом задается фазовое пространство?</p> <p>143. Что такое фазовая траектория и фазовый портрет?</p> <p>144. Как получить уравнение фазовой траектории?</p> <p>145. Что такое изоклина?</p> <p>146. Как определить направление движения изображающей точки на фазовой траектории?</p> <p>147. Что такое особые точки фазовой плоскости?</p> <p>148. Какие виды особых точек Вы знаете и какие фазовые траектории им присущи?</p> <p>149. Как определить тип особой точки при задании движения системы в форме Коши?</p> <p>150. Какие характерные особенности на фазовой плоскости присущи нелинейным системам?</p> <p>151. Что такое линии переключения?</p> <p>152. Что такое предельный цикл?</p> <p>153. В чем состоит метод приспособывания?</p>
13	14	<p>154. Как организуется скользящий режим в нелинейной системе и в чем его особенность?</p> <p>155. Перечислите способы организации систем с переменной структурой.</p>
14	15	<p>156. Какие должны выполняться гипотезы в случае применения метода гармонической линеаризации?</p> <p>157. В чем принципиальное отличие гармонической линеаризации от линеаризации разложением в ряд Тейлора?</p> <p>158. Как определяются коэффициенты гармонической линеаризации?</p> <p>159. Что представляет собой комплексный коэффициент передачи нелинейной системы?</p> <p>160. Какова методика определения коэффициентов гармонической линеаризации типовых нелинейностей?</p> <p>161. Чему соответствует в частотной области отставание по положению, вносимое нелинейным</p>

		<p>элементом из-за наличия гистерезиса (неоднозначности)?</p> <p>162. Как определяются параметры автоколебаний нелинейных систем методом Гольдфарба?</p> <p>163. Каким образом оценивается устойчивость автоколебаний?</p> <p>164. Какие режимы движения исследуются методом гармонической линеаризации?</p> <p>165. Какой вид имеет уравнение движения гармонически линеаризованной системы в общем случае?</p> <p>166. Запишите характеристическое уравнение гармонически линеаризованной системы.</p> <p>167. Какой характер имеют доминирующие корни характеристического уравнения гармонически линеаризованной системы в случае колебательного движения нелинейной системы?</p> <p>168. Изложите методику определения параметров автоколебаний нелинейной системы алгебраическим методом.</p> <p>169. Как решается задача выбора параметров системы при применении алгебраического метода анализа колебательного движения?</p> <p>170. Что представляют собой диаграммы качества нелинейной системы и какова методика их применения при оценке устойчивости автоколебаний?</p> <p>171. Изложите методику анализа симметричных одночастотных вынужденных колебаний.</p> <p>172. Как определяются параметры одночастотных вынужденных колебаний?</p> <p>173. Что такое режим захватывания и как определяются условия захватывания?</p>
15	<b>16</b>	<p>174. Что такое псевдолинейные корректирующие устройства?</p> <p>175. Приведите виды желаемых корректирующих устройств.</p> <p>176. Изобразите структурную схему псевдолинейного корректирующего устройства с ослаблением амплитуды без изменения фазы.</p> <p>177. Как выглядят частотные характеристики (ЛАЧХ, ЛФЧХ, КЧХ) псевдолинейного корректирующего устройства с подавлением амплитуды?</p> <p>178. Приведите структурную схему псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением.</p> <p>179. Начертите графики ЛАЧХ, ЛФЧХ и КЧХ псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением.</p>
16	<b>17</b>	<p>180. Что такое оптимальное управление?</p> <p>181. Какие системы называются оптимальными?</p> <p>182. Что такое функция цели, или критерий опти-</p>

		<p>мальности?</p> <p>183. Запишите формы критерием оптимальности для систем оптимальных по быстродействию, расходу ресурсов, затратам энергии на управление.</p> <p>184. Какие виды ограничения на координаты состояния существуют в реальных системах управления и чем они вызываются?</p> <p>185. Какие ограничения имеют место на управляющее воздействие?</p> <p>186. В чем состоит геометрическая интерпретация задачи оптимального управления?</p>
17	18	<p>187. Какие критерии оптимизации используются в задачах Лагранжа, Майера и Больца?</p> <p>188. К решению какого вида уравнения сводится решение простейшей вариационной задачи?</p> <p>189. В чем состоит условие трансверсальности?</p> <p>190. В чем состоит методика решения задачи синтеза системы как задачи на условный экстремум?</p> <p>191. Сформулируйте теорему об оптимальном управлении Понтрягина.</p> <p>192. Изложите методику решения задачи оптимизации на основе принципа максимума.</p>
18	19	<p>193. Дайте геометрическую интерпретацию принципа максимума.</p> <p>194. Проиллюстрируйте применение принципа максимума для синтеза оптимального управления объектов второго порядка.</p> <p>195. Изложите содержание теоремы об <math>n</math>-интервалах.</p> <p>196. В чем состоит принцип оптимальности Беллмана?</p> <p>197. Запишите функциональное уравнение Беллмана.</p>
19	20	<p>198. Какие системы называются дискретными?</p> <p>199. Дайте классификацию дискретных систем. Какие способы квантования и модуляции применяются в дискретных системах различного класса?</p> <p>200. Какой вид квантования применяется в цифровых системах?</p> <p>201. Какими преимуществами обладают цифровые системы?</p> <p>202. Приведите типовые структуры цифровых систем управления?</p> <p>203. Что такое интерфейс?</p> <p>204. Что собой представляет идеальный импульсный элемент и формирователь?</p> <p>205. Приведите математическую запись дискретного преобразователя Лапласа и <math>Z</math>-преобразования. Какая между ними связь?</p> <p>206. Приведите математическую модель формирователя.</p> <p>207. Какие существуют способы получения <math>Z</math>-передаточной функции по передаточной функ-</p>

		<p>ции приведенной непрерывной части системы?</p> <p>208. Что такое решетчатая функция?</p> <p>209. Что такое смещение и сдвиг решетчатой функции?</p> <p>210. Дайте определение комплексной частотной характеристики дискретной системы.</p> <p>211. Изложите методику получения КЧХ дискретной системы по весовой характеристике приведенной непрерывной части.</p> <p>212. Изложите методику построения КЧХ дискретной системы по КЧХ приведенной непрерывной части.</p> <p>213. Какими особенностями обладает передаточная функция дискретной системы?</p>
20	<b>21</b>	<p>214. К чему приводит периодичность передаточной функции дискретной системы при рассмотрении устойчивости по Ляпунову?</p> <p>215. Сформулируйте критерий устойчивости Ляпунова для дискретных систем.</p> <p>216. Изложите методику оценки устойчивости дискретной системы по критерию Гурвица.</p> <p>217. Сформулируйте аналоги критерия устойчивости Найквиста для различных случаев устойчивости разомкнутой системы.</p> <p>218. Чем отличается аналоги критерия устойчивости Михайлова для дискретных систем по сравнению с непрерывными?</p>
21	<b>22</b>	<p>219. Какие существуют методы оценки качества дискретных систем?</p> <p>220. Что такое корректирующий алгоритм цифровой системы управления?</p> <p>221. Какие корректирующие алгоритмы наиболее употребимы в цифровых системах?</p> <p>222. Приведите примеры цифровых корректирующих алгоритмов и их структурную реализацию.</p>
22	<b>23</b>	<p>223. Приведите классификацию адаптивных систем.</p> <p>224. В чем отличие структуры адаптивных систем от обыкновенных?</p>
23	<b>24</b>	<p>225. Какие системы называются экстремальными самонастраивающимися?</p> <p>226. Какие вы знаете методы нахождения экстремума?</p> <p>227. Дайте классификацию экстремальных систем управления?</p> <p>228. Какие существуют методы исследования динамики экстремальных систем?</p>

### **5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта / курсовой работы**

Не предусмотрено учебным планом.

### 5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Не предусмотрено учебным планом.

### 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена, дифференцированного зачета, дифференцированного зачета при защите курсового проекта/работы используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание терминов, классификаций, основных принципов
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
Умения	Умение составлять техническое задание на проектирование систем управления
	Умение проводить моделирование типовых и нестандартных систем управления
Навыки	Владеть навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой
	Владеть навыками работы с современным программным обеспечением для решения задач проектирования систем управления в целом или отдельных узлов

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, классификаций, основных принципов	Не знает терминов классификаций, основных принципов	Знает термины классификации, основные принципы, но допускает неточности формулировок	Знает термины классификации, основные принципы	Знает термины классификации, основные принципы, может корректно сформулировать их самостоятельно
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает только основной материал дисциплины, не усвоил его деталей	Знает материал дисциплины в достаточном объеме	Обладает твердым и полным знанием материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота	Не дает ответы на	Дает неполные	Дает ответы на	Дает полные,

ответов на вопросы	большинство вопросов	ответы на все вопросы	вопросы, но не все – полные	развернутые ответы на поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими схемами, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие схемы и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие рисунки и схемы корректно и понятно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

#### Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Умение составлять техническое задание на проектирование систем управления	Не умеет составлять техническое задание на проектирование систем управления	Умеет составлять только малую часть технического задания на проектирование систем управления	Умеет составлять техническое задание на проектирование стандартных систем управления	Умеет составлять техническое задание на проектирование нестандартных систем управления
Умение проводить моделирование типовых и нестандартных систем управления	Не умеет проводить совместное моделирование типовых и нестандартных систем управления	Умеет проводить совместное моделирование только простейших систем управления	Умеет проводить совместное моделирование только типовых систем управления	Умеет проводить совместное моделирование типовых и нестандартных систем управления

#### Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владеть навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой	Не использует учебную и научную литературу для подготовки к занятиям	Имеются навыки самостоятельной работы с учебной и научной литературой, но недостаточные для полноценной подготовки	Владеет навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой при подготовке к занятиям	Использует учебную и научную литературу для самостоятельного приобретения новых знаний

Владеть навыками работы с современным программным обеспечением для решения задач проектирования систем управления в целом или отдельных узлов	В принципе не понимает, как используется современным программным обеспечением систем автоматизированного проектирования для решения задач проектирования систем управления в целом или отдельных узлов и агрегатов	Имеет поверхностное представление о том, как используется современным программным обеспечением систем автоматизированного проектирования для решения задач проектирования систем управления в целом или отдельных узлов и агрегатов	Владеть базовыми навыками работы с современным программным обеспечением систем автоматизированного проектирования для решения задач проектирования систем управления в целом или отдельных узлов и агрегатов	Владеть навыками работы с современным программным обеспечением систем автоматизированного проектирования для решения задач проектирования систем управления в целом или отдельных узлов и агрегатов
---	--	---	--	---

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лаборатория теории автоматического управления и моделирования средств управления УК 4, № 231	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мультимедийный проектор, экран, ноутбук; интерактивная доска с соответствующим программным обеспечением;</li> <li>• проектор с переносным экраном;</li> <li>• 6 персональных компьютеров с доступом в сеть Интернет,</li> </ul> стенд для исследования мобильных роботов.
2	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий УК 4, № 323	Мультимедийный проектор, экран, ноутбук; специализированная мебель
3	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронно-информационную образовательную среду; специализированная мебель
4	Методический кабинет	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук

### 6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017

2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	MathWorks	Лицензия №1145851 бессрочная

### 6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

- 1.Бесекерский, В.А. «Теория систем автоматического управления»/ В.А.
- 2.Бесекерский, Е.П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп.. – СПб.: Профессия, 2003. – 747 с.. – (Специалист)
- 3.Рубанов В.Г. Теория линейных систем автоматического управления, учебное пособие. Белгород, изд-во БГТУ, 2015. – 207с.
- 4.Рубанов В.Г. Теория нелинейных систем автоматического управления, учебное пособие. Белгород, изд-во БГТУ, 2015. – 226с.
- 5.Рубанов В.Г. Теория автоматического управления (математические модели, анализ и синтез линейных систем): учебное пособие : часть 1, Белгород, Изд-во БГТУ, 2005. – 199с.
- 6.Рубанов В.Г. Теория автоматического управления, учебное пособие: часть 2 (нелинейные, оптимальные и цифровые системы), Белгород, изд-во БГТУ, 2006. – 256с.
- 7.Рубанов В.Г. Математические модели элементов и систем автоматического управления, учебное пособие. Белгород, изд-во БГТУ, 2014. – 156с.
- 8.Ротач, В.Я . «Теория автоматического управления: учебник для студ. вузов/ В.Я. Ротач.- 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: МЭИ, 2004. – 398 с.
- 9.«Теория автоматического управления: учебник для вузов»/ под ред. В. Б. Яковлева.- М.: Высшая школа, 2003. – 566 с.
- 10.Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория автоматического управления»/ БТИСМ. – Белгород, 1990. – 58с.
- 11.Филлипс, Ч. «Системы управления с обратной связью»: Пер. с англ./ Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 615 с. – (Технический университет)
- 12.Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Теория автоматического управления» / БГТУ. – Белгород, 2006. – 31с.
- 13.Подлесный Н.И., Рубанов В.Г. «Элементы систем автоматического управления и контроля»- Высшая школа, 1991г. – 464с.
- 14.Рубанов В.Г., Филатов А.Г. «Интеллектуальные системы автоматического управления нечеткое управление в технических системах»: Учебное пособие: Белгород- Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005г. – 171с.
- 15.Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5 т.: учебник/ под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова/- 2-е изд., перераб. и доп.. – МГТУ им. Н.Э. БауманаТ.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. – 2004. – 654 с.
- 16.Т.2:Статистическая динамика и идентификация систем автоматического



- управления. – 2004. – 638 с.
- 17.Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления. – 2004. – 614 с.
- 18.Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления. – 2004. – 741 с.
- 19.Т.5: Методы современной теории автоматического управления. – 2004.– 782 с.
- 20.«Современная прикладная теория управления»/под ред. А.А. Колесникова/- Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000
- 21.Ч1: Оптимизационный подход в теории управления. – 2000. – 400с.
- 22.Ч2: Синергетический подход в теории управления. – 2000. – 559с.
- 23.Ч3: Новые классы регуляторов технических систем. – 2000. – 656с.
- 24.Методические указания к лабораторным работам по автоматизированному проектированию систем управления.- Белгород БелГТАСМ, 1986.
- 25.«Проектирование следящих систем»/ под ред. Рабиновича Л.В./ - Изд-во
- 26.«Машиностроение», Москва, 1969. – 499с.
- 27.«Современные методы проектирования систем автоматического управления»/ под общей редакцией Петрова Б.Н., Солодовникова В.В., Топчиева Ю.И./- Изд-во «Машиностроение», Москва, 1967. – 703с.
- 28.«Проектирование следящих систем. Основы проектирования следящих систем» /под ред. Лакоты Н.А./- Изд-во «Машиностроение», Москва, 1978. – 391с.

#### **6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем**

1. Курс лекций. Теория автоматического управления:  
<http://www.toehelp.ru/theory/tau/contents.html>
2. Клиначёв Н. В. Теория автоматического регулирования. Учебно-методический комплекс: <http://model.exponenta.ru/lectures/index.htm>

## 7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа утверждена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный год  
без изменений.

Протокол № \_\_\_\_\_ заседания кафедры от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В. Г. Рубанов  
подпись \_\_\_\_\_ ФИО

Директор института \_\_\_\_\_ А. В. Белоусов  
подпись \_\_\_\_\_ ФИО