

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____ Василенко В.Н.

« 25 » мая 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Направление подготовки

27.03.04 Управление в технических системах

Направленность (профиль)

Системы автоматизированного управления

Квалификация выпускника

Бакалавр

1. Цель и задачи дисциплины

Целями освоения дисциплины «Теория автоматического управления» является формирование у обучающихся теоретических знаний, практических умений и навыков, необходимых при осуществлении проектно-конструкторской деятельности при модернизации действующих и создании новых автоматизированных и автоматических технологий и производств.

Задачи дисциплины:

- участию в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания систем и средств автоматизации и управления;
- сбору и анализу исходных данных для расчета и проектирования устройств и систем автоматизации и управления;
- расчету и проектированию отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием;
- разработке проектной и рабочей документации, оформлению отчетов по законченным проектно-конструкторским работам.

2. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины в соответствии с предусмотренными компетенциями обучающийся должен:

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (результат освоения)	В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:		
			знать	уметь	владеть
1	ОПК-5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	основные способы получения и представления экспериментальных данных в системах управления и приемы их обработки	применять методы для обработки экспериментальных данных при идентификации объектов	методами разработки моделей объектов на основе экспериментально-статистического подхода
2	ПК-6	способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием	основные методы анализа систем автоматического управления (САУ) во временной и частотной областях; методы синтеза САУ; статические и динамические свойства объектов управления	проводить расчет устройств формирования управляющих воздействий в САУ, моделировать динамику систем, проводить оценку качества управления.	навыками моделирования и проектирования систем автоматического управления с применением стандартных средств автоматики, измерительной и вычислительной техники.

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина «Теория автоматического управления» относится к блоку 1 ОП и ее базовой части.

При изучении курса, используются знания таких дисциплин как «Математика», «Теоретическая механика», «Основы электротехники и теплотехники», «Математические модели и численные методы в решении задач АСУТП», «Технологические процессы и производства», «Методы оптимизации».

Дисциплина «Теория автоматического управления» является предшествующей

для дисциплин: «Технические средства автоматизации», «Интегрированные системы проектирования и управления», «Основы проектирования автоматизированных систем», «Автоматизация проектирования систем и средств управления», «Цифровые многомерные системы управления».

4 Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет **11** зачетных единиц.

Виды учебной работы	Всего часов	4 семестр	5 семестр	6 семестр
	ак.ч	ак.ч	ак.ч	ак.ч
Общая трудоемкость дисциплины	396	108	144	144
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	175,2	55	63,7	56,5
Лекции	66	18	30	18
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	66	18	30	18
Практические занятия (ПЗ)	36	–	–	36
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	36	–	–	36
Лабораторные работы (ЛР)	66	36	30	–
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	66	36	30	–
Консультации текущие	3,3	0,9	1,5	0,9
Консультация перед экзаменом	2	–	2	–
Вид аттестации (курсовая работа)	1,5	–	–	1,5
Вид аттестации (зачет)	0,2	0,1	–	0,1
Вид аттестации (экзамен)	0,2	–	0,2	–
Самостоятельная работа:	187	53	46,5	87,5
Проработка материалов по конспекту лекций	33	9	15	9
Проработка материалов по учебникам и пособиям	61	19	11,5	30,5
Подготовка к лабораторным работам. Выполнение расчетов в среде Mathcad при оформлении отчетов	45	25	20	–
Подготовка к практическим занятиям, проведение расчетов среде Mathcad при решении задач	21	–	–	21
Курсовая работа (выполнение расчетов, чертежа структурной схемы системы, оформление)	27	–	–	27
Подготовка к экзамену	33,8	–	33,8	–

5 Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием количества академических часов и видов учебных занятий

5.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, часы
4 семестр			
1	Основные понятия ТАУ и математическое описание объектов и систем управления	Основные понятия теории управления; классификация систем управления (СУ); поведение объектов и СУ. Информация и принципы управления; примеры СУ техническими, экономическими и организационными объектами. Задачи теории управления. Линейные непрерывные модели и характеристики СУ. Модели вход-выход: дифференциальные уравнения, передаточные функции, временные и частотные характеристики. Модели вход-состояние-выход; преобразования форм представления моделей.	50
2	Анализ линейных систем автоматического управления.	Анализ основных свойств линейных СУ: устойчивости, инвариантности, чувствительности, управляемости и наблюдаемости. Качество переходных процессов в линейных СУ;	57

5 семестр			
3	Синтез линейных систем	Задачи и методы синтеза линейных СУ. Расчет и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбор стандартных средств автоматизации, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием;	40
4	Нелинейные и дискретные САУ	Нелинейные модели СУ. Анализ равновесных режимов. Методы линеаризации нелинейных моделей. Анализ поведения СУ на фазовой плоскости. Устойчивость положений равновесия: первый и второй методы Ляпунова. Частотный метод исследования абсолютной устойчивости. Исследование периодических режимов методом гармонического баланса. Синтез нелинейных систем. Линейные дискретные модели СУ: основные понятия об импульсных СУ, классификация дискретных СУ. Анализ и синтез дискретных СУ;	38
5	Случайные процессы в САУ	Линейные стохастические модели СУ: модели и характеристики случайных сигналов. Использование основных приемов обработки и представления экспериментальных данных при получении статистических характеристик случайных сигналов. Прохождение случайных сигналов через линейные звенья. Анализ и синтез линейных стохастических систем при стационарных случайных воздействиях;	28,5
6 семестр			
6	Оптимальные системы управления	Оптимальные системы управления: задачи оптимального управления, критерии оптимальности. Методы теории оптимального управления: классическое вариационное исчисление, принцип максимума, динамическое программирование. СУ оптимальные по быстродействию, оптимальные по расходу ресурсов и расходу энергии. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Курсовая работа.	141,5

5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, час.	ПЗ, час.	ЛР, час.	СРО, час
4 семестр					
1	Основные понятия ТАУ и математическое описание объектов и систем управления	10	–	20	20
2	Анализ линейных систем автоматического управления.	8	–	16	33
5 семестр					
3	Синтез линейных систем	10	–	10	20
4	Нелинейные и дискретные САУ	12	–	12	14
5	Случайные процессы в САУ	8	–	8	12,5
6 семестр					
6	Оптимальные системы управления	18	36	–	87,5

5.2.3 Лекции

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика лекционных занятий	Трудоемкость раздела, часы
4 семестр			
1	Основные понятия ТАУ и математическое описание объектов и систем управления	Основные понятия и определения: управление, регулирование, структурная и функциональная схемы, входные и выходные координаты, управляющие и возмущающие воздействия Принципы построения автоматических систем управления; разомкнутые и замкнутые системы, с компенсацией возмущения, с адаптацией. Классификация ав-	10

		томатических систем управления: одно- и многокомпонентные, линейные и нелинейные, непрерывные и дискретные. Принцип суперпозиции. Составление уравнений звеньев и их линеаризация. Описание в пространстве состояний и в координатах «вход – выход». Передаточные функции. Временные характеристики. Связь выходного и входного сигналов линейной системы на основании интеграла свертки. Частотные характеристики объекта. Логарифмические частотные характеристики. Понятие о минимально-фазовых системах. Условие физической реализуемости. Типовые звенья и их временные и частотные характеристики. Виды соединений звеньев. Определение передаточной функции системы по передаточным функциям отдельных звеньев. Эквивалентные преобразования структурных схем.	
2	Анализ линейных систем автоматического управления.	Анализ устойчивости. Определение устойчивости динамической системы. Устойчивость движения и состояния. Необходимое и достаточное условие устойчивости. Критерии устойчивости (Рауса-Гурвица, Михайлова, Найквиста). Системы с запаздыванием. Частотные критерии устойчивости для систем с запаздыванием. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам. Запасы устойчивости. Выделение областей устойчивости. D-разбиение. Робастная устойчивость. Анализ инвариантности. Анализ точности. Статическая и астатическая системы, коэффициенты ошибок. Качество переходных процессов в линейных СУ. Прямые показатели качества переходных процессов. Косвенные показатели качества (степени устойчивости и колебательности). Интегральные критерии качества. Взаимосвязь различных критериев качества. Суждение о качестве регулирования по частотным характеристикам замкнутой системы. Корневые методы оценки качества. Анализ чувствительности.	8
5 семестр			
3	Синтез линейных систем	Программное управление. Системы регулирования с обратной связью. Типовые законы регулирования промышленных регуляторов. Оптимальные настройки регуляторов. Приближенные методы расчета настроек регуляторов. Комбинированные системы регулирования. Методы коррекции линейных автоматических систем управления. Представление о возможности построения системы из условий требуемых показателей переходного процесса. Расчет и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбор стандартных средств автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием. Использование метода логарифмических характеристик при синтезе системы управления. Синтез замкнутых САУ по корням характеристического уравнения. Системы взаимосвязанного регулирования. Математическое описание многомерных линейных объектов. Описание объектов и систем в нормальной форме. Метод пространства состояний в линейной теории. Управляемость и наблюдаемость объектов. Каноническая форма уравнения состояния и синтез систем модального управления.	10
4	Нелинейные и дискретные САУ	Определение нелинейной системы. Типовые нелинейности, их статические характеристики. Построение переходных процессов в нелинейных системах. Исследование движения в фазовом пространстве. Фазовые портреты линейных систем второго порядка, особые точки. Фазовые портреты и особые линии для нелинейных систем. Приближенные и точные методы построения фазовых траек-	12

		торий. Фазовые портреты нелинейных систем. Примеры построения. Системы автоматического регулирования с переменной структурой. Приближенные методы анализа нелинейных систем. Метод гармонической линеаризации, метод гармонического баланса. Коэффициенты гармонической линеаризации. Устойчивость автоколебаний по критерию Гольдфарба. Устойчивость нелинейных систем. Определение устойчивости движения и состояния нелинейной системы. Уравнения первого приближения, их линеаризация и использование для исследования устойчивости (первый метод Ляпунова). Второй метод Ляпунова, примеры выбора функции Ляпунова. Частотный метод определения устойчивости В.М. Попова. Геометрическая интерпретация метода Попова. Проектирование нелинейных систем. Вибрационная линеаризация нелинейностей. Скользящие режимы в нелинейных системах. Импульсные сигналы. Математическое описание. Описание переходных процессов. Z – преобразования. Дискретные преобразования Фурье.	
5	Случайные процессы в САУ	Случайные процессы, их характеристики (корреляционная функция, спектральная плотность). Использование корреляционной функции и спектральной плотности для анализа систем. Использование основных приемов обработки и представления экспериментальных данных при получении статистических характеристик случайных сигналов. Связь спектральных плотностей на входе и выходе линейной системы. Прохождение случайного сигнала через линейную систему. Случайные сигналы в замкнутой линейной системе. Вычисление среднего квадрата ошибки на выходе АСР. Проектирование линейных систем при случайных воздействиях. Реализуемые квазиоптимальные системы. Фильтр Винера, фильтр Калмана	8
6 семестр			
6	Оптимальные системы управления	Основы вариационного исчисления. Основные определения. Уравнения Эйлера, Эйлера-Пуассона. Условия трансверсальности для задач с незакрепленными концами. Смешанные задачи. Оптимальные системы управления. Постановка задачи синтеза оптимального управления. Понятие о классическом и неклассическом вариационном исчислении. Необходимые условия экстремума функционала. Принцип максимума Понтрягина. Особенности применения принципа максимума. Динамическое программирование. Оптимальное программное управление. Методы проектирования оптимальных систем. Синтез оптимальной по быстродействию системы. Методы аналитического конструирования регуляторов. Вопросы реализуемости законов управления.	18

5.2.4 Практические занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость раздела, часы
6 семестр			
6	Оптимальные системы управления	1. Решение задач поиска абсолютного экстремума. 2. Решение задачи поиска условного экстремума методом множителей Лагранжа 3. Решение задачи вариационного исчисления методом Эйлера. 4. Решение задачи вариационного исчисления по формулам Эйлера- Пуассона 5. Постановка задачи оптимального управления. Задача	36

		Лагранжа 6. Решение задачи Больца методом классического вариационного исчисления 7. Решение задачи Больца с помощью принципа максимума Понтрягина 8. Решение задачи о максимальном быстродействии с помощью принципа максимума Понтрягина 9. Решение задач динамического программирования. 10. Проектирование замкнутой системы максимального быстродействия 11 Проектирование замкнутой системы с квадратичным критерием оптимальности	
--	--	---	--

5.2.5 Лабораторный практикум

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость раздела, часы
4 семестр			
1	Основные понятия ТАУ и математическое описание объектов и систем управления	Основы работы в системе MATHCAD Решение дифференциальных уравнений и построение графиков в системе MATHCAD Моделирование переходных процессов элементарных звеньев и соединений звеньев Определение частотных характеристик элементарных звеньев и соединений звеньев	20
2	Анализ линейных систем автоматического управления.	Исследование устойчивости объектов регулирования и замкнутых систем регулирования Исследование качества переходных процессов в замкнутых системах регулирования	16
5 семестр			
3	Синтез линейных систем	Синтез замкнутой системы по корням характеристического уравнения Синтез замкнутой системы регулирования с минимальной интегральной квадратической ошибкой	10
4	Нелинейные и дискретные САУ	Исследование процессов в замкнутых нелинейных системах регулирования. Исследование автоколебательных процессов в замкнутых нелинейных системах регулирования приближенными методами.	12
5	Случайные процессы в САУ	Исследование качества регулирования в замкнутых системах регулирования при случайных воздействиях.	8

5.2.4 Самостоятельная работа обучающихся (СРО)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вид СРО	Трудоемкость раздела, часы
4 семестр			
1	Основные понятия ТАУ и математическое описание объектов и систем управления	Проработка конспекта лекций. Проработка материала по учебникам. Подготовка к лабораторным работам. Выполнение расчетов в среде Mathcad при оформлении отчетов	20
2	Анализ линейных систем автоматического управления.	Проработка конспекта лекций. Проработка материала по учебникам. Подготовка к лабораторным работам. Выполнение расчетов в среде Mathcad при оформлении отчетов	33
5 семестр			
3	Синтез линейных систем	Проработка конспекта лекций. Проработка материала по учебникам. Подготовка к лабораторным работам. Выполнение расчетов в среде Mathcad при оформлении отчетов	20

4	Нелинейные и дискретные САУ	Проработка конспекта лекций. Проработка материала по учебникам. Подготовка к лабораторным работам. Выполнение расчетов в среде Mathcad при оформлении отчетов	14
5	Случайные процессы в САУ	Проработка конспекта лекций. Проработка материала по учебникам. Подготовка к лабораторным работам. Выполнение расчетов в среде Mathcad при оформлении отчетов	12,5
6 семестр			
6	Оптимальные системы управления	Проработка конспекта лекций. Проработка материала по учебникам. Подготовка к практическим занятиям, проведение расчетов в среде Mathcad при решении задач Курсовая работа (выполнение расчетов, чертежа структурной схемы системы, оформление)	87,5

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

6.1 Основная литература

Гаврилов А. Н. Теория автоматического управления технологическими объектами (линейные системы) [Текст] : учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. П. Барметов, А. А. Хвостов; ВГУИТ, Кафедра информационных и управляющих систем. - Воронеж : ВГУИТ, 2016. - 243 с. - Библиогр.: с 240.

Барметов, Ю.П. Теория автоматического управления. Лабораторный практикум : учебное пособие / Ю.П. Барметов, Е.А. Балашова, В.К. Битюков; науч. ред. В.К. Битюков ; Воронежский государственный университет инженерных техно-логий, - Воронеж : ВГУИТ, 2017. – 204 с.

Оптимальное управление в технических системах. Практикум : учебное пособие / Е.А. Балашова, Ю.П. Барметов, В.К. Битюков, Е.А. Хромых ; науч. ред. В.К. Битюков ; Воронежский государственный университет инженерных техно-логий,. - Воронеж : ВГУИТ, 2017. - 289 с.

Барметов, Ю. П. Теория автоматического управления (Курсовое проектирование) [Текст]: учеб. пособие. / Ю.П. Барметов, Е.А. Балашова, А.Н. Гаврилов; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж.: ВГУИТ, 2020. – 109 с.

6.2 Дополнительная литература:

Ким, Д. П. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 276 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9294-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489509>

Лубенцова, Е. В. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов : учебное пособие / Е. В. Лубенцова, В. Ф. Лубенцов ; Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь : Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2015. – 114 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457411>

Лубенцов, В. Ф. Теория автоматического управления. Курсовое проектирование : учебное пособие / В. Ф. Лубенцов, Е. В. Лубенцова ; Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь : Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2014. – 102 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457415>

Цветкова, О. Л. Теория автоматического управления : учебник : [16+] / О. Л. Цветкова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – 209 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=443415>

Аверьянов, Г. С. Основы теории автоматического управления : учебное пособие / Г. С. Аверьянов, А. Б. Яковлев ; Омский государственный технический университет. – Омск : Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2017. – 108 с. : граф., схем. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493256>

Барметов, Ю. П. Теория автоматического управления. Лабораторный практикум : учебное пособие / Ю. П. Барметов, Е. А. Балашова, В. К. Битюков ; науч. ред. В. К. Битюков ; Воронежский государственный университет инженерных технологий. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. – 207 с. : табл., граф., ил. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482038>

Оптимальное управление в технических системах. Практикум : учебное пособие / Е. А. Балашова, Ю. П. Барметов, В. К. Битюков, Е. А. Хромых ; науч. ред. В. К. Битюков ; Воронежский государственный университет инженерных технологий. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. – 289 с. : табл., граф. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482037>

Пищухина, Т. А. Теория автоматического управления : учебно-методическое пособие / Т. А. Пищухина ; Оренбургский государственный университет. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2016. – Часть 1. – 94 с. : схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481786>

6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

УМК по дисциплине «Теория автоматического управления». Разраб. доц. Барметов Ю.П. <http://education.vsu.ru/course/view.php?id=30>

Барметов, Ю.П. Теория автоматического управления. Лабораторный практикум : учебное пособие / Ю.П. Барметов, Е.А. Балашова, В.К. Битюков ; науч. ред. В.К. Битюков ; Воронежский государственный университет инженерных технологий, - Воронеж : ВГУИТ, 2017. – 204 с.

Оптимальное управление в технических системах. Практикум : учебное пособие / Е.А. Балашова, Ю.П. Барметов, В.К. Битюков, Е.А. Хромых ; науч. ред. В.К. Битюков ; Воронежский государственный университет инженерных технологий, - Воронеж : ВГУИТ, 2017. - 289 с.

Барметов, Ю. П. Теория автоматического управления (Курсовое проектирование) [Текст]: учеб. пособие. / Ю.П. Барметов, Е.А. Балашова, А.Н. Гаврилов; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. –Воронеж.: ВГУИТ, 2020. – 109 с.

Пакет моделирующих программ в среде Mathcad, прилагаемый к лабораторному практикуму по курсу ТАУ.

Пакет моделирующих программ в среде Mathcad по решению задач оптимального управления.

Пакет моделирующих программ в среде Mathcad по курсовому проектированию.

6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	https://www.edu.ru/
Научная электронная библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp?
Национальная исследовательская компьютерная сеть России	https://niks.su/
Информационная система «Единое окно доступа к образо-	http://window.edu.ru/

вательным ресурсам»	
Электронная библиотека ВГУИТ	http://biblos.vsuet.ru/megapro/web
Сайт Министерства науки и высшего образования РФ	https://minobrnauki.gov.ru/
Портал открытого on-line образования	https://npoed.ru/
Электронная информационно-образовательная среда ФГБОУ ВО «ВГУИТ»	https://education.vsuet.ru/

6.5 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплин (модулей) в ФГБОУ ВО ВГУИТ [Электронный ресурс] : методические указания для обучающихся на всех уровнях высшего образования / Воронеж. гос. ун-т инж. технол.; сост. М. М. Данылиев, Р. Н. Плотникова; ВГУИТ. - Воронеж : ВГУИТ, 2016. – [ЭИ]. – Режим доступа : <http://biblos.vsuet.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/2488>. - Загл. с экрана

6.6 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

При изучении дисциплины используется программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы: ЭИОС университета, в том числе на базе программной платформы «Среда электронного обучения ЗКЛ».

При освоении дисциплины используется лицензионное и открытое программное обеспечение

Программы	Лицензии, реквизиты подтверждающего документа
Microsoft Windows 7 (64 - bit)	Microsoft Windows Professional 7 Russian Upgrade Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com
Microsoft Windows 8.1 (64 - bit)	Microsoft Open License Microsoft Windows Professional 8 Russian Upgrade Academic OPEN 1 License No Level#61280574 от 06.12.2012 г. http://eopen.microsoft.com
Microsoft Office Professional Plus 2010	Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #48516271 от 17.05.2011 г. http://eopen.microsoft.com
MicrosoftOffice 2007	Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com
MicrosoftOffice 2010	Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com
AdobeReaderXI	(бесплатноеПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volumedistribution.htm
Mathcad Prime 3.1	Договор № ТРУБ 27/01/17 с ООО «ВСГ» от 14.02.2017 г. Mathcad Education – University Edition (50 pack) Maintenance Gold

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория № 405 для проведения занятий лекционного типа, лабораторных и практических занятий, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

Комплект мебели для учебного процесса.

Проектор Epson EB-X41.

Учебная аудитория № 3096 для проведения занятий лекционного типа, лабораторных и практических занятий, занятий семинарского типа, курсового проектирования

(выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

Комплект мебели для учебного процесса.

Рабочие станции (IntelCore i5 – 8400) – 14 шт., мультимедийный проектор с аудио-поддержкой, экран.

Допускается использование других аудиторий в соответствии с расписанием учебных занятий и оснащенных соответствующим материально-техническим или программным обеспечением.

8 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

8.1 **Оценочные материалы (ОМ)** для дисциплины включают в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;

- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;

- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;

- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

8.2 Для каждого результата обучения по дисциплине (модулю) определяются показатели и критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

ОМ входят в состав рабочей программы дисциплины (модуля) **в виде приложения.**

Оценочные материалы формируются в соответствии с П ВГУИТ «Положение об оценочных материалах».

Документ составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению **27.03.04 Управление в технических системах** и профилю подготовки **Системы автоматизированного управления.**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (результат освоения)	В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:		
			знать	уметь	владеть
1	ОПК-5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	основные способы получения и представления экспериментальных данных в системах управления и приемы их обработки	применять методы для обработки экспериментальных данных при идентификации объектов	методами разработки моделей объектов на основе экспериментально-статистического подхода
2	ПК-6	способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием	основные методы анализа систем автоматического управления (САУ) во временной и частотной областях; методы синтеза САУ; статические и динамические свойства объектов управления	проводить расчет устройств формирования управляющих воздействий в САУ, моделировать динамику систем, проводить оценку качества управления.	навыками моделирования и проектирования систем автоматического управления с применением стандартных средств автоматики, измерительной и вычислительной техники.

2. Паспорт оценочных материалов по дисциплине

№ п/п	Разделы дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Технология оценки (способ контроля)
			наименование	№№ заданий	
1	Основные понятия ТАУ и математическое описание объектов и систем управления	ОПК-5 ПК-6	<i>Банк тестовых заданий</i>	94-103	Бланочное или компьютерное тестирование
			<i>Лабораторные работы (собеседование)</i>	204-214	Защита лабораторных работ
			<i>Кейс-задание</i>	195-198	Проверка преподавателем
			<i>Банк тестовых заданий</i>	114-137	Бланочное или компьютерное тестирование
			<i>Собеседование (вопросы к зачету)</i>	1-22	Контроль преподавателем
			<i>Лабораторные работы (собеседование)</i>	215-223	Защита лабораторных работ
2	Анализ линейных систем автоматического управления.	ОПК-5 ПК-6	<i>Банк тестовых заданий</i>	104-113	Бланочное или компьютерное тестирование
			<i>Банк тестовых заданий</i>	138-145	Бланочное или компьютерное тестирование
			<i>Собеседование (вопросы к зачету)</i>	23-39	Собеседование с преподавателем
			<i>Лабораторные работы (собеседование)</i>	224-230	Защита лабораторных работ
			<i>Кейс-задание</i>	199, 200	Проверка преподавателем
3	Синтез линейных систем	ОПК-5 ПК-6	<i>Банк тестовых заданий</i>	167-175	Бланочное или компьютерное тестирование
			<i>Собеседование (вопросы к экзамену)</i>	40-50	Контроль преподавателем
			<i>Лабораторные работы (собеседование)</i>	240-254	Защита лабораторных работ

			<i>Курсовая работа</i>	259-262	Защита курсового проекта
--	--	--	------------------------	---------	-----------------------------

4	Нелинейные и дискретные САУ	ОПК-5 ПК-6	Банк тестовых заданий	146-166	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование (вопросы к экзамену)	55-71	Контроль преподавателем
			Лабораторные работы (собеседование)	231-239	Защита лабораторных работ
			Собеседование (вопросы к экзамену)	40-51	Контроль преподавателем
5	Случайные процессы в САУ	ОПК-5 ПК-6	Банк тестовых заданий	184-194	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование (вопросы к экзамену)	72-77	Контроль преподавателем
			Лабораторные работы (собеседование)	255-258	Защита лабораторных работ
			Кейс-задание	201	Проверка преподавателем
			Собеседование (вопросы к экзамену)	52-54	Контроль преподавателем
6	Оптимальные системы управления	ОПК-5 ПК-6	Банк тестовых заданий	176-183	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование (вопросы к зачету)	78-93	Контроль преподавателем
			Кейс-задание	202-203	Проверка преподавателем
			Курсовая работа	263-271	Защита курсового проекта
			Курсовая работа	272-277	Защита курсового проекта

3. Оценочные материалы для промежуточной аттестации.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

3.1. Вопросы к первому зачету

3.1.1 Шифр и наименование компетенции

ОПК-5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

ПК-6 способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием

Номер задания	Формулировка вопроса
1.	Основные определения ТАУ: автоматизация производства, САУ, АСУ, алгоритм управления, алгоритм функционирования. Классификация АСУ.
2.	Математическое описание АСУ. Уравнения динамики. Передаточная функция системы в операторной форме.
3.	Математическое описание объектов управления. Линеаризация уравнений.
4.	Прямое и обратное преобразования Лапласа. Свойства преобразования Лапласа.
5.	Преобразование Лапласа для уравнения динамики линейных систем. Передаточная функция системы в преобразованиях Лапласа.
6.	Частотные характеристики систем: АФЧХ, АЧХ, ФЧХ, ЛЧХ. Физический смысл АЧХ и ФЧХ.
7.	Временные характеристики систем: переходная и весовая функции. Зависимость между

	временными характеристиками, между временными характеристиками и передаточной функцией.
8.	Передаточные функции при последовательном и параллельном соединении звеньев.
9.	Передаточная функция звена, охваченного обратной связью.
10.	Апериодическое звено первого порядка. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. Частотные характеристики
11.	Форсирующее звено первого порядка. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. Частотные характеристики.
12.	Идеальное дифференцирующее звено. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. Частотные характеристики.
13.	Звено чистого запаздывания. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. Частотные характеристики
14.	Апериодическое звено второго порядка. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. АФЧХ.
15.	Реальное интегрирующее звено. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. АФЧХ.
16.	Реальное дифференцирующее звено. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. АФЧХ.
17.	Колебательное звено. Передаточная функция, импульсная характеристика, переходной процесс. АФЧХ.
18.	Апериодическое звено второго порядка. Передаточная функция, амплитудно-фазовая, амплитудная и фазовая частотные характеристики. Логарифмические характеристики.
19.	Реальное интегрирующее звено. Передаточная функция, амплитудно-фазовая, амплитудная и фазовая частотные характеристики. Логарифмические характеристики.
20.	Реальное дифференцирующее звено. Передаточная функция, амплитудно-фазовая, амплитудная и фазовая частотные характеристики. Логарифмические характеристики.
21.	Колебательное звено. Передаточная функция, амплитудно-фазовая, амплитудная и фазовая частотные характеристики. Логарифмические характеристики.
22.	Консервативное звено. Передаточная функция, амплитудно-фазовая, амплитудная и фазовая частотные характеристики. Логарифмические характеристики.
23.	Устойчивость АСУ. Критерий устойчивости Ляпунова. Определение устойчивости системы по ее дифференциальному уравнению.
24.	Алгебраические критерии устойчивости: критерий Гурвица.
25.	Частотный критерий устойчивости Михайлова.
26.	Критерий устойчивости Найквиста.
27.	Определение устойчивости по критерию Найквиста астатических систем при введении обратной связи
28.	Анализ устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.
29.	Запас устойчивости по амплитуде и фазе из критерия Найквиста.
30.	Основные параметры переходных процессов.
31.	Оценка ошибок управления в установившемся состоянии при типовых воздействиях.
32.	Анализ точности. Статическая и астатическая системы, коэффициенты ошибок.
33.	Оценка показателей переходных процессов объектов по их частотным характеристикам.
34.	Косвенные показатели качества (степени устойчивости и колебательности).
35.	Интегральные критерии качества.
36.	Корневые методы оценки качества.
37.	Анализ чувствительности
38.	Описание объектов управления в пространстве состояний
39.	Преобразование дифференциальных уравнений к нормальной форме Коши

3.2. Вопросы к экзамену

3.2.1 Шифр и наименование компетенции

ОПК-5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

ПК-6 способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием

Номер задания	Формулировка вопроса
40.	Проектирование САУ. Программное управление. Достижение инвариантности.
41.	Проектирование САУ. Программное управление. Компенсация возмущений.
42.	Системы управления с обратной связью. Обеспечение устойчивости.
43.	Управление по ошибке. Законы регулирования: пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный, пропорционально-интегрально-дифференциальный.
44.	Расчет параметров регуляторов из условия минимума интегральной квадратичной ошибки.
45.	Частотные характеристики ПИД-регулятора и анализ влияния коэффициентов регулятора на поведение системы.
46.	Проектирование замкнутой системы по корням характеристического уравнения
47.	Системы комбинированного управления
48.	Оценка ошибок управления в установившемся состоянии при типовых воздействиях.
49.	Формулирование требований к передаточной функции разомкнутой системы на основе требований к устойчивости и точности замкнутой системы при типовых воздействиях
50.	Построение желаемых передаточных функций по частотным характеристикам. Подбор корректирующих звеньев.
51.	Проектирование нелинейных систем. Метод вибрационной линеаризации при устранении влияния зоны нечувствительности.
52.	Синтез линейных систем управления по критерию минимума средней квадратической ошибки при случайных воздействиях при заданной структуре разомкнутой системы.
53.	Синтез линейных систем управления по критерию минимума средней квадратической ошибки при случайных воздействиях при произвольной передаточной функции разомкнутой системы. Получение квазиоптимальной физически реализуемой передаточной функции системы.
54.	Фильтр Винера.
55.	Нелинейные системы управления. Основные виды нелинейностей. Статические характеристики.
56.	Построение переходных процессов в замкнутых нелинейных системах управления. Метод «припасовывания» граничных значений.
57.	Изображение изменения состояния нелинейной системы на фазовой плоскости. Построение фазовых портретов на примере консервативного звена второго порядка.
58.	Построение фазовых портретов аналитическим методом для звена второго порядка с нелинейностью.
59.	Исследование поведения систем по фазовым портретам. Особые точки, устойчивый и неустойчивый предельные циклы. Автоколебания.
60.	Приближенные методы исследования автоколебаний. Метод гармонического баланса и гармонической линеаризации. Устойчивость автоколебаний.
61.	Приближенные методы исследования автоколебаний. Метод точечных преобразований.
62.	Устойчивость нелинейных систем. Критерий устойчивости Ляпунова.
63.	Устойчивость нелинейных систем. Критерий устойчивости В. М. Попова. Геометрическая интерпретация критерия.
64.	Многомерные стационарные линейные объекты. Системы дифференциальных уравнений. Передаточные функции.
65.	Получение передаточных функций многомерных объектов и систем по дифференциальным уравнениям.
66.	Преобразование линейных дифференциальных уравнений высших порядков к системе уравнений Коши.
67.	Проектирование систем модального управления
68.	Дискретные системы управления. Классификация. Импульсная теорема.
69.	Преобразование Лапласа от импульсного сигнала.
70.	Преобразование Фурье от импульсного сигнала.
71.	Устойчивость дискретных систем.
72.	Случайные процессы в автоматических системах. Основные статистические характеристики: математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, функции распределения вероятности и плотности вероятности. Получение статистических характеристик по экспериментальным данным.
73.	Корреляционная и автокорреляционная функции случайных процессов. Их свойства. Получение корреляционных функций по экспериментальным данным.
74.	Спектральная плотность случайного процесса и взаимная спектральная плотность. Свойства спектральных плотностей.
75.	Связь между корреляционными функциями случайных процессов на входе и выходе линейной системы.

76.	Связь между спектральными плотностями случайных процессов на входе и выходе линейной системы.
77.	Оценка статистических параметров ошибки регулирования в замкнутой системе, подверженной влиянию аддитивных случайных воздействий.

3.3. Вопросы ко второму зачету

3.3.1 Шифр и наименование компетенции

ОПК-5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

ПК-6 способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием

Номер задания	Формулировка вопроса
78.	Экстремальные системы регулирования. Методы и алгоритмы поиска безусловного экстремума функции многих переменных.
79.	Поиск экстремума функции многих переменных при наличии ограничений типа "равенство" и "неравенство". Метод множителей Лагранжа.
80.	Основные определения вариационного исчисления. Общая постановка задачи поиска оптимальных функций. Уравнение Эйлера.
81.	Поиск оптимальных функций методом классического вариационного исчисления. Уравнение Эйлера-Пуассона.
82.	Поиск оптимальных функций в задаче с незакрепленными концами. Условия трансверсальности.
83.	Поиск оптимальных функций в смешанной задаче с незакрепленными концами.
84.	Общая постановка задачи синтеза оптимального управления
85.	Оптимальные системы управления. Задача Лагранжа: поиск оптимального управления и оптимальной траектории изменения состояния системы.
86.	Оптимальные системы управления. Задача Больца: поиск оптимального управления и оптимальной траектории изменения состояния системы.
87.	Оптимальные системы управления. Задача Майера: поиск оптимального управления и оптимальной траектории изменения состояния системы на примере системы максимального быстродействия.
88.	Принцип максимума Л.С. Понтрягина. Задачи Больца и Лагранжа.
89.	Принцип максимума Л.С. Понтрягина. Задача о максимальном быстродействии. Теорема о переключениях.
90.	Динамическое программирование. Принцип оптимальности Р. Беллмана. Уравнение Беллмана.
91.	Проектирование замкнутых оптимальных систем управления с максимальным быстродействием.
92.	Проектирование замкнутых оптимальных систем управления с квадратичным критерием.
93.	Синтез замкнутых оптимальных систем управления с квадратичным критерием в матричной форме

3.4. Тесты (тестовые задания)

3.4.1 Шифр и наименование компетенции

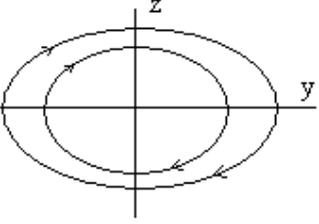
ОПК-5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

ПК-6 способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием

Номер задания	Тест (тестовое задание)
94.	<p>Интегральная форма уравнения динамики (интеграл свертки)</p> <p>1) $y(t) = \int_0^t w(t-\tau)u(\tau)d\tau$</p> <p>2) $y(t) = \int_0^t w(\tau)d\tau$</p> <p>3) $y(t) = \int_0^t w(\tau)e^{-s\tau} d\tau$</p> <p>4) $y(t) = \int_0^t w(t+\tau)u(\tau)d\tau$</p>
95.	<p>Изображение по Лапласу импульсного воздействия $\delta(t)$</p> <p>1) s</p> <p>2) $\frac{1}{s}$</p> <p>3) $\mathbf{1}$</p> <p>4) 0</p>
96.	<p>Переходной процесс системы можно рассчитать следующим образом:</p> <p>1) $L^{-1}\left\{W(s)\frac{1}{s}\right\}$</p> <p>2) $L^{-1}\{W(s)\}$</p> <p>3) $L^{-1}\{W(s)s\}$</p> <p>4) $L^{-1}\left\{\frac{W(s)}{s^2}\right\}$</p>
97.	<p>Весовую функцию системы можно рассчитать следующим образом:</p> <p>1) $L^{-1}\left\{W(s)\frac{1}{s}\right\}$</p> <p>2) $L^{-1}\left\{\frac{W(s)}{s^2}\right\}$</p> <p>3) $L^{-1}\{W(s)s\}$</p> <p>4) $L^{-1}\{W(s)\}$</p>
98.	<p>Фазовая частотная характеристика звена с частотной передаточной функцией $W(j\omega)$</p> <p>1) $\sqrt{Re(W(j\omega))^2 + Im(W(j\omega))^2}$</p> <p>2) $20 \lg(A(\omega))$</p> <p>3) $arctg\left(\frac{Im(W(j\omega))}{Re(W(j\omega))}\right)$</p> <p>4) $Re(W(j\omega)) + Im(W(j\omega))$</p>
99.	<p>Логарифмическая амплитудная частотная характеристика звена с частотной передаточной функцией $W(j\omega)$</p> <p>1) $\sqrt{Re(W(j\omega))^2 + Im(W(j\omega))^2}$</p> <p>2) $20 \lg(A(\theta))$</p> <p>3) $arctg\left(\frac{Im(W(j\omega))}{Re(W(j\omega))}\right)$</p> <p>4) $Re(W(j\omega)) + Im(W(j\omega))$</p>
100.	<p>Амплитудная частотная характеристика последовательного соединения звеньев с амплитудными характеристиками $A_1(\omega)$ и $A_2(\omega)$</p> <p>1) $A_1(\omega)A_2(\omega)$</p> <p>2) $A_1(\omega) + A_2(\omega)$</p> <p>3) $\frac{A_1(\omega)A_2(\omega)}{A_1(\omega) + A_2(\omega)}$</p> <p>4) $\frac{A_1(\omega) + A_2(\omega)}{A_1(\omega)A_2(\omega)}$</p>
101.	<p>Фазовая частотная характеристика последовательного соединения звеньев с фазовыми характеристиками $\varphi_1(\omega)$ и $\varphi_2(\omega)$</p> <p>1) $\varphi_1(\omega)\varphi_2(\omega)$</p> <p>2) $\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega)$</p> <p>3) $\frac{\varphi_1(\omega)\varphi_2(\omega)}{\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega)}$</p> <p>4) $\frac{\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega)}{\varphi_1(\omega)\varphi_2(\omega)}$</p>
102.	<p>Передаточная функция встречно-параллельного соединения звеньев с передаточными функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$ и отрицательной обратной связью</p> <p>1) $W_1(s)W_2(s)$</p> <p>2) $W_1(s) + W_2(s)$</p> <p>3) $\frac{W_1(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)}$</p> <p>4) $\frac{1}{1 + W_1(s)W_2(s)}$</p>

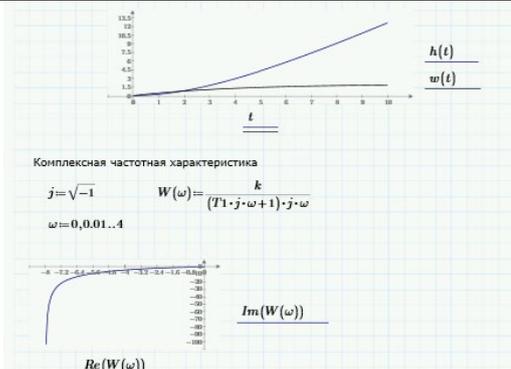
	3) для уравнений любого типа 4) только для уравнений статики								
117.	<p>Дифференциальное уравнение объекта: $T \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + y(t) = k_1 u(t) + k_2 \frac{dz}{dt} + z(t)$</p> <p>Передаточная функция объекта по управлению в операторной форме</p> <p>1) $\frac{k_1}{Tp^2 + p + 1}$ 2) $\frac{k_2}{Tp^2 + p + 1}$ 3) $\frac{k_2 p}{Tp^2 + p + 1}$</p> <p>4) $\frac{k_2 p + 1}{Tp^2 + p + 1}$ 5) $\frac{k_1 p}{Tp^2 + p + 1}$</p>								
118.	<p>Реакция объекта на ступенчатое единичное воздействие при нулевых начальных условиях</p> <p>1) импульсный переходный процесс 2) передаточная функция 3) переходный процесс 4) весовая функция</p>								
119.	<p>Описание реакции объекта на импульсное воздействие при нулевых начальных условиях</p> <p>1) импульсный переходный процесс 2) передаточная функция 3) переходный процесс 4) весовая функция</p>								
120.	<p>Переходная и весовая функции связаны соотношением</p> <p>1) $H(t) = \int_0^t w(\tau) d\tau$ 2) $H(t) = \int_0^t w(t-\tau) y(\tau) d\tau$</p> <p>3) $H(t) = \frac{dw}{dt}$ 4) $H(t) = \int_0^t w(\tau) e^{-s\tau} d\tau$</p>								
121.	<p>Передаточная функция апериодического звена второго порядка</p> <p>1) $W(s) = \frac{k}{Ts + 1}$ 2) $W(s) = \frac{k}{Ts}$</p> <p>3) $W(s) = \frac{k}{(Ts + 1)s}$ 4) $W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$</p>								
122.	<p>Передаточная функция реального интегрирующего звена</p> <p>1) $W(s) = \frac{k}{Ts + 1}$ 2) $W(s) = \frac{k}{Ts}$</p> <p>3) $W(s) = \frac{k}{(Ts + 1)s}$ 4) $W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$</p>								
123.	<p>Зависимость отношения амплитуд гармонических сигналов на выходе и входе линейного звена от частоты сигнала называется _____ частотной характеристикой</p> <p>Ответ: амплитудной</p>								
124.	<p>Передаточная функция форсирующего звена</p> <p>1) $W(s) = \frac{k}{Ts + 1}$ 2) $W(s) = k(Ts + 1)$</p> <p>3) $W(s) = \frac{k}{(Ts + 1)s}$ 4) $W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$</p>								
125.	<p>Установите соответствие между значением параметра ξ и типом звена с передаточной функцией $W(s) = \frac{k}{(T^2 s^2 + 2T\xi s + 1)}$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Значение параметра ξ</th> <th>Тип звена</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. $\xi = 0$ - В</td> <td>А. Колебательное</td> </tr> <tr> <td>2. $0 < \xi < 1$ - А</td> <td>Б. Апериодическое</td> </tr> <tr> <td>3. $\xi \geq 1$ - Б</td> <td>В. Консервативное</td> </tr> </tbody> </table>	Значение параметра ξ	Тип звена	1. $\xi = 0$ - В	А. Колебательное	2. $0 < \xi < 1$ - А	Б. Апериодическое	3. $\xi \geq 1$ - Б	В. Консервативное
Значение параметра ξ	Тип звена								
1. $\xi = 0$ - В	А. Колебательное								
2. $0 < \xi < 1$ - А	Б. Апериодическое								
3. $\xi \geq 1$ - Б	В. Консервативное								

	1) $\frac{W_1(s)W_2(s)}{W_1(s)}$ 3) $\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$	2) $W_1(s)+W_2(s)$ 4) $\frac{1}{1+W_1(s)W_2(s)}$							
139.	Передаточная функция параллельного соединения звеньев с передаточными функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$ 1) $W_1(s)W_2(s)$ 3) $\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$	2) $W_1(s)+W_2(s)$ 4) $\frac{1}{1+W_1(s)W_2(s)}$							
140.	Система устойчива, если действительные части корней характеристического уравнения 1) положительные 2) отрицательные 3) разных знаков 4) нулевые								
141.	Установите соответствие при всех положительных коэффициентах <table border="1"> <thead> <tr> <th>Передаточная функция звена</th> <th>Характеристика устойчивости</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. $\frac{1}{Ts+1}$ - А</td> <td rowspan="4"> А. Устойчивое Б. Неустойчивое В. На границе устойчивости </td> </tr> <tr> <td>2. $\frac{1}{Ts^2+1}$ - В</td> </tr> <tr> <td>3. $\frac{k}{(T_1s+1)(T_2s-1)}$ - Б</td> </tr> <tr> <td>4. $\frac{ks}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$ - А</td> </tr> </tbody> </table>	Передаточная функция звена	Характеристика устойчивости	1. $\frac{1}{Ts+1}$ - А	А. Устойчивое Б. Неустойчивое В. На границе устойчивости	2. $\frac{1}{Ts^2+1}$ - В	3. $\frac{k}{(T_1s+1)(T_2s-1)}$ - Б	4. $\frac{ks}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$ - А	
Передаточная функция звена	Характеристика устойчивости								
1. $\frac{1}{Ts+1}$ - А	А. Устойчивое Б. Неустойчивое В. На границе устойчивости								
2. $\frac{1}{Ts^2+1}$ - В									
3. $\frac{k}{(T_1s+1)(T_2s-1)}$ - Б									
4. $\frac{ks}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$ - А									
142.	Функцией Михайлова называют 1) АФЧХ системы 2) числитель АФЧХ 3) знаменатель АФЧХ 4) АЧХ системы								
143.	Если АЧХ системы имеет максимум на частоте, не равной нулю, то переходный процесс 1) монотонный сходящийся к постоянному значению 2) монотонный расходящийся 3) колебательный затухающий 4) колебательный незатухающий								
144.	Время регулирования это интервал, в течение которого переходный процесс 1) достигнет установившегося значения 2) достигнет заданного значения 3) достигнет установившегося значения с заданной точностью в первый раз 4) достигнет установившегося значения с заданной точностью и больше не отклонится от установившегося значения								
145.	Для оценки качества регулирования в системах с колебательными переходными процессами используют интегральный показатель 1) $\int_0^T y dt$ 2) $\int_0^T y^2 dt$ 3) $\int_0^T \varepsilon dt$ 4) $\int_0^T \varepsilon^2 dt$								
146.	Матрица передаточных функций по управлению многомерного объекта, описываемого системой дифференциальных уравнений $A(s)\bar{Y}(s) = B(s)\bar{U}(s) + C(s)\bar{Z}(s)$, равна 1) $B(s)/A(s)$ 2) $C(s)/A(s)$ 3) $B(s) \cdot A^{-1}(s)$ 4) $A^{-1}(s) \cdot B(s)$								
147.	Решение матричного дифференциального уравнения $\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t)$								

	$1) x(t) = e^{At} x(0) + \int_0^t e^{A(t-\tau)} Bu(\tau) d\tau$ $3) x(t) = \int_0^t e^{A(t-\tau)} Bu(\tau) d\tau$	$2) x(t) = e^{At} x(0)$ $4) x(t) = e^{At} x(0) - \int_0^t e^{A(t-\tau)} Bu(\tau) d\tau$
148.	Нелинейные свойства в объектах описывают с помощью характеристик <ol style="list-style-type: none"> 1) динамических 2) статических 3) статистических 4) логических 	
149.	Точка покоя системы называется устойчивый узел, если действительные части корней характеристического уравнения <ol style="list-style-type: none"> 1) положительные 2) отрицательные 3) разных знаков 4) нулевые. 	
150.	Фазовые траектории устойчивой системы <ol style="list-style-type: none"> 1) стремятся к точке покоя 2) убегают от точки покоя 3) замкнутые кривые 4) самопересекающиеся кривые 	
151.	Предельный цикл – это <ol style="list-style-type: none"> 1) замкнутая кривая 2) точка 3) спиралевидная кривая 4) самопересекающаяся кривая 	
152.	Система, структурная схема которой изменяется при переходе изображающей точки через границы некоторых заранее установленных областей фазового пространства называется системой с _____ структурой Ответ: переменной	
153.	Фазовая траектория объекта строится в координатах <ol style="list-style-type: none"> 1) выход объекта – время 2) выход объекта – производная от выходной координаты 3) вход объекта – время 4) вход объекта – производная от входного воздействия 	
154.	Фазовые траектории в верхней полуплоскости направлены <ol style="list-style-type: none"> 1) справа налево 2) сверху вниз 3) слева направо 4) могут иметь произвольное направление 	
155.	Какому уравнению соответствует фазовый портрет <div style="text-align: center;">  </div> <ol style="list-style-type: none"> 1) $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\varepsilon T \frac{dy}{dt} + y = 0$ 2) $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + y = 0$ 3) $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} - y = 0$ 4) $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = 0$ 	
156.	Функция В.М.Попова <ol style="list-style-type: none"> 1) $1 + j\omega W(j\omega) + 1/k$ 2) $(1 + j\omega W(j\omega) + 1/k)$ 3) $1 + j\omega W(j\omega) - 1/k$ 4) $(1 + j\omega W(j\omega) - 1/k)$ 	

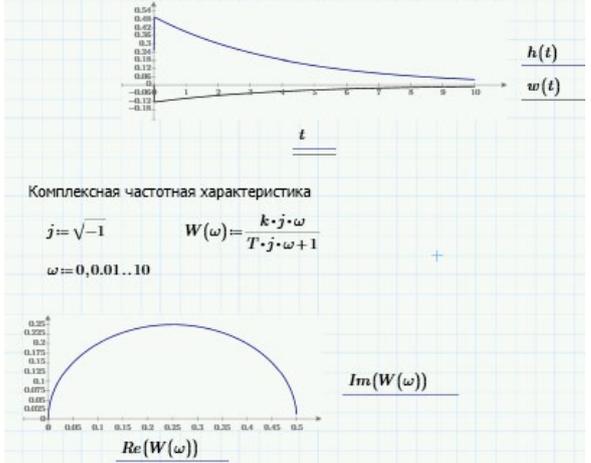
157.	Оператор $J(x)$, ставящий в соответствие каждой функции $x(t) \in X$ некоторое значение называется _____. Ответ: функционалом
158.	Уравнение Эйлера для задачи с закрепленными концами 1) $\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial F}{\partial x'} = 0$ 2) $\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial F}{\partial x'} = 0$ 3) $\frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial F}{\partial x'} = 0$ 4) $\frac{\partial F}{\partial x} + \frac{d}{dt} \frac{\partial F}{\partial x'} = 0$
159.	Для смешанных задач функционал имеет вид 1) $\int_{t_0}^{t_k} F(x, x', t) dt$ 2) $\Phi(x, x', t) + \int_{t_0}^{t_k} F(x, x', t) dt$ 3) $\Phi(x_0, t_0, x_k, t_k) + \int_{t_0}^{t_k} F(x, x', t) dt$
160.	Вариацией аргумента в вариационном исчислении называется 1) малая разность между двумя функциями 2) малое изменение переменной 3) малое изменение функционала 4) малое изменение функции во времени
161.	Функционалом может быть 1) производная от функции 2) дифференциальное уравнение 3) алгебраическое уравнение 4) интеграл от функции
162.	Вариация функционала для функции, обеспечивающей экстремум функционала, равна 1) нулю 2) бесконечности 3) только положительному значению 4) только отрицательному значению
163.	Вариация функции в закрепленной граничной точке равна 1) нулю 2) только положительному значению 3) только отрицательному значению 4) произвольному значению
164.	Изопериметрическими называют ограничения в виде уравнений 1) дифференциальных 2) алгебраических 3) интегральных 4) конечно-разностных
165.	Множители Лагранжа являются функциями времени при наличии ограничений в виде уравнений 1) дифференциальных 2) алгебраических 3) интегральных 4) неравенств
166.	Уравнения Эйлера-Лагранжа записывают для 1) функции Лагранжа 2) подинтенгральной части функционала 3) внеинтенгральной части функционала 4) ограничений
167.	Система управления называется инвариантной если в ней обеспечивается 1) нулевая ошибка 2) нулевая установившаяся ошибка 3) устойчивость 4) отсутствие δ -импульсов
168.	Для достижения устойчивости системы при неустойчивом объекте управления применяют коррекцию 1) последовательную 2) параллельную 3) встречно-параллельную (отрицательную обратную связь)

178.	<p>Функция Гамильтона в отличие от функции Лагранжа не содержит</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) только производных управляющих воздействий 2) только производных координат 3) любых производных 4) неопределенных множителей Лагранжа
179.	<p>Для определения оптимальных управления и траектории в задаче с закрепленными концами траектории достаточно</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) системы уравнений Эйлера-Лагранжа 2) системы Эйлера-Лагранжа и уравнений ограничений 3) системы Эйлера-Лагранжа, уравнений ограничений и граничных условий 4) системы Эйлера-Лагранжа, уравнений ограничений, граничных условий и условий трансверсальности
180.	<p>При решении задачи поиска оптимального управления с помощью принципа максимума Л. С. Понтрягина ограничения типа неравенств</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) учитываются при выборе возможных допустимых управлений 2) приводятся к ограничениям типа равенств 3) отбрасываются
181.	<p>При решении задачи с помощью принципа максимума Л. С. Понтрягина оптимальное управление может быть функцией только</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) непрерывной 2) кусочно-постоянной 3) постоянной 4) любой
182.	<p>Уравнение Беллмана</p> $1) \min_{\bar{u} \in U} \left[F_0(\bar{x}, \bar{u}, t) + \frac{d}{dt} S(\bar{x}, t) \right] = 0$ $2) \min_{\bar{u} \in U} \left[F_0(\bar{x}, \bar{u}, t) + \frac{\partial}{\partial t} S(\bar{x}, t) \right] = 0$ $3) \min_{\bar{u} \in U} \left[F_0(\bar{x}, \bar{u}, t) + \frac{d}{dt} S(\bar{x}, \bar{u}, t) \right] = 0$ $4) \min_{\bar{u} \in U} \left[F_0(\bar{x}, \bar{u}, t) + \frac{\partial}{\partial t} S(\bar{x}, \bar{u}, t) \right] = 0$
183.	<p>При синтезе замкнутой оптимальной САУ с квадратичным критерием оптимальное управление выражается как функция</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) координат объекта 2) фазовых координат 3) времени
184.	<p>Случайную функцию, аргументом которой является время, называют случайным _____ Ответ: процессом</p>
185.	<p>Математическое ожидание случайного процесса</p> $1) \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx$ $2) \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x, t) dx$ $3) \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x, t) dt$ $4) \int_0^t x \cdot f(x, t) dt$
186.	<p>Центрированный случайный процесс имеет нулевое</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) математическое ожидание 2) дисперсию 3) среднее квадратическое отклонение 4) среднее квадратическое значение
187.	<p>*Взаимная корреляционная функция двух случайных эргодических процессов</p> $1) M[X(t_1) \cdot X(t_2)]$ $2) \lim_{T \rightarrow \infty} (1/2T) \int_{-T}^T x(t) \cdot g(t + \tau) dt$ $3) \lim_{T \rightarrow \infty} (1/2T) \int_{-T}^T g(t) \cdot x(t + \tau) dt$ $4) \lim_{T \rightarrow \infty} (1/2T) \int_{-T}^T g(t) \cdot x(t) dt$

<p>Передаточная функция</p> $T1=4 \quad k=2$ $W(s) = \frac{k}{(T1 \cdot s + 1) \cdot s}$ <p>Изображение по Лапласу переходной функции</p> $H(s) = \frac{W(s)}{s}$ <p>Переходная функция</p> $h1(t) = H(s) \xrightarrow{\text{invlaplace}} 8 \cdot e^{-t/4} + (2 \cdot t - 8)$ <p>$h(t) = h1(t) \cdot \Phi(t)$</p> <p>Весовая функция</p> $w(t) = \frac{d}{dt} h1(t) \cdot \Phi(t)$	 <p>Комплексная частотная характеристика</p> $j = \sqrt{-1} \quad W(\omega) = \frac{k}{(T1 \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot j \cdot \omega}$ $\omega = 0, 0, 01 \dots 4$
---	---

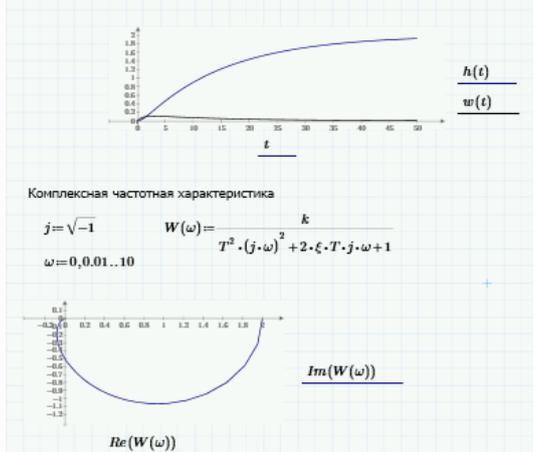
196. Для реального дифференцирующего звена с параметрами T1=4 и k=2 записать передаточную функцию и изображение по Лапласу переходной функции. Получить в среде Mathcad выражения для переходной и весовой функций, построить их графики. Записать выражение для комплексной частотной характеристики и построить её график в интервале частот от 0 до 10 с шагом 0.01.

Возможное решение:

<p>Передаточная функция</p> $T=4 \quad k=2$ $W(s) = \frac{k \cdot s}{T \cdot s + 1}$ <p>Изображение по Лапласу переходной функции</p> $H(s) = \frac{W(s)}{s}$ <p>Переходная функция</p> $h1(t) = H(s) \xrightarrow{\text{invlaplace}} \frac{e^{-t/4}}{2}$ <p>$h(t) = h1(t) \cdot \Phi(t)$</p> <p>Весовая функция</p> $w(t) = \frac{d}{dt} h1(t) \cdot \Phi(t)$	 <p>Комплексная частотная характеристика</p> $j = \sqrt{-1} \quad W(\omega) = \frac{k \cdot j \cdot \omega}{T \cdot j \cdot \omega + 1}$ $\omega = 0, 0, 01 \dots 10$
---	--

197. Для апериодического звена второго порядка с параметрами T=4, ξ=2 и k=2 записать передаточную функцию и изображение по Лапласу переходной функции. Получить в среде Mathcad выражения для переходной и весовой функций, построить их графики. Записать выражение для комплексной частотной характеристики и построить её график в интервале частот от 0 до 10 с шагом 0.01.

Возможное решение:

<p>Передаточная функция</p> $T=4 \quad \xi=2 \quad k=2$ $W(s) = \frac{k}{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot s + 1}$ <p>Изображение по Лапласу переходной функции</p> $H(s) = \frac{W(s)}{s}$ <p>Переходная функция</p> $h1(t) = H(s) \xrightarrow{\text{invlaplace}} \frac{4 \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-t/4} \cdot \sinh\left(\frac{t \cdot \sqrt{3}}{4}\right)}{3} + \left(6 - 6 \cdot \cosh\left(\frac{t \cdot \sqrt{3}}{4}\right) \cdot e^{-t/4}\right)$ <p>$h(t) = h1(t) \cdot \Phi(t)$</p> <p>Весовая функция</p> $w(t) = \frac{d}{dt} h1(t) \cdot \Phi(t)$	 <p>Комплексная частотная характеристика</p> $j = \sqrt{-1} \quad W(\omega) = \frac{k}{T^2 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot j \cdot \omega + 1}$ $\omega = 0, 0, 01 \dots 10$
--	---

198. Для колебательного звена второго порядка с параметрами T=4, ξ=0.2 и k=2 записать передаточную функцию и изображение по Лапласу переходной функции. Получить в среде Mathcad выражения для переходной и весовой функций, построить их графики. Записать выражение для комплексной частотной характеристики и построить её график в интервале частот от 0 до 10 с шагом 0.01.

Возможное решение:

Передаточная функция
 $T:=4 \quad \xi:=0.2 \quad k:=2$

$$W(s) := \frac{k}{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot s + 1}$$

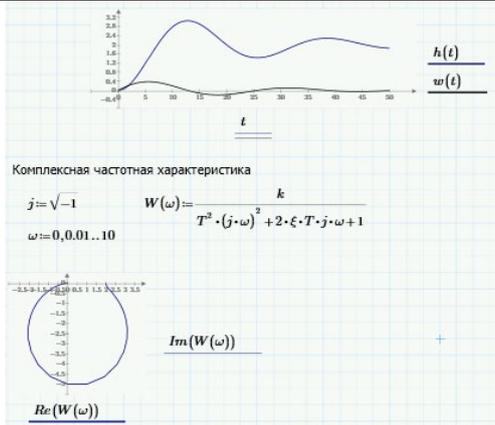
Изображение по Лапласу переходной функции

$$H(s) := \frac{W(s)}{s}$$

Переходная функция

$$h1(t) := \text{invlaplace} \left(\frac{float, 3}{s} \cdot W(s) \right) \rightarrow -0.408 \cdot e^{-0.05 \cdot t} \cdot \sin(0.245 \cdot t) + (2.0 - 2.0 \cdot \cos(0.245 \cdot t)) \cdot e^{-0.05 \cdot t}$$

$h(t) := h1(t) \cdot \Phi(t)$
 Весовая функция

$$w(t) := \frac{d}{dt} h1(t) \cdot \Phi(t)$$


199. Для ПИ-регулятора и колебательного звена с параметрами $T=4$, $\xi=0.2$ и $k=2$, соединенных последовательно, провести по критерию Михайлова исследование влияния параметров регулятора на устойчивость замкнутой системы, полученной охватом последовательно соединенных регулятора и звена единичной отрицательной обратной связью. При решении записать передаточные функции разомкнутой и замкнутой систем, функцию Михайлова и построить 4-8 годографов, выбирая значения k_p из интервалов $[1, 5]$, $(0.1, 0.5]$. Провести анализ и сделать вывод.

Возможное решение:

$T=4 \quad \xi=0.2 \quad k=2$

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_{раз}(s) = \frac{k}{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot s + 1} \cdot \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right)$$

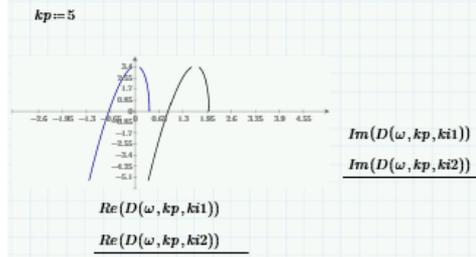
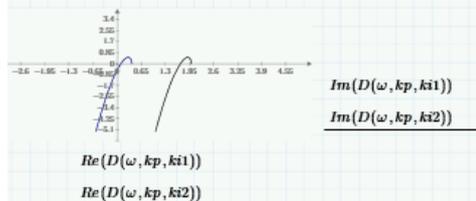
Передаточная функция замкнутой системы

$$W_{зам}(s) = \frac{k \cdot (k_p \cdot s + k_i)}{(T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot s + 1) \cdot s + k \cdot (k_p \cdot s + k_i)}$$

$j := \sqrt{-1}$
 Функция Михайлова

$$D(\omega, k_p, k_i) = (T^2 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot (j \cdot \omega) + k \cdot (k_p \cdot (j \cdot \omega) + k_i)$$

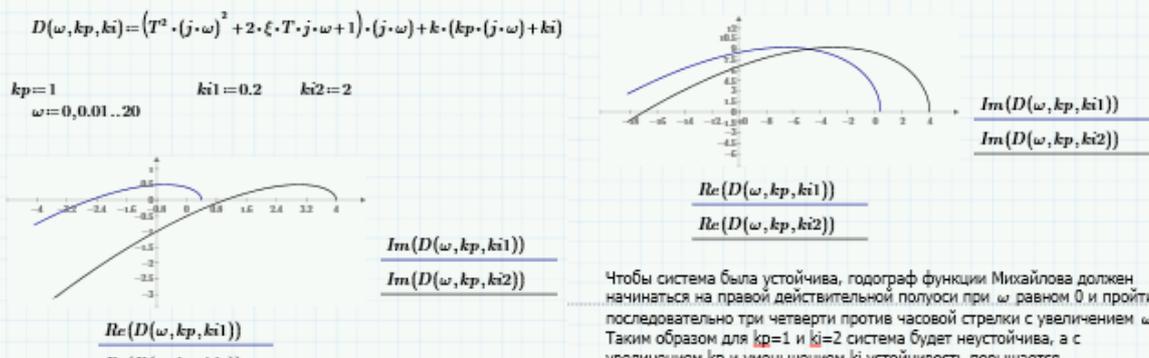
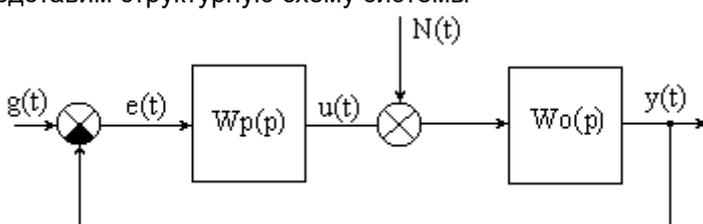
$k_p := 1 \quad k_{i1} := 0.2 \quad k_{i2} := 1$
 $\omega := 0, 0.01 \dots 10$



Чтобы система была устойчива, годограф функции Михайлова должен начинаться на правой действительной полуоси при ω равном 0 и пройти последовательно три четверти против часовой стрелки с увеличением ω . Таким образом для $k_p=5$ и $k_i=0,2$ система будет устойчива, а с уменьшением k_p и увеличением k_i устойчивость теряется.

200. Для ПИ-регулятора и апериодического звена второго порядка с параметрами $T=4$, $\xi=2$ и $k=2$, соединенных последовательно, провести по критерию Михайлова исследование влияния параметров регулятора на устойчивость замкнутой системы, полученной охватом последовательно соединенных регулятора и звена единичной отрицательной обратной связью. При решении записать передаточные функции разомкнутой и замкнутой систем, функцию Михайлова и построить 4-8 годографов, выбирая значения k_p из интервалов $[1, 10]$, $(0.1, 1]$. Провести анализ и сделать вывод.

Возможное решение:

	<p>$T=4 \quad \xi=2 \quad k=2$</p> <p>Передаточная функция разомкнутой системы</p> $W_{роз}(s) = \frac{k}{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot s + 1} \cdot \left(kp + \frac{ki}{s} \right)$ <p>Передаточная функция замкнутой системы</p> $W_{зам}(s) = \frac{k \cdot (kp \cdot s + ki)}{(T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot s + 1) \cdot s + k \cdot (kp \cdot s + ki)}$ <p>$j = \sqrt{-1}$ Функция Михайлова</p> $D(\omega, kp, ki) = (T^2 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot j \cdot \omega + 1) \cdot (j \cdot \omega) + k \cdot (kp \cdot (j \cdot \omega) + ki)$ <p>$kp=1 \quad ki1=0.2 \quad ki2=2$ $\omega=0, 0.01 \dots 20$</p>  <p>Чтобы система была устойчива, годограф функции Михайлова должен начинаться на правой действительной полуоси при ω равном 0 и пройти последовательно три четверти против часовой стрелки с увеличением ω. Таким образом для $kp=1$ и $ki=2$ система будет неустойчива, а с увеличением kp и уменьшением ki устойчивость повышается.</p>
201.	<p>Для замкнутой системы регулирования, содержащей объект с передаточной функцией $W_o(p)$ и регулятор с передаточной функцией $W_p(p)$, вывести выражение для спектральной плотности ошибки регулирования, если возмущающее воздействие $N(t)$ со спектральной плотностью приложено ко входу объекта.</p> <p>Возможное решение:</p> <p>1) Представим структурную схему системы</p>  <p>2) Выведем передаточную функцию от $N(t)$ к $e(t)$, записав уравнения, связывающие выходы объекта и регулятора со входами:</p> $y(t) = W_o(p) \cdot [u(t) + N(t)], \quad (1)$ $u(t) = W_p(p) \cdot e(t), \quad (2)$ $e(t) = g(t) - y(t) \text{ или } y(t) = g(t) - e(t). \quad (3)$ <p>Подставим в (1) $y(t)$ из (3) и $u(t)$ из (2)</p> $g(t) - e(t) = W_o(p) \cdot [W_p(p) \cdot e(t) + N(t)] \text{ или}$ $g(t) - e(t) = W_o(p) \cdot W_p(p) \cdot e(t) + W_o(p) \cdot N(t).$ <p>Из последнего уравнения выражаем $e(t)$:</p> $e(t) = \frac{1}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)} g(t) - \frac{W_o(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)} \cdot N(t).$ <p>Передаточная функция $W_{N_e}(p) = -\frac{W_o(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)}.$</p> <p>3) Спектральная плотность ошибки, вызванной возмущением $N(t)$</p> $S_e(j\omega) = \left \frac{W_o(j\omega)}{1 + W_o(j\omega) \cdot W_p(j\omega)} \right ^2 S_N(\omega)$
202.	<p>Для объекта, описываемого дифференциальным уравнением вида:</p> $x'(t) = u(t)$ <p>найти оптимальную траекторию, удовлетворяющую граничным условиям:</p> $\begin{cases} x(0) = x_0, \\ x(t_k) = x_k \end{cases}$ <p>и оптимальное управление, обеспечивающее минимум критерия</p>

$$J(x, u) = \int_0^{t_k} [u^2(t) + x^2(t)] dt \rightarrow \min.$$

Возможное решение:

Составим функцию Гамильтона:

$$H(x, u) = \psi_0 [u^2(t) + x^2(t)] + \psi_1(t)u(t). \quad (1)$$

Запишем сопряженную систему уравнений

Найдем частные производные функции Гамильтона при $\psi_0 = 1$, $\psi_1 = \psi$ и подставим в сопряженную систему

$$\begin{cases} 2x(t) = -\psi'(t), \\ 2u(t) + \psi(t) = 0. \end{cases}$$

Дополним полученную систему уравнением объекта

$$\begin{cases} 2x(t) = -\psi'(t), \\ 2u(t) + \psi(t) = 0, \\ x'(t) = u(t). \end{cases} \quad (2)$$

Выразим из второго уравнения системы (2) $\psi(t)$

$$\psi(t) = -2u(t)$$

и подставив в первое, получим

$$2x(t) = 2u'(t) \text{ или } x(t) = u'(t). \quad (3)$$

Продифференцируем третье уравнение системы (2) и подставим в него выражение для $u'(t)$ из (3):

$$x(t) = x''(t) \text{ или}$$

$$x''(t) - x(t) = 0. \quad (4)$$

Характеристическое уравнение для однородного уравнения (4) $p^2 - 1 = 0$ имеет корни:

$p_1 = 1$, $p_2 = -1$, а решение

$$x(t) = C_1 e^t + C_2 e^{-t}. \quad (5)$$

В силу уравнения объекта получаем

$$u(t) = x'(t) = C_1 e^t - C_2 e^{-t}. \quad (6)$$

Пользуясь граничными условиями, для выражения (5) получаем систему из двух уравнений для поиска неизвестных постоянных интегрирования C_1 и C_2 :

$$x(0) = C_1 + C_2 = x_0,$$

$$x(t_k) = C_1 e^{t_k} + C_2 e^{-t_k} = x_k$$

203. Задача. Объект управления описывается дифференциальным уравнением вида

$$x''(t) = u(t), \quad (1)$$

и на управление наложено ограничение типа неравенство: $-a \leq u(t) \leq a$, $a > 0$.

Найти оптимальное управление $u(t)$ и оптимальную траекторию $x(t)$, обеспечивающих минимум критерия

$$J(x) = \int_0^{t_k} x^2(t) dt \rightarrow \min,$$

при переводе объекта из начального состояния в конечное за произвольное время t_k .

$$\begin{cases} x(0) = x_0 > 0, & x(t_k) = 0, \\ x'(0) = 0, & x'(t_k) = 0. \end{cases}$$

Возможное решение:

1) Для составления функции Гамильтона требуется представление уравнения ограничения в виде Коши. Приведем дифференциальное уравнение второго порядка к системе из двух дифференциальных уравнений первого порядка. Введем обозначение:

$$x(t) = x_1(t),$$

тогда

$$x'(t) = x_1'(t) = x_2(t),$$

$$x''(t) = x_1''(t) = x_2'(t).$$

Уравнение ограничения преобразуется в систему уравнений Коши

$$\begin{cases} x_1'(t) = x_2(t), \\ x_2'(t) = u(t). \end{cases} \quad (2)$$

Граничные условия для полученной системы приобретают вид

$$\begin{cases} x_1(0) = x_0, & x_1(t_k) = 0, \\ x_2(0) = 0, & x_2(t_k) = 0. \end{cases}$$

Функционал в новых обозначениях

$$J = \int_0^{t_k} x_1^2(t) dt \rightarrow \min.$$

2) Составим функцию Гамильтона

$$H = \psi_0(t)x_1^2(t) + \psi_1(t)x_2(t) + \psi_2(t)u(t) \rightarrow \max.$$

Допустимое возможное управление $u(t)$, доставляющее минимум функционала, в соответствии с принципом максимума Понтрягина в каждый момент времени должно обеспечивать максимум функции Гамильтона. Так как функция Гамильтона линейна относительно управления $u(t)$, то для обеспечения его максимума необходимо, чтобы управление совпадало по знаку с функцией $\psi_2(t)$:

$$u(t) = \begin{cases} a, & \psi_2(t) > 0, \\ -a, & \psi_2(t) < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Из сопряженной системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial H}{\partial x_1} = -\psi_1', \\ \frac{\partial H}{\partial x_2} = -\psi_2'. \end{cases}$$

получаем

$$\begin{cases} 2\psi_0 x_1(t) = -\psi_1'(t), \\ \psi_1(t) = -\psi_2'(t). \end{cases}$$

Продифференцируем последнее уравнение сопряженной системы и подставим во второе:

$$\psi_2''(t) = -\psi_1'(t) = -2\psi_0 x_1(t).$$

3) Определить вид функции $\psi_2(t)$ достаточно сложно, поэтому выберем начальное значение управляющего воздействия $u(t)$, опираясь на физический смысл задачи, а не на поведение функции $\psi_2(t)$.

Поскольку требуется перевести выход объекта из положения $x_1(0) = x_0 > 0$ в $x_1(t_k) = 0$, то очевидно, что в начальный момент времени требуется выбор отрицательного управляющего воздействия $u_1(t) = -a$.

4) Решаем систему (2) для первого интервала постоянства управления, при постоянной правой части

$$\begin{cases} x_{11}(t) = -a \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2, \\ x_{21}(t) = -a \cdot t + C_1. \end{cases}$$

Неизвестные постоянные C_1 и C_2 найдем из начальных условий

$$\begin{cases} x_{11}(0) = x_0, & C_2 = x_0, \\ x_{21}(0) = 0, & C_1 = 0 \end{cases}.$$

Получаем траекторию движения для первого интервала

$$\begin{cases} x_{11}(t) = -a \cdot \frac{t^2}{2} + x_0, \\ x_{21}(t) = -a \cdot t. \end{cases} \quad (4)$$

5. Чтобы обеспечить выполнение конечных условий, необходимо переключить управление в некоторой точке t_1 в соответствии с (3) с $-a$ на $+a$

	<p>Решение системы уравнений (2) для второго интервала постоянства $u(t)$:</p> $\begin{cases} x_{12}(t) = a \frac{t^2}{2} + C_3 t + C_4, \\ x_{22}(t) = a \cdot t + C_3. \end{cases} \quad (5)$ <p>6) Для поиска неизвестных констант C_3, C_4, a также точки переключения управления t_1 и конечной точки t_k составим систему уравнений, включающих уравнения неразрывности и конечные условия:</p> $\begin{cases} x_{11}(t_1) = x_{12}(t_1), \\ x_{21}(t_1) = x_{22}(t_1) \\ x_{12}(t_k) = 0, \\ x_{22}(t_k) = 0. \end{cases} \quad (6)$ <p>Решаем систему (6), используя выражения (4), (5) и получаем неизвестные C_3, C_4, t_1, t_k.</p>
--	--

3.6. Вопросы к лабораторным работам

3.6.1 Шифр и наименование компетенции

ОПК-5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

ПК-6 способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием

Номер задания	Формулировка вопроса
204.	Как записать характеристическое уравнение для дифференциального уравнения?
205.	Как записать решение общее решение однородного дифференциального уравнения для действительных различных и повторяющихся корней характеристического уравнения?
206.	Как записать решение общее решение однородного дифференциального уравнения для комплексных корней характеристического уравнения?
207.	Как записать решение общее решение однородного дифференциального уравнения для мнимых корней характеристического уравнения?
208.	Как записать аналитическое решение неоднородного уравнения первого порядка для различных правых частей?
209.	Как записать аналитическое решение неоднородного уравнения второго порядка для различных правых частей и при различных типах корней характеристического уравнения?
210.	Как получить решение дифференциального уравнения с помощью преобразований Лапласа (на примере конкретного уравнения)?
211.	Как получить приближенное решение дифференциального уравнения второго порядка одним из численных методов?
212.	Что такое переходной процесс, импульсная характеристика, передаточная функция?
213.	Что такое «единичная функция» и «дельта-функция»?
214.	Как перейти от дифференциального уравнения к передаточной функции и наоборот?
215.	Как связаны передаточная функция, переходная и весовая функции?
216.	Как получить переходную функцию, имея математическую модель объекта?
217.	Как по переходному процессу восстановить передаточную функцию объекта?
218.	Что такое амплитудная, фазовая частотные характеристики, ЛАХ, АФЧХ?
219.	Что такое частота среза и полоса пропускания ЛАХ?
220.	Как построить частотные характеристики для апериодического звена первого порядка, звеньев второго порядка, реальных интегрирующего и дифференцирующего звеньев?
221.	Как получить амплитудную и фазовую частотные характеристики при последовательном и параллельном соединении звеньев?
222.	Как влияют значения постоянных времени звена на частоту среза ЛАХ?
223.	Как построить асимптотическую ЛАХ по передаточной функции?
224.	Как формулируется общее определение устойчивости системы (движения) по Ляпунову?
225.	Как оценить устойчивость по коэффициентам и корням характеристического уравнения системы?
226.	Как определить устойчивость системы с помощью алгебраических критериев?

227.	Что такое годограф Михайлова и как определяется устойчивость по критерию Михайлова?
228.	Как определить устойчивость замкнутой системы по АФЧХ разомкнутой по критерию Найквиста?
229.	Как определить устойчивость замкнутой системы по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы?
230.	Как определить запас устойчивости по амплитуде и фазе для замкнутой системы по АФЧХ и ЛЧХ разомкнутой системы?
231.	Какие типовые нелинейности вы знаете?
232.	Как составить и решить уравнение (систему уравнений) для процессов, протекающих в системах с нелинейными звеньями?
233.	Что такое фазовый портрет системы, фазовая траектория?
234.	Как построить фазовый портрет системы?
235.	Как по фазовому портрету провести анализ движения, установить возможность возникновения автоколебаний, определить характер колебаний: устойчивый или неустойчивый?
236.	На чем основан метод гармонического баланса, метод гармонической линеаризации?
237.	Как описать зависимость между входной гармонической и выходной функциями нелинейного звена с помощью ряда Фурье?
238.	Как записать условие возникновения автоколебаний в замкнутой нелинейной системе?
239.	Как оценить устойчивость автоколебаний, возникающих в замкнутой нелинейной системе?
240.	Что такое замкнутая система автоматического регулирования (САР)? Как записать ее передаточную функцию?
241.	Какие элементы образуют типовую замкнутую САР?
242.	Какую функцию в системе выполняет регулирующее устройство?
243.	Какие законы регулирования реализуются регуляторами?
244.	Какие показатели качества регулирования вы знаете?
245.	Как определить значение установившейся ошибки при постоянном входном воздействии?
246.	Как получить нулевую установившуюся ошибку при постоянном входном воздействии?
247.	Как влияет частота среза ЛАХ на время регулирования?
248.	Как сформулировать и записать условие выбора параметров регулирующего устройства?
249.	Как изобразить на комплексной плоскости область заданной степени колебательности и устойчивости системы?
250.	Как аппроксимировать полученную область заданной степени колебательности и устойчивости системы?
251.	Как определить расстояние от начала координат до каждого корня на комплексной плоскости?
252.	Каков алгоритм поиска корней характеристического уравнения системы?
253.	Как будут располагаться в комплексной плоскости корни системы четвертого порядка?
254.	Как перейти от дифференциальных уравнений системы к конечно-разностной форме записи?
255.	Что такое случайный процесс?
256.	Какими параметрами и функциями описывается случайный процесс?
257.	Как определить параметры случайного процесса?
258.	Какой случайный процесс называется стационарным, эргодическим?

3.7. Вопросы к курсовой работе

3.7.1 Шифр и наименование компетенции

ОПК-5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

ПК-6 способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием

Номер задания	Формулировка вопроса
259.	Какие исходные данные необходимы для составления задания на курсовую работу, проект?
260.	Какие разделы должна содержать расчетно-пояснительная записка к курсовой работе
261.	Какие разделы должен содержать научный отчет по результатам исследований
262.	Какие необходимы данные для получения математической моделей объектов?

263.	Как выбрать схему системы управления?
264.	Как подобрать датчики, исполнительные устройства, преобразователи для системы управления реальным объектом?
265.	Как получить передаточные функции датчиков, исполнительных устройств, преобразователей?
266.	Как выбрать закон регулирования, зная передаточные функции объекта, датчиков, исполнительных устройств, преобразователей?
267.	Как рассчитать коэффициенты регулятора с заданным законом по детерминированным воздействиям?
268.	Как получить передаточную функцию последовательного корректирующего звена?
269.	Как рассчитать оптимальное управление для периодического процесса при ограничениях на управляющее воздействие?
270.	Как проверить соответствие показателей качества управления синтезированной системы заданным?
271.	Что отражается в заключении отчета?
272.	Как экспериментально получить кривые разгона на объекте?
273.	Какие условия по возмущениям и управляющим воздействиям необходимо соблюдать при активном исследовании динамики реальных объектов?
274.	Какие условия по безопасности необходимо соблюдать при активном исследовании динамики реальных объектов?
275.	Как получают модель объекта при его исследовании пассивными методами?
276.	Как получить модель объекта аналитически с использованием законов сохранения?
277.	Как уточнить параметры модели, полученной аналитически, путем исследования реального объекта?

3.8. Темы курсовых работ

Синтез системы регулирования концентрации сухих веществ в пивном сусле на выходе сушварочного аппарата.
Синтез системы регулирования температуры молока в процессе пастеризации в пластинчатом пастеризаторе.
Синтез системы регулирования температуры пивного сусла в процессе охлаждения в пластинчатом теплообменнике.
Синтез системы регулирования температуры молока на выходе пластинчатого теплообменника.
Синтез системы регулирования температуры молока в процессе нагрева в кожухотрубном теплообменнике.
Синтез системы регулирования температуры в реакторе полимеризации
Синтез оптимальной системы управления концентрацией толуола на выходе дегазатора.
Синтез системы регулирования температуры в реакторе полимеризации СКД.
Синтез системы регулирования температуры шихты в процессе охлаждения в теплообменнике.
Синтез системы регулирования температуры в валковом охладителе металлокорда.
Синтез системы регулирования температуры в туннельной печи.
Синтез системы регулирования концентрации мономера на выходе батареи полимеризаторов.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Процедуры оценивания в ходе изучения дисциплины знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, регламентируются положениями:

П ВГУИТ 2.4.03 Положение о курсовых экзаменах зачетах;

П ВГУИТ 4.1.02 Положение о рейтинговой оценке текущей успеваемости.

Для оценки знаний, умений, навыков студентов по дисциплине **«Теория автоматического управления»** применяется балльно-рейтинговая система.

Рейтинговая система оценки осуществляется в течение всего семестра при проведении аудиторных занятий, показателем ФОС является текущий опрос в виде собеседования, сдачи тестов, кейс-заданий, задач и сдачи разделов курсового проекта по предложенной преподавателем теме, за каждый правильный ответ студент получает 5 баллов (зачтено - 5, незачтено - 0). Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре 50.

Балльная система служит для получения экзамена и/или зачета по дисциплине.

Максимальное число баллов за семестр – 100.

Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре – 50.

Максимальное число баллов на экзамене и/или зачете – 50.

Минимальное число баллов за текущую работу в семестре – 30.

Студент, набравший в семестре менее 30 баллов, может заработать дополнительные баллы, отработав соответствующие разделы дисциплины или выполнив обязательные задания, для того, чтобы быть допущенным до экзамена и/или зачета.

Студент, набравший за текущую работу менее 30 баллов, т.к. не выполнил всю работу в семестре по объективным причинам (болезнь, официальное освобождение и т.п.) допускается до экзамена и/или зачета, однако ему дополнительно задаются вопросы на собеседовании по разделам, выносимым на экзамен и/или зачет.

В случае неудовлетворительной сдачи экзамена и/или зачета студенту предоставляется право повторной сдачи в срок, установленный для ликвидации академической задолженности по итогам соответствующей сессии. При повторной сдаче экзамена и/или зачета количество набранных студентом баллов на предыдущем экзамене и/или зачете не учитывается.

Экзамен и/или зачет может проводиться в виде тестового задания и кейс-задач или собеседования и кейс-заданий и/или задач.

Для получения оценки «отлично» суммарная балльно-рейтинговая оценка обучающегося по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять 85 и выше баллов;

– оценки «хорошо» суммарная балльно-рейтинговая оценка обучающегося по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять от 75 до 84 баллов;

– оценки «удовлетворительно» суммарная балльно-рейтинговая оценка обучающегося по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять от 60 до 74 баллов;

– оценки «неудовлетворительно» суммарная балльно-рейтинговая оценка обучающегося по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять менее 60 баллов.

Для получения оценки «зачтено» суммарная балльно-рейтинговая оценка обучающегося по результатам работы в семестре и на зачете должна быть не менее 60 баллов.

5. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания для каждого результата обучения по дисциплине

Результаты обучения по этапам формирования компетенций	Предмет оценки (продукт или процесс)	Показатель оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	Шкала оценивания	
				Академическая оценка или баллы	Уровень освоения компетенции
<i>ОПК-5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных</i>					
Знает: методы анализа объектов и систем управления во временной и частотной областях, основные показатели и критерии оценки эффективности управления; методы определения показателей и критериев эффективности управления во временной и частотной областях	Собеседование (зачет)	Результат собеседования	обучающийся ответил не на все вопросы, но в тех, на которые дал ответ, не допустил ошибки	Зачтено	Освоена (базовый, повышенный)
			обучающийся в ответе допустил более пяти ошибок	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
	Собеседование (экзамен)	Знание методов определения показателей и критериев эффективности управления во временной и частотной областях	обучающийся грамотно решил кейс-задания, ответил на все вопросы, допустил не более одной ошибки	Отлично	Освоена (повышенный)
			обучающийся правильно решил кейс-задания, ответил на все вопросы, но допустил две ошибки	Хорошо	Освоена (повышенный)
			обучающийся предложил вариант решения кейс-задания, ответил не на все вопросы, но в тех, на которые дал ответ, не допустил ошибки	Удовлетворительно	Освоена (базовый)
			обучающийся не предложил вариантов решения кейс-задания, в ответе допустил более пяти ошибок	Неудовлетворительно	Не освоена (недостаточный)
	Тест	Результат тестирования	60% и более правильных ответов	Зачтено	Освоена (базовый, повышенный)
			менее 60% правильных ответов	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
Умеет: получать переходные процессы и частотные характеристики объектов и систем управления, проводить анализ устойчивости систем и качества управления; определять показатели качества и критерии оценки эффективности систем управления	Собеседование (защита лабораторной работы)	Результат собеседования	обучающийся активно участвовал в выполнении работы, получил и обработал результаты эксперимента, проанализировал их, допустил не более 5 ошибок в ответах на вопросы при защите лабораторной работы	Зачтено	Освоена (базовый, повышенный)
			обучающийся выполнял роль наблюдателя при выполнении работы, не внес вклада в обработку результатов эксперимента, не защитил лабораторную работу	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)

Владеет: математическим аппаратом и современным программным обеспечением при анализе устойчивости систем и качества управления; математическим аппаратом и современным программным обеспечением при анализе систем управления	Кейс-задание	Содержание решения	обучающийся грамотно разобрался в ситуации, выявил причины случившейся ситуации, предложил несколько альтернативных вариантов выхода из сложившейся ситуации	Зачтено	Освоена (повышенный)
			обучающийся разобрался в ситуации, выявил причины случившейся ситуации, предложил один вариант выхода из сложившейся ситуации	Зачтено	Освоена (повышенный)
			обучающийся разобрался в сложившейся ситуации, однако не выявил причины случившегося и не предложил вариантов решения	Зачтено	Освоена (базовый)
			обучающийся не разобрался в сложившейся ситуации, не выявил причины случившегося и не предложил вариантов решения	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
<i>ПК-6 способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием</i>					
Знает: теоретические основы и принципы различных методов анализа, методы и принципы планирования и проведения экспериментов	Собеседование (экзамен)	Результат собеседования	обучающийся грамотно решил кейс-задания, ответил на все вопросы, допустил не более одной ошибки	Отлично	Освоена (повышенный)
			обучающийся правильно решил кейс-задания, ответил на все вопросы, но допустил две ошибки	Хорошо	Освоена (повышенный)
			обучающийся предложил вариант решения кейс-задания, ответил не на все вопросы, но в тех, на которые дал ответ, не допустил ошибки	Удовлетворительно	Освоена (базовый)
			обучающийся не предложил вариантов решения кейс-задания, в ответе допустил более пяти ошибок	Неудовлетворительно	Не освоена (недостаточный)
	Тест	Результат тестирования	60% и более правильных ответов	Зачтено	Освоена (базовый, повышенный)
			менее 60% правильных ответов	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
Умеет: выбрать метод анализа для заданной аналитической задачи, проводить обработку результатов эксперимента	Собеседование (защита лабораторной работы)	Результат собеседования	обучающийся активно участвовал в выполнении работы, получил и обработал результаты эксперимента, проанализировал их, допустил не более 5 ошибок в ответах на вопросы при защите лабораторной работы	Зачтено	Освоена (базовый, повышенный)
			обучающийся выполнял роль наблюдателя при выполнении работы, не внес вклада в обработку результатов эксперимента, не защитил лабораторную работу	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)

<p>Владеет: методами обработки экспериментальных данных с применением современных информационных технологий</p>	<p>Кейс-задание</p>	<p>Содержание решения</p>	<p>обучающийся грамотно разобрался в ситуации, выявил причины случившейся ситуации, предложил несколько альтернативных вариантов выхода из сложившейся ситуации</p>	<p>Зачтено</p>	<p>Освоена (повышенный)</p>
			<p>обучающийся разобрался в ситуации, выявил причины случившейся ситуации, предложил один вариант выхода из сложившейся ситуации</p>	<p>Зачтено</p>	<p>Освоена (повышенный)</p>
			<p>обучающийся разобрался в сложившейся ситуации, однако не выявил причины случившегося и не предложил вариантов решения</p>	<p>Зачтено</p>	<p>Освоена (базовый)</p>
			<p>обучающийся не разобрался в сложившейся ситуации, не выявил причины случившегося и не предложил вариантов решения</p>	<p>Не зачтено</p>	<p>Не освоена (недостаточный)</p>
	<p>Курсовая работа</p>	<p>Материалы курсовой работы, защита</p>	<p>обучающийся выбрал верную методику обработки экспериментальных данных, грамотно провел идентификацию объекта, оформил расчетно-пояснительную записку, замечаний по тексту и оформлению работы нет, ответил почти на все вопросы при защите работы</p>	<p>Отлично</p>	<p>Освоена (повышенный)</p>
			<p>обучающийся выбрал верную методику обработки экспериментальных данных, грамотно провел идентификацию объекта, оформил расчетно-пояснительную записку, но имеются незначительные замечания по тексту и оформлению работы, при защите допустил не более 2-3 ошибок</p>	<p>Хорошо</p>	<p>Освоена (повышенный)</p>
			<p>обучающийся выбрал верную методику обработки экспериментальных данных, грамотно провел идентификацию объекта, оформил расчетно-пояснительную записку, но допустил незначительные ошибки в расчетах, имеются значительные замечания по тексту и оформлению работы, при защите допустил не более 5 ошибок при ответе на вопросы</p>	<p>Удовлетворительно</p>	<p>Освоена (базовый)</p>
			<p>обучающийся выбрал неверную методику обработки экспериментальных данных или неправильно провел идентификацию объекта, оформил расчетно-пояснительную записку, но имеются значительные ошибки в расчетах, значительные замечания по тексту и оформлению работы, не смог защитить проект</p>	<p>Неудовлетворительно</p>	<p>Не освоена (недостаточный)</p>