

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»



Декан факультета \_\_\_\_\_ Бурковский А.В.

31.08 2018г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

Дисциплины

«Математические основы теории систем»

**Направление подготовки** 27.03.04 «Управление в технических системах»

**Профиль** "Управление и информатика в технических системах"

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2018

**Автор программы** \_\_\_\_\_  Е.М. Васильев

**Заведующий кафедрой**  
электропривода, автоматике  
и управления в технических системах. \_\_\_\_\_  В.Л. Бурковский

**Руководитель ОПОП** \_\_\_\_\_  К.Ю. Гусев

Воронеж 2018

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	<b>Цель изучения дисциплины</b> – овладение студентами концепцией математического моделирования как общего метода научного познания применительно к классу динамических систем, изучаемых в теории управления.
1.2	<b>Для достижения цели ставятся задачи:</b>
1.2.1	изучение математического аппарата описания процессов в динамических системах;
1.2.2	приобретение навыков функционального и структурного анализа управляемых объектов и систем;
1.2.3	овладение методами и способами моделирования линейных одномерных и многомерных систем управления;
1.2.4	овладение методами и способами моделирования нелинейных систем управления.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Математические основы теории систем» относится к дисциплинам базовой части блока Б.1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Математические основы теории систем» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1	способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК-2	способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

ОПК-1	<b>Знать:</b> математический аппарат моделирования объектов и систем автоматического управления.
	<b>Уметь:</b> использовать полученные знания для составления моделей линейных, нелинейных и многомерных объектов и систем.
	<b>Владеть:</b> способами и приёмами применения динамических моделей для исследования показателей качества систем регулирования в различных режимах работы.
ОПК-2	<b>Знать:</b> математический аппарат моделирования объектов и систем автоматического управления.
	<b>Уметь:</b> использовать полученные знания для составления моделей линейных, нелинейных и многомерных объектов и систем.
	<b>Владеть:</b> способами и приёмами применения динамических моделей для исследования показателей качества систем регулирования в различных режимах работы.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Математические основы теории систем» составляет 5 з.е.  
Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестр
		4
Аудиторные занятия (всего)	108	108
В том числе:		
Лекции	54	54
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы	36	36
Самостоятельная работа	36	36
Курсовой проект	+	+
Виды промежуточной аттестации – экзамен	36	36
Общая трудоемкость: академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий  
очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лабор.	Прак зан.	СРС	Всего
1	Введение	Понятие о моделировании как методе научного познания. Задачи моделирования. Классификация моделей. Виды кибернетических моделей. Структурные модели. Модели динамических и нединамических систем.	2	-	-	-	2
2	Общие сведения о динамических управляемых системах.	Обобщенная система управления и ее состав. Объект управления и управляемая величина. Устройство управления и его функциональные узлы. Понятие об автоматическом управлении и автоматическом регулировании. Классифика-	6	4	2	6	18

		<p>ция систем управления по различным признакам. Разомкнутые и замкнутые, обыкновенные и самонастраивающиеся системы.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Нестационарные системы.</p> <p>Системы стабилизации, программного управления и следящие. Системы прямого и непрямого регулирования. Непрерывные и дискретные системы. Линейные и нелинейные системы. Принципы автоматического регулирования. Регулирование по отклонению и по возмущению. Комбинированное регулирование.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Статические и астатические системы. Системы с распределёнными параметрами.</p>					
3	<p>Модели линейных одномерных систем.</p>	<p>Общие сведения о линейных <u>системах.</u> Статические характеристики элементов и систем. Основные понятия и определения. Статические характеристики соединений элементов. Методы аналитической линеаризации статических характеристик. Дифференциальное уравнение как основная динамическая характеристика системы.</p>	20	16	8	15	59

		<p style="text-align: center;"><u>Самостоятельное изучение.</u> Пример вывода дифференциального уравнения двигателя постоянного тока как объекта управления. Способы получения статических характеристик технических устройств. Приемы анализа дифференциального уравнения.</p> <p>Изображение сигналов по Лапласу. Понятие изображения в математике. Изображение сигналов по Лапласу и его свойства. Использование изображения по Лапласу для решения дифференциальных уравнений. Понятие о передаточной функции</p> <p style="text-align: center;"><u>Самостоятельное изучение.</u> Сравнение свойств передаточной функции и дифференциального уравнения.</p> <p>Изображение сигналов по Фурье и понятие о комплексном коэффициенте передачи элемента системы. Понятие о спектре сигнала. Свойства изображения сигнала по Фурье. Частотная функция (комплексный коэффициент передачи). Формы практического использования частотной функции для описания динамических объектов: амплитудная и фа-</p>					
--	--	--	--	--	--	--	--

		<p>звая частотные характеристики, логарифмические характеристики, годограф.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Способы получения частотных характеристик.</p> <p>Переходная и весовая функции звена. Определения. Примеры. Взаимосвязь различных динамических характеристик. Типовые звенья динамических систем. Понятие о типовых звеньях и принцип их построения. Безынерционное и апериодическое звенья.</p> <p>Колебательное, дифференцирующее, интегрирующее звенья и их характеристики. Звено запаздывания. Понятие о минимально-фазовых звеньях.</p> <p>Динамические характеристики разомкнутых и замкнутых систем. Понятие о структурной схеме системы. Передаточные функции разомкнутых и замкнутых систем автоматического регулирования. Характеристическое уравнение системы. Частотные характеристики систем и способы их получения.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Простейшие преобразования структур.</p>					
--	--	---	--	--	--	--	--

		<p>Векторно-матричное описание линейных динамических систем в пространстве состояний. Понятие о пространстве состояний. Описание динамического объекта системой дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши. Матричная форма записи нормальной системы.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Передаточные матрицы разомкнутой и замкнутой САР.</p> <p>Общий случай описания динамической системы в пространстве состояний при наличии нескольких внешних воздействий и учете их производных.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Сравнение различных способов математического описания динамических систем.</p>					
4	<p>Модели многомерных линейных систем автоматического регулирования.</p>	<p>Общие сведения о многомерных САР. Примеры систем. Описание многомерных САР с помощью системы дифференциальных уравнений общего вида.</p> <p>Описание многомерных САР с помощью матриц передаточных функций. Понятие о передаточной матрице и составление структурных схем многомер-</p>	12	8	4	5	29

		<p>ных САР.</p> <p>Описанием многомерных САР в пространстве состояний. Каноническая форма записи общего случая и конкретный пример.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Способы получения характеристического уравнения многомерной линейной САР из различных форм её математического описания.</p>					
5	<p>Модели нелинейных систем автоматического регулирования.</p>	<p>Общие сведения о нелинейных САР. Примеры структур нелинейных систем. Релейные системы. Статистические характеристики нелинейных элементов и систем. Соединение нелинейных звеньев. Вибрационная линеаризация.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u> Типовые нелинейные звенья и соответствующие им примеры технических устройств.</p> <p>Динамические характеристики нелинейных САР. Описание нелинейных САР с помощью дифференциальных уравнений общего вида. Способы составления уравнений и их решение.</p> <p>Описание нелинейных САР в пространстве состояний. Фазовая траектория как</p>	14	8	4	10	36

	динамическая характеристика нелинейной САР. Построение фазовых траекторий для систем различных порядков. Метод изоклин. Описание нелинейных САР с помощью изображения сигналов по Фурье. Понятие о гармонической линеаризации нелинейности и условия ее применения. Комплексный коэффициент передачи нелинейного звена и его свойства. <u>Самостоятельное изучение.</u> Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейности и их связь с комплексным коэффициентом передачи.					
<b>Итого</b>		54	36	18	36	180

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование динамических характеристик типовых звеньев САР
2. Моделирование линейных систем автоматического регулирования
3. Моделирование многомерных САР.
4. Моделирование нелинейных систем автоматического регулирования.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

### Варианты

1. Система регулирования уровня жидкости в резервуаре с поплавковым регулятором.
2. Система регулирования частоты вращения гидрогенератора.
3. Система стабилизации светового потока с поляридом.
4. Система стабилизации температуры электропечи.
5. Система регулирования тангажа самолета.
6. Система регулирования уровня жидкости в резервуаре с поплавковым регулятором и сервомотором.

7. Система регулирования частоты вращения двигателя видеоголовок бытового видеоманитофона.
8. Система регулирования напряжения генератора с угольным регулятором.
9. Система регулирования температуры воздуха в холодильнике.
10. Система регулирования температуры подошвы утюга.
11. Полупроводниковый стабилизатор напряжения.
12. Система регулирования частоты вращения ведущего вала бытового видеоманитофона.
13. Система регулирования теплообменника с электрическими тепловыми элементами и с сервомотором.
14. Система автоматического включения и отключения уличного освещения.
15. Система регулирования уровня топлива в поплавковой камере автомобильного карбюратора.
16. Система автоматической подстройки частоты строк в телевизионном приемнике.
17. САР частоты вращения электродвигателя постоянного тока с тахометрическим мостом.
18. Система автоматического регулирования коэффициента усиления радиоприемника.
19. Система регулирования температуры в подогревателе детского питания.
20. Система автоматического управления работой бытового кондиционера.
21. Система автоматической подстройки частоты в радиоприемнике.
22. Система управления перемещением платформы фрезерного станка с ЧПУ.
23. Цифро-аналоговый преобразователь отслеживающего типа.
24. Система регулирования углового положения вращающегося объекта.
25. Система регулирования частоты вращения ветроэнергетической установки.

#### Задание.

1. Представить САР в виде эскиза, кинематической или электрической схемы, детализируя основные узлы в той мере, которая необходима для последующего описания принципа работы системы.
2. Описать работу САР.
3. Составить функциональную схему системы.
4. Полностью классифицировать заданный вариант САР.
5. Определить принцип регулирования.
6. Сделать вывод относительно статизма или астатизма системы.
7. Составить дифференциальное уравнение и при необходимости линеаризовать его.

8. Найти передаточную функцию объекта для выбранных координат
9. Построить переходные процессы в системе

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Способ оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	<b>Знать:</b> математический аппарат моделирования объектов и систем автоматического управления.	Опрос на практических занятиях, в том числе теоретические вопросы при защите курсовой работы	Активная работа на практических занятиях, ответы на теоретические вопросы, в том числе при защите курсовой работы	Неудовлетворительные ответы на практических занятиях, в том числе при защите курсовой работы
	<b>Уметь:</b> использовать полученные знания для составления моделей линейных, нелинейных и многомерных объектов и систем.	Решение стандартных практических задач, контроль за написанием курсового проекта	Выполнение теста на оценку "отлично", "хорошо" или "удовлетворительно". Своевременное выполнение этапов курсовой работы	Выполнение теста на оценку "неудовлетворительно". Несвоевременное выполнение этапов курсовой работы
	<b>Владеть:</b> способами и приёмами применения динамических моделей для исследования показателей качества систем регулирования в различных режимах работы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, защита курсовой работы	Верное решение задач	Задачи не решены
ОПК-2	<b>Знать:</b> математический аппарат моделирования объектов и систем автоматического управления.	Работа на практических занятиях, ответы на теоретические вопросы, в том числе при защите курсовой работы	Активная работа на практических занятиях, ответы на теоретические вопросы, в том числе при защите курсовой работы	Неудовлетворительные ответы на практических занятиях, в том числе при защите курсовой работы

	<b>Уметь:</b> использовать полученные знания для составления моделей линейных, нелинейных и многомерных объектов и систем.	Решение стандартных практических задач, контроль за написанием курсовой работы	Выполнение теста на оценку "отлично", "хорошо" или "удовлетворительно". Своевременное выполнение этапов курсовой работы	Выполнение теста на оценку "неудовлетворительно". Несвоевременное выполнение этапов курсовой работы
	<b>Владеть:</b> способами и приёмами применения динамических моделей для исследования показателей качества систем регулирования в различных режимах работы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, защита курсовой работы	Верное решение задач	Задачи не решены

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Способ оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	Знать: математический аппарат моделирования объектов и систем автоматического управления.	Опрос	Полный ответ. Делаются обоснованные выводы. Демонстрируются глубокие знания.	Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Неполный ответ.	Демонстрируются поверхностные знания вопроса. Имеются затруднения с выводами.	Затрудняется ответить
	Уметь: использовать полученные знания для составления моделей линейных, нелинейных и многомерных объектов и систем.	Решение стандартных практических задач в форме теста	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть: способами и приёмами применения динамических моделей	Решение прикладных задач в	Задачи решены в полном	Продемонстрирован верный ход ре-	Продемонстрирован верный ход	Задачи не решены

	для исследования показателей качества систем регулирования в различных режимах работы.	конкретной предметной области	объеме и получены верные ответы	шения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	решения в большинстве задач	
ОПК-2	Знать: математический аппарат моделирования объектов и систем автоматического управления.	Опрос	Полный ответ. Делаются обоснованные выводы. Демонстрируются глубокие знания.	Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Неполный ответ.	Демонстрируются поверхностные знания вопроса. Имеются затруднения с выводами.	Затрудняется ответить
	Уметь: использовать полученные знания для составления моделей линейных, нелинейных и многомерных объектов и систем.	Решение стандартных практических задач в форме теста	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть: способами и приемами применения динамических моделей для исследования показателей качества систем регулирования в различных режимах работы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень вопросов для подготовки к тестированию

"Введение. Общие сведения о динамических управляемых системах"

1. Понятие о моделировании как методе научного познания. Кибернетические модели и их виды.
2. Объект управления. Управляемая величина. Управляющее и возмущающее воздействия. Дать определения и привести примеры.
3. Управляющее устройство и его состав. Задающее воздействие и ошибка управления.
4. Понятие об автоматическом управлении и автоматическом регулировании. Функциональные схемы САУ и САР.
5. Разомкнутые и замкнутые, обыкновенные и самонастраивающиеся САР. Функциональные схемы и сравнение принципов работы этих систем.
6. Системы стабилизации, программного управления и следящие. Классификационный признак этих систем и выполняемые ими задачи.
7. САР прямого и непрямого регулирования. Функциональные схемы и практические примеры.
8. Понятие о непрерывных и дискретных САР. Виды дискретизации. Линейные и нелинейные САР.
9. Принципы автоматического регулирования по отклонению, по возмущению и комбинированный. Функциональные схемы и объяснение работы САР на этих принципах.
10. Статические и астатические САР. Определения и характерные признаки этих систем. Статизм САР.

### "Модели линейных одномерных систем"

1. Установившийся режим системы и статические характеристики её элементов. Дать определения и примеры.
2. Статические характеристики соединений звеньев (параллельное, последовательное и соединение в виде обратной связи).
3. Методы аналитической линеаризации статических характеристик элементов систем.
4. Дифференциальное уравнение как основная динамическая характеристика системы. Вывести дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока независимого возбуждения, управляемого со стороны якоря. Провести анализ этого дифференциального уравнения.
5. Изображение сигналов по Лапласу и понятие о передаточной функции элемента системы.
6. Изображение сигнала по Фурье и понятие о комплексном коэффициенте передачи (частотной функции) элемента или системы.
7. Формы практического использования частотной функции (ЛАЧХ, ЛФЧХ, годограф). Способы экспериментального и расчетного получения комплексного коэффициента передачи.
8. Переходная и весовая функции звена. Дать определения и привести примеры. Взаимосвязь различных динамических характеристик.
9. Динамические характеристики типовых звеньев - усилительного и апериодического. Практические примеры этих звеньев.
10. Динамические характеристики типового колебательного звена. Пример звена.
11. Динамические характеристики дифференцирующего и интегрирующего звеньев. Пример реализации этих звеньев.
12. Звено запаздывания. Понятие о минимально-фазовых звеньях.
13. Понятие о структурной схеме системы. Простейшие преобразования структур.
14. Передаточные функции разомкнутых и замкнутых систем автоматического регулирования. Пример получения передаточных функций САР по управлению и по возмущению.
15. Передаточные функции ошибки САР. Пример получения.
16. Частотные характеристики разомкнутой и замкнутой САР. Построение логарифмических частотных характеристик разомкнутой САР.
17. Векторно-матричное описание линейных динамических систем в пространстве состояний. Передаточные матрицы разомкнутой и замкнутой САР.

### "Модели многомерных линейных систем автоматического регулирования"

1. Многомерные линейные САР. Основные понятия, определения и классификация систем. Примеры.
2. Описание многомерных САР с помощью дифференциальных уравнений общего вида. Пример.
3. Описание многомерных САР с помощью матриц передаточных функций. Понятие о передаточной матрице и составление структурных схем многомерных САР. Пример.
4. Описание многомерных САР в пространстве состояний. Общие приемы и конкретный пример.
5. Сравнительный анализ различных способов описания многомерных САР.

### "Модели нелинейных систем автоматического регулирования"

1. Определение нелинейной САР. Примеры дифференциальных уравнений и структур нелинейных систем.
2. Основные типы нелинейных звеньев и их статические характеристики. Примеры реальных технических устройств с нелинейными характеристиками.
3. Способы линеаризации нелинейностей. Способ малых отклонений, способы осреднения и вибрационной линеаризации.
4. Статические характеристики нелинейных систем. Параллельное и последовательное соединение звеньев. Соединение с отрицательной и положительной обратными связями.
5. Описание нелинейных САР с помощью дифференциальных уравнений общего вида. Переход к описанию САР в пространстве состояний. Пример.
6. Понятие о фазовом пространстве. Фазовая траектория как динамическая характеристика нелинейной САР. Пример построения фазовой траектории для нелинейной САР 1-го порядка.
7. Построение фазовых траекторий нелинейных САР 2-го порядка с помощью изоклин. Привести пример.
8. Сущность гармонической линеаризации нелинейности. Условия применения гармонической линеаризации в нелинейных САР.
9. Комплексный коэффициент передачи как динамическая характеристика нелинейного звена. Пояснить

сущность модуля и фазы комплексного коэффициента передачи на примере с однозначной и неоднозначной нелинейностями.

10. Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейности и их связь с комплексным коэффициентом передачи. Пояснить приёмы практического использования коэффициентов гармонической линеаризации на примере прохождения гармонического сигнала через разомкнутую нелинейную САР.

11. Анализ прохождения гармонического сигнала через замкнутую нелинейную САР на основе её гармонической линеаризации. Привести пример.

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Что такое концепция чёрного ящика в моделировании систем?
2. Что входит в состав управляющего устройства:
  - 2.1. Устройство сравнения
  - 2.2. Регулятор
  - 2.3. Датчик
  - 2.4. Исполнительный механизм
3. Чем отличаются дискретные системы от цифровых?
4. По какому признаку отличают системы программного регулирования от следящих систем:
  - 4.1. По характеру движения объекта управления
  - 4.2. По характеру задающего сигнала
  - 4.3. По характеру возмущающего воздействия
  - 4.4. По структурной схеме
5. Чем отличаются статические и астатические системы регулирования:
  - 5.1. Характером движения объекта управления
  - 5.2. Характером задающего сигнала
  - 5.3. Характером возмущающего воздействия
  - 5.4. Значением ошибки
6. В каком режиме работы системы определяют её статические характеристики:
  - 6.1. В установившемся режиме
  - 6.2. В режиме, при котором все сигналы в системе не изменяются во времени
  - 6.3. В режиме работы под нагрузкой
  - 6.4. В режиме работы с постоянной скоростью и нулевым ускорением координат
7. Какая математическая модель объекта используется в качестве исходной для получения различных динамических моделей:
  - 7.1. Передаточная функция
  - 7.2. Частотная функция
  - 7.3. Переходная функция
  - 7.4. Дифференциальное уравнение
8. Какой физический смысл имеет модуль частотной функции?
9. Какие передаточные функции описывают колебательное звено:
  - 9.1.  $\frac{5}{s^2 + s + 1}$
  - 9.2.  $\frac{6}{s^2 + 2s + 1}$

$$9.3. \frac{7}{10s^2 + 3s + 1}$$

$$9.4. \frac{8}{s^2 + 4s + 1}$$

10. Сколько различных передаточных функций можно составить для замкнутой системы управления:

10.1. Две

10.2. Три

10.3. Четыре

10.5. Пять

11. Последовательно соединённые инерционное и интегрирующее звенья замкнули общей единичной отрицательной обратной связью. Напишите передаточную функцию полученной замкнутой системы.

12. Приведите пример идеального дифференцирующего звена.

13. Какие из представленных ниже передаточных функций могут описывать замкнутую систему регулирования:

$$13.1. \frac{k}{Ts + 1}$$

$$13.2. \frac{W_1(s)}{W_2(s) + 1}$$

$$13.3. \frac{W_1(s)}{W_2(s) + W_1(s)}$$

$$13.4. \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s)}$$

14. Опишите в пространстве состояний динамическую систему первого порядка.

15. Чему равны корни знаменателя передаточной функции системы, если её характеристическая

матрица имеет вид  $\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & -4 \end{bmatrix}$ :

15.1. 4; 6

15.2. 2; -5

15.3. -1; 3

15.4. -4; 6

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задано математическое описание многомерного объекта.

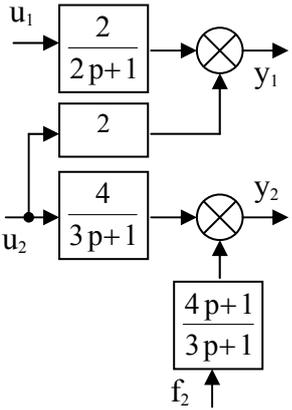
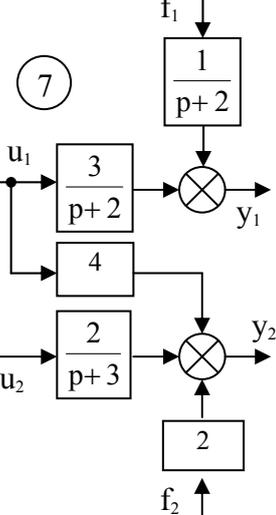
Требуется:

1. Дополнить объект необходимыми функциональными элементами так, чтобы образовалась замкнутая многомерная САУ.

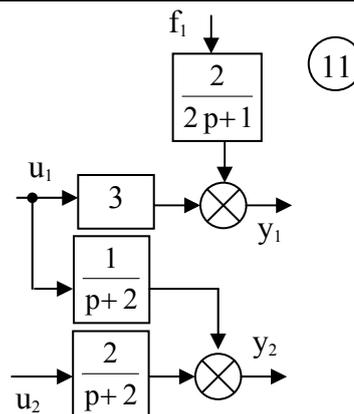
2. Получить все формы математического описания построенной замкнутой системы (дифференциальное уравнение общего вида, описание в передаточных матрицах, структурную схему, описание в пространстве состояний).

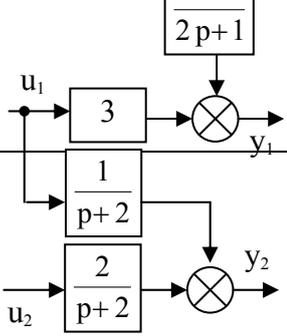
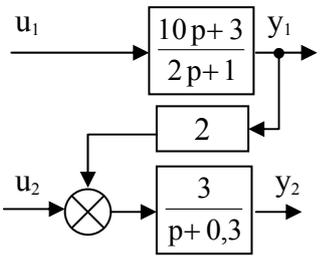
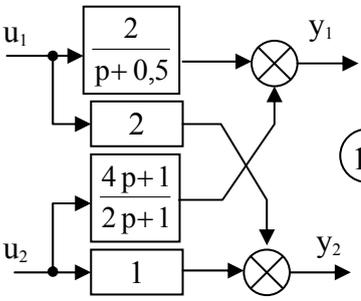
3. Выписать характеристическое уравнение системы.

Варианты

<p>①</p> $\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + 3u_2; \\ \dot{x}_2 &= -0,5x_2 + 5u_2; \\ y_1 &= x_1 + u_1 + f_1; \\ y_2 &= 0,5x_2 + 2u_1 + f_2 \end{aligned}$	<p>②</p> $W_{ou}(p) = \begin{bmatrix} 2 & \frac{3p+1}{p+1} \\ 4 & \frac{2}{3p+1} \end{bmatrix}$
<p>③</p> 	<p>④</p> $\begin{aligned} 3\dot{y}_1 + y_1 &= \dot{u}_1 + u_1; \\ 2\dot{y}_2 + y_2 &= 2u_1 + u_2 \end{aligned}$ <p>⑤</p> $\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\frac{1}{3}x_1 + 2u_2 + 3f_2; \\ \dot{x}_2 &= -0,5x_2 + u_2 + 2f_2; \\ y_1 &= 0,5x_2 + u_1; \\ y_2 &= \frac{1}{3}x_1 \end{aligned}$
<p>⑥</p> $W_{ou}(p) = \begin{bmatrix} \frac{2}{p+4} & 0 \\ \frac{3}{p+0,5} & \frac{4p+1}{2p+1} \end{bmatrix}$	<p>⑦</p> 
<p>⑧</p> $\begin{aligned} 4\dot{y}_1 + 3y_1 &= 3u_1; \\ \dot{y}_2 + y_2 &= 2\dot{u}_1 + u_1 + u_2 \end{aligned}$	<p>⑨</p> $\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -1,5x_1 + 3u_1 + 4u_2 + f_2; \\ y_1 &= 2u_1 + f_1; \\ y_2 &= 0,5x_1 \end{aligned}$

⑩



$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -x_1 + 2u_1; \\ \dot{x}_2 &= -2x_2 + 3u_2; \\ y_1 &= 2x_1 + x_2; \\ y_2 &= 4x_2\end{aligned}$	
$\begin{aligned}3\dot{y}_1 + 2y_1 &= 4u_1 + 3u_2 + 2f_1; \\ 2y_2 &= 4u_2 + f_2\end{aligned}$	$W_{ou}(p) = \begin{bmatrix} \frac{2}{p+2} & 0 \\ 1 & \frac{3}{p+3} \end{bmatrix}; \quad (14)$
$\begin{aligned}2\dot{y}_1 + y_1 &= 3u_1 + 4f_1; \\ \dot{y}_2 + 3y_2 &= 2\dot{u}_1 + 6u_1 + u_2 + 6f_1\end{aligned} \quad (15)$	$W_{of}(p) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{p+2} \\ 0 & 4 \end{bmatrix} \quad (14)$
	$\begin{aligned}\dot{y}_1 + 2y_1 &= \dot{u}_1 + 4u_1 + 2u_2; \\ 2\dot{y}_2 + y_2 &= 3u_1 + 4\dot{u}_2 + 2u_2\end{aligned} \quad (17)$
$\begin{aligned}\dot{y}_1 + y_1 &= \dot{u}_1 + u_1 + 2u_2 + \dot{f}_1 + f_1; \\ 2\dot{y}_2 + y_2 &= 4\dot{u}_1 + 2u_1 + u_2 + 2\dot{f}_2 + f_2\end{aligned} \quad (19)$	

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачетам

Учебным планом не предусмотрено

#### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

"Введение. Общие сведения о динамических управляемых системах"

1. Понятие о моделировании как методе научного познания. Кибернетические модели и их виды.
2. Объект управления. Управляемая величина. Управляющее и возмущающее воздействия. Дать определения и привести примеры.
3. Управляющее устройство и его состав. Задающее воздействие и ошибка управления.
4. Понятие об автоматическом управлении и автоматическом регулировании. Функциональные схемы САУ и САР.
5. Разомкнутые и замкнутые, обыкновенные и самонастраивающиеся САР. Функциональные схемы и сравнение принципов работы этих систем.

6. Системы стабилизации, программного управления и следящие. Классификационный признак этих систем и выполняемые ими задачи.

7. САР прямого и непрямого регулирования. Функциональные схемы и практические примеры.

8. Понятие о непрерывных и дискретных САР. Виды дискретизации. Линейные и нелинейные САР.

9. Принципы автоматического регулирования по отклонению, по возмущению и комбинированный. Функциональные схемы и объяснение работы САР на этих принципах.

10. Статические и астатические САР. Определения и характерные признаки этих систем. Статизм САР.

### "Модели линейных одномерных систем"

1. Установившийся режим системы и статические характеристики её элементов. Дать определения и примеры.

2. Статические характеристики соединений звеньев (параллельное, последовательное и соединение в виде обратной связи).

3. Методы аналитической линеаризации статических характеристик элементов систем.

4. Дифференциальное уравнение как основная динамическая характеристика системы. Вывести дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока независимого возбуждения, управляемого со стороны якоря. Провести анализ этого дифференциального уравнения.

5. Изображение сигналов по Лапласу и понятие о передаточной функции элемента системы.

6. Изображение сигнала по Фурье и понятие о комплексном коэффициенте передачи (частотной функции) элемента или системы.

7. Формы практического использования частотной функции (ЛАЧХ, ЛФЧХ, годограф). Способы экспериментального и расчетного получения комплексного коэффициента передачи.

8. Переходная и весовая функции звена. Дать определения и привести примеры. Взаимосвязь различных динамических характеристик.

9. Динамические характеристики типовых звеньев - усилительного и апериодического. Практические примеры этих звеньев.

10. Динамические характеристики типового колебательного звена. Пример звена.

11. Динамические характеристики дифференцирующего и интегрирующего звеньев. Пример реализации этих звеньев.

12. Звено запаздывания. Понятие о минимально-фазовых звеньях.

13. Понятие о структурной схеме системы. Простейшие преобразования структур.

14. Передаточные функции разомкнутых и замкнутых систем автоматического регулирования. Пример получения передаточных функций САР по управлению и по возмущению.

15. Передаточные функции ошибки САР. Пример получения.
16. Частотные характеристики разомкнутой и замкнутой САР. Построение логарифмических частотных характеристик разомкнутой САР.
17. Векторно-матричное описание линейных динамических систем в пространстве состояний. Передаточные матрицы разомкнутой и замкнутой САР.

#### "Модели многомерных линейных систем автоматического регулирования"

1. Многомерные линейные САР. Основные понятия, определения и классификация систем. Примеры.
2. Описание многомерных САР с помощью дифференциальных уравнений общего вида. Пример.
3. Описание многомерных САР с помощью матриц передаточных функций. Понятие о передаточной матрице и составление структурных схем многомерных САР. Пример.
4. Описание многомерных САР в пространстве состояний. Общие приемы и конкретный пример.
5. Сравнительный анализ различных способов описания многомерных САР.

#### "Модели нелинейных систем автоматического регулирования"

1. Определение нелинейной САР. Примеры дифференциальных уравнений и структур нелинейных систем.
2. Основные типы нелинейных звеньев и их статические характеристики. Примеры реальных технических устройств с нелинейными характеристиками.
3. Способы линеаризации нелинейностей. Способ малых отклонений, способы осреднения и вибрационной линеаризации.
4. Статические характеристики нелинейных систем. Параллельное и последовательное соединение звеньев. Соединение с отрицательной и положительной обратными связями.
5. Описание нелинейных САР с помощью дифференциальных уравнений общего вида. Переход к описанию САР в пространстве состояний. Пример.
6. Понятие о фазовом пространстве. Фазовая траектория как динамическая характеристика нелинейной САР. Пример построения фазовой траектории для нелинейной САР 1-го порядка.
7. Построение фазовых траекторий нелинейных САР 2-го порядка с помощью изоклин. Привести пример.
8. Сущность гармонической линеаризации нелинейности. Условия применения гармонической линеаризации в нелинейных САР.
9. Комплексный коэффициент передачи как динамическая характеристика нелинейного звена. Пояснить сущность модуля и фазы комплексного коэффициента передачи на примере с однозначной и неоднозначной нелинейностями.
10. Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейности и их связь с

комплексным коэффициентом передачи. Пояснить приёмы практического использования коэффициентов гармонической линеаризации на примере прохождения гармонического сигнала через разомкнутую нелинейную САР.

11. Анализ прохождения гармонического сигнала через замкнутую нелинейную САР на основе её гармонической линеаризации. Привести пример.

#### 7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит два вопроса и задачу в форме теста.

За ответы на вопросы билета выставляется:

5 баллов, если ответы на поставленные вопросы в билете излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Делаются обоснованные выводы. Демонстрируются глубокие знания базовых положений курса;

4 балла, если ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Материал излагается уверенно. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер;

3 балла, если имеются нарушения в последовательности изложения. Демонстрируются поверхностные знания вопроса. Имеются затруднения с выводами;

2 балла, если материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний;

0 баллов, если обучающийся затрудняется ответить на вопрос.

За выполнение теста на 90-100% выставляется 5 баллов, на 80—90% - 4 балла, на 70-80% - 3 балла, 50-60% - 2 балла; 40-50 % - 1 балл; менее 40 % - 0 баллов.

Максимальное количество набранных баллов – 15.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 7 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 7 до 9 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 10 до 12 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 13 до 15 баллов.

#### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Общие сведения о динамических управляемых системах.	ОПК-1, ОПК-2	Тесты, проверочные задания, курсовой проект
2	Модели линейных одномерных систем	ОПК-1, ОПК-2	Тесты, проверочные задания, курсовой проект
3	Модели многомерных линейных систем автоматического регулирования	ОПК-1, ОПК-2	Тесты, проверочные задания, курсовой проект
4	Модели нелинейных систем автоматического регулирования	ОПК-1, ОПК-2	Тесты, проверочные задания, курсовой проект

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка

согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Карпов А.Г. Математические основы теории систем [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Карпов А.Г.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2016.— 230 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72123.html>.— ЭБС «IPRbooks»

2. Математические основы теории автоматического управления. В 3 томах. Т.1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.А. Иванов [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2006.— 552 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/94139.html>.— ЭБС «IPRbooks»

3. Математические основы теории автоматического управления. В 3 томах. Т.2 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.А. Иванов [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2008.— 616 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/94136.html>.— ЭБС «IPRbooks»

4. Математические основы теории автоматического управления. В 3 томах. Т.3 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.А. Иванов [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2009.— 351 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/94137.html>.— ЭБС «IPRbooks»

5. Яковлев В.Б. Теория автоматического управления : учебник. - М. : Высш. шк., 2005. - 567 с. 2005

6. Дорф Р. Дорф Р. Современные системы управления. М. □ Лаборатория базовых знаний., 2002. – 832 с. 2002

7. Егоров А.И. Основы теории управления / А. И. Егоров. - М. : Физматлит, 2004. - 504 с 2003

8. Андриевский Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB - СПб. : Наука, 1999. - 467с. 1994

9. Соломенцев Ю.М. Теория автоматического управления : Учеб. пособие /- М. : Высш. шк., 1999. - 268с 1999

10. Воронов В.Г. Методы проектирования систем управления. - Харьков : Основа, 1996. - 253с. 1996

11. Литвиненко А.М. Математические основы теории систем. Учебное пособие. Воронеж: ВГТУ, -2002. – 198 с.

12. Компьютерное моделирование линейных систем управления [Электронный ресурс]: методические указания к практическим занятиям и курсовой работе / — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013.— 41 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22877.html>.— ЭБС «IPRbooks»

13. Васильев Е.М. Модели линейных динамических систем [Электронный ресурс]: Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Математические основы теории систем" - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. – 37 с.

14. Васильев Е.М. Модели многомерных и нелинейных систем управления: Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Математические основы теории систем" - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. – 37 с.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

#### **Лицензионное программное обеспечение**

MicrosoftOfficeWord 2013/2007

MicrosoftOfficeExcel 2013/2007

MicrosoftOfficePowerPoint 2013/2007

MatLab

Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic

#### **Свободное ПО**

OpenOffice

Mozilla Firefox

Zip

#### **Отечественное ПО**

#### **Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

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

Образовательный портал ВГТУ

<https://electrono.ru>  
<https://www.tehnari.ru/>  
<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>  
<https://www.sql.ru/>

### **Информационные справочные системы**

<http://window.edu.ru>  
<https://wiki.cchgeu.ru/>

### **Современные профессиональные базы данных**

#### **База данных zbMath**

Адрес ресурса: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh/zbmath>

#### **Association for Computing Machinery, ACM**

Адрес ресурса: [https://dl.acm.org/contents\\_dl.cfm](https://dl.acm.org/contents_dl.cfm)

#### **Единый портал инноваций и уникальных изобретений**

Адрес ресурса: <http://innovationportal.ru/>

#### **Инновации в России**

Адрес ресурса: <http://innovation.gov.ru/>

#### **Росстандарт. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии**

Адрес ресурса <https://www.gost.ru/portal/gost/>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**Дисплейный класс**, оснащенный компьютерами с доступом в Интернет и программным обеспечением, необходимым для выполнения заданий и курсового проекта.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Математические основы теории систем» читаются лекции, проводятся практические занятия, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков логического синтеза. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой заданий и защитой курсового проекта.

Вид учебных заня-	Деятельность студента
-------------------	-----------------------

тий	
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

### **Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов**

Нестационарные системы. При первоначальном знакомстве с понятием нестационарности по основной и дополнительной литературе рекомендуется усвоить физическую сущность понятия нестационарности процессов управления на конкретных примерах, приведённых в учебниках. Математическое описание этих процессов на данном этапе обучения рассматривать не обязательно.

Системы с распределёнными параметрами. Следует уяснить, что системы с сосредоточенными параметрами являются всего лишь удобной математической идеализацией реальных систем и наиболее важным вопросом при их рассмотрении является возможность или невозможность получения физически эквивалентного процесса при его сосредоточении.

Способы получения статических характеристик технических устройств. При изучении темы рекомендуется использовать математический пакет Matchcad, позволяющий значительно упростить построение статических характеристик.

Приёмы анализа дифференциальных уравнений. При знакомстве с литературой следует обратить внимание на приёмы перехода к новой системе координат, линеаризации дифференциальных уравнений и получения с их помощью статических характеристик системы по требуемому параметру.

Простейшие преобразования структур. Рекомендуется изучать данную тему с точки зрения современных представлений на структурные преобразования систем, осуществляемые в аналитическом виде. Графическая интерпретация этих преобразований служит лишь их удобной иллюстрацией.

Сравнение различных способов описания динамических систем. Выбирая сравнительный материал из разных источников основной и дополнительной литературы следует систематизировать характеристики тех или иных способов описания систем по универсальности, простоте аналитического или численного исследования, удобству использования для описания многомерных систем.

Способы получения характеристического уравнения многомерной линейной САУ. Следует изучить способы получения характеристического уравнения на основе дифференциальных уравнений системы, передаточных матриц, описания в пространстве состояний.

Типовые нелинейные звенья. Основное внимание при изучении темы, следует уделить примерам технических устройств, которые послужили физическими прообразами типовых нелинейных звеньев.

## Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
2	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	