

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной
работе

Лейфа А.В. Лейфа

23 мая 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
«ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»

Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Направленность (профиль) образовательной программы – Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике

Квалификация выпускника – Бакалавр

Год набора – 2024

Форма обучения – Очная

Курс 2,3 Семестр 4,5,6

Экзамен 5,6 сем

Зачет 4 сем

Общая трудоемкость дисциплины 468.0 (академ. час), 13.00 (з.е)

Составитель А.Н. Рыбалев, доцент, канд.тех.наук

Энергетический факультет

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 09.08.21 № 730

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники

01.02.2024 г. , протокол № 7

Заведующий кафедрой Скрипко О.В. Скрипко

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

23 мая 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

23 мая 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Скрипко О.В. Скрипко

23 мая 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

23 мая 2024 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

Формирование у студентов знаний и умений анализа и синтеза систем автоматического регулирования и управления.

Задачи дисциплины:

- * изучение методов анализа систем автоматического управления;
- * освоение методов синтеза систем автоматического управления.

2. МЕСТО УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Теория автоматического управления» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Б1.В.06.

Изучение теории автоматического управления базируется в основном на учебном материале следующих дисциплин: «Высшая математика» (линейная алгебра, дифференциальное и интегральное исчисления, дифференциальные уравнения, преобразования Лапласа и Фурье, теория вероятности), «Техническая механика» (динамика точки и твердого тела, уравнения Лагранжа, малые колебания систем), «Программирование и алгоритмизация» (примеры составления и отладка программ), «Прикладные программы в автоматизации» (выполнение расчетов), «Электротехника и электроника» (переходные процессы в электрических цепях).

Изучение дисциплины предусматривает широкое применение ЭВМ при проведении лабораторных и практических работ и при выполнении курсовой работы.

Теория автоматического управления используется при изучении определенных разделов дисциплин: «Средства автоматизации и управления», «Современные системы управления» (расчет и моделирование систем регулирования и управления), «Проектирование автоматизированных систем» (проектирование локальных АСР и АСУ), «Автоматизация технологических процессов и производств» (разработка локальных АСР и АСУ).

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-5 Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов с использованием необходимых методов и средств анализа	ИД-1ПК-5 Демонстрирует умение определять и учитывать эксплуатационные особенности оборудования, методы и способы безопасного выполнения работ при обслуживании средств автоматизации ИД-2ПК-5 Пользуется контрольно-измерительным оборудованием, приборами и инструментами для определения параметров работы средств и систем автоматизации
ПК-6 Способен производить комплексную настройку	ИД-1ПК-6 Разрабатывает программное обеспечение для

автоматизированных и автоматических устройств и систем, используя программное обеспечение контроллеров и управляющих ЭВМ, их систем управления	обработки информации и управления в автоматизированных и автоматических системах
--	--

4. СТРУКТУРА УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

Общая трудоемкость учебного предмета составляет 13.00 зачетных единицы, 468.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) учебного предмета, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Введение. Основные понятия теории автоматического управления	4	4										8.8	тестирование, зачет
2	Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления	4	14		34								47	тестирование, контроль выполнения индивидуальных заданий по темам практических работ, зачет
3	Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования	5	10		4		10						15	тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой

													проект, экзамен	
4	Качество линейных непрерывных систем автоматическог о регулирования	5	10		4		10						15	тестирование, контроль выполнения практических и лабораторны х работ, курсовой проект, экзамен
5	Синтез линейных непрерывных систем автоматическог о регулирования	5	14		8		14						21	синтез линейных непрерывных систем автоматическ ого регулирован ия
6	Импульсные линейные системы автоматическог о регулирования	6	10		10		4						4	тестирование, контроль выполнения практических и лабораторны х работ, курсовой проект, экзамен
7	Нелинейные системы автоматическог о управления	6	10		10		4						4	тестирование, контроль выполнения практических и лабораторны х работ, курсовой проект, экзамен
8	Оптимальные системы автоматическог о управления	6	14		14		8						4	тестирование, контроль выполнения практических и лабораторны х работ, курсовой проект, экзамен
9	Курсовой проект	6							3				36	Защита курсового проекта
10	Зачет	4							0.2					Зачет
11	Экзамены	5, 6								0.6	89.4			Экзамен
	Итого		86.0		84.0		50.0		3.0	0.2	0.6	89.4	154.8	

5. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

5.1. Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Введение. Основные понятия теории автоматического управления	Автоматизация и механизация производства. Управление, объект управления, управляемые величины, управляющие и возмущающие воздействия. Автоматическое управление, автоматическое управляющее устройство, система автоматического управления. Разомкнутые и замкнутые системы управления. Понятие обратной связи. Подсистемы автоматического регулирования. Автоматический регулятор. Основные функциональные элементы регулятора и алгоритм его функционирования. Способы реализации алгоритмов регулирования. Аналоговые и цифровые регуляторы. Классификация систем управления (непрерывные, дискретные, линейные, нелинейные, оптимальные, адаптивные и т.д.). Поведение объектов и СУ. Информация и принципы управления. Примеры СУ техническими, экономическими и организационными объектами. Задачи теории управления.
2	Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем 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. Анализ основных свойств линейных СУ: устойчивости, инвариантности, чувствительности, управляемости и наблюдаемости. Типовые звенья систем автоматического регулирования: усилительное, интегрирующее, апериодическое первого и второго порядка, колебательное, идеальное дифференцирующее, реальное дифференцирующее, форсирующее, интегро- дифференцирующее, запаздывание. Дифференциальные уравнения, передаточные функции, уравнения в пространстве состояний, переходные и частотные характеристики.
3	Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования	Понятие устойчивости систем автоматического регулирования (САР). Устойчивость линейных непрерывных САР. Определение устойчивости по передаточной матрице системы. Причины появления неустойчивости линейных непрерывных САР. Влияние коэффициента передачи на устойчивость системы. Необходимое условие устойчивости Стодолы. Необходимые и достаточные условия устойчивости САР. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Стодолы. Критерий Рауса

		<p>– Гурвица. Частотный критерий устойчивости Михайлова. Свойства АФЧХ разомкнутых систем. Частотный критерий устойчивости Найквиста. Запасы устойчивости. Интерпретация критерия Найквиста с помощью логарифмических частотных характеристик. Запасы устойчивости линейных систем по АФЧХ и ЛЧХ разомкнутых систем. Применение критерия Найквиста для систем с запаздыванием. Критерий Найквиста для систем, неустойчивых в разомкнутом состоянии.</p>
4	<p>Качество непрерывных линейных систем автоматического регулирования</p>	<p>Определение статической ошибки по задающему и возмущающему воздействиям. Качество САР в стационарных динамических режимах (при воздействиях, изменяющихся с постоянной производной). Способы снижения и устранения ошибки при воздействиях, изменяющихся с постоянной производной.</p> <p>Линейные стохастические модели СУ: модели и характеристики случайных сигналов, прохождение случайных сигналов через линейные звенья, анализ линейных стохастических систем при стационарных случайных воздействиях.</p> <p>Случайные величины и случайные процессы. Законы распределения случайных величин и их параметры. Характеристики случайных процессов: корреляционная функция и спектральная плотность. Определение точности линейной САР при стационарных случайных воздействиях. Точность линейных систем при наличии двух случайных стационарных воздействий. Пример определения точности САР при стационарных случайных воздействиях</p> <p>Частотные критерии качества переходных процессов. Определение показателей качества переходных устойчивости, степень (показатель) колебательности. Определение корневого показателя колебательности процессов по частотным характеристикам замкнутой системы. Частотный показатель колебательности. Определение показателей качества переходных процессов по ВЧХ и МЧХ замкнутой системы. Определение показателей качества переходных процессов по частотным характеристикам разомкнутой системы. Корневые критерии качества переходных процессов: степень и его использование для синтеза САР.</p>
5	<p>Синтез непрерывных линейных систем автоматического регулирования</p>	<p>Постановка задачи синтеза регуляторов и корректирующих устройств одномерных линейных непрерывных САР. Задачи и методы синтеза линейных СУ.</p> <p>Общие подходы структурно-параметрического синтеза регуляторов в классе одномерных линейных непрерывных систем.</p> <p>Построение эталонных передаточных функций</p>

		<p>замкнутой системы. Построение эталонной передаточной функции системы в классе низкочастотных фильтров Баттерворта. Построение эталонной передаточной функции системы методами стандартных коэффициентов. Общетеоретические методы синтеза регуляторов в классе одномерных линейных непрерывных систем. Применение принципа динамической компенсации для синтеза линейной САР. Расчет регулятора с помощью уравнений синтеза. Применение обратных связей по производным выходного сигнала для синтеза линейной САР. Модальное управление. Применение стационарного наблюдателя. Практические методы синтеза линейных непрерывных САР.</p> <p>Влияние местных обратных связей на свойства типичных объектов. Последовательные корректирующие устройства – регуляторы. Типовые законы регулирования. Пропорциональный и интегральный регуляторы и их характеристики. ПД- регулятор и его характеристики. ПИД- регулятор и его характеристики. Расчет регуляторов на заданный частотный показатель колебательности. Расчет регуляторов методом расширенных амплитудно-частотных характеристик. Синтез последовательных корректирующих устройств с помощью ЛАЧХ. Связь ЛАЧХ минимально фазовой разомкнутой системы с показателями качества замкнутой. Построение эталонной ЛАЧХ разомкнутой системы. Определение и упрощение передаточной функции корректирующего устройства. Пример решения задачи синтеза. Многоконтурные, комбинированные и многосвязные линейные непрерывные САР и их синтез.</p> <p>Преимущества многоконтурных САР. Особенности расчета регуляторов и корректирующих устройств многоконтурных систем автоматического регулирования. Расчет устройств компенсации возмущений в комбинированных системах. Условия инвариантности системы по отношению к возмущению. Практическая реализация теоретически рассчитанных устройств компенсации.</p> <p>Многосвязные линейные непрерывные САР: методы синтеза. Несвязное регулирование. Принцип автономности. Пример расчета двусвязной системы. Синтез систем с запаздыванием.</p>
6	Импульсные линейные системы автоматического	Линейные дискретные модели СУ: основные понятия об импульсных СУ, классификация

	регулирования	<p>дискретных СУ, анализ и синтез дискретных СУ. Классификация дискретных систем управления. Импульсные системы. Виды импульсной модуляции. Математическое описание импульсных систем. Применение непрерывной модели для системы с ШИМ-модуляцией. Математическое описание импульсных систем. Линейные дискретные модели систем управления. Разностные уравнения, дискретное преобразование Лапласа, Z-преобразование. Этапы построения мат. модели линейной системы с амплитудно- импульсной модуляцией. Передаточные функции импульсной системы в форме Z- преобразования. Частотные свойства импульсных сигналов и устройств. Устойчивость импульсных систем. Применение теории импульсных систем к цифровым системам. Дискретное представление типовых законов регулирования. Синтез импульсных и цифровых систем управления.</p>
7	Нелинейные системы автоматического управления	<p>Определение и особенности нелинейных систем автоматического управления. Нелинейные модели СУ, анализ равновесных режимов. Определение нелинейных САУ. Виды нелинейностей. Методы линеаризации нелинейных моделей. Существенные и несущественные нелинейности. Линеаризация нелинейных моделей «в малом».</p> <p>Статические режимы нелинейных систем. Последовательное, параллельное и соединение в виде ОС статических нелинейностей. Ограничение сигналов в системах автоматического регулирования. Организация и моделирование ограничений.</p> <p>Особенности стационарных режимов нелинейных систем при случайных воздействиях. Исследование стационарных режимов нелинейных систем при случайных воздействиях методом статистической линеаризации.</p> <p>Устойчивость нелинейных систем автоматического регулирования.</p> <p>Анализ поведения СУ на фазовой плоскости. Особенности проблемы устойчивости для нелинейных САУ. Устойчивость положений равновесия: первый и второй методы Ляпунова. Частотный метод исследования абсолютной устойчивости В.М. Попова. Применение критерия абсолютной устойчивости В.М. Попова к системам с неустойчивой или нейтральной линейной частью. Гармоническая линеаризация статических нелинейностей. Исследование периодических режимов в нелинейных системах методом гармонического баланса.</p> <p>Релейные системы автоматического</p>

		<p>регулирования.</p> <p>Особенности динамики релейных систем автоматического регулирования. Процесс регулирования в релейной системе со статической линейной частью. Процесс регулирования в релейной системе с астатической (первого порядка) линейной частью. Процесс регулирования в релейной системе с астатической (второго порядка) линейной частью. Исследование колебательных режимов в релейных системах методом гармонического баланса. Скользящие режимы в релейных системах.</p>
8	Оптимальные системы автоматического управления	<p>Постановка задачи оптимального управления. Задачи оптимального управления, критерии оптимальности, методы теории оптимального управления. Классификация задач оптимизации динамических режимов САР.</p> <p>Решение задач оптимального управления методами классического вариационного исчисления.</p> <p>Уравнение Эйлера. Решение задачи оптимального управления с учетом ограничений. Уравнения Эйлера- Лагранжа. Задача с закрепленными концами и фиксированным временем. Задача с подвижными концами и фиксированным временем. Задача с подвижными концами и нефиксированным временем. СУ, оптимальные по расходу ресурсов и расходу энергии.</p> <p>Принцип максимума Понтрягина.</p> <p>Формулировка принципа максимума. СУ оптимальная по быстродействию. Линейная задача максимального быстродействия. Теорема об n-интервалах. Пример решения задачи на максимальное быстродействие с помощью принципа максимума. Определение решения в виде оптимальной программы и оптимальной стратегии.</p> <p>Метод динамического программирования Беллмана.</p> <p>Оптимизация дискретных многошаговых процессов принятия решений. Принцип оптимальности Беллмана. Задача о замене оборудования. Метод динамического программирования для непрерывных систем. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Задача об аналитическом конструировании регуляторов.</p>

5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Математические модели линейных систем управления	Составление математических моделей линейных объектов и систем в виде уравнений в пространстве состояний и передаточных функций. Взаимные

	преобразования моделей.
Временные характеристики типовых звеньев	Определение переходных и импульсных переходных характеристик типовых звеньев систем автоматического регулирования.
Частотные характеристики типовых звеньев.	Определение амплитудно-частотных, фазочастотных, комплексных, логарифмических частотных характеристик типовых звеньев систем автоматического регулирования.
Алгебраические и частотные критерии устойчивости	Применение критериев устойчивости Стодолы, Гурвица, Раussa, Михайлова, Найквиста для определения устойчивости систем автоматического регулирования.
Определение относительной устойчивости замкнутых систем управления	Определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе систем автоматического регулирования.
Точность систем управления в установившихся режимах	Расчет ошибок регулирования в статическом режиме и при воздействиях, изменяющихся с постоянной производной.
Определение основных характеристик случайного сигнала	Определение математического ожидания, дисперсии, автокорреляционной функции и спектральной плотности случайного сигнала.
Определение точности САР при случайном входном воздействии	Определение математического ожидания, дисперсии, автокорреляционной функции и спектральной плотности случайного сигнала на выходе системы по характеристикам входного сигнала.
Качество переходных процессов в САР.	Определение прямых и косвенных показателей качества переходных процессов САР: времени регулирования и перерегулирования, степени устойчивости и корневого показателя колебательности, частотного показателя колебательности, запасов устойчивости по фазе и амплитуде.
Построение эталонных передаточных функций	Построение эталонных передаточных функций на основе полиномов Баттерворта, биномов Ньютона и их исследование.
Расчет системы с помощью принципа динамической компенсации и уравнений синтеза	Определение передаточных функций регуляторов по принципу динамической компенсации и с помощью уравнений синтеза.
Расчет модальной системы управления с наблюдателем состояния	Определение коэффициентов модального регулятора и настроечной матрицы стационарного наблюдателя.
Расчет последовательного корректирующего устройства по ЛАЧХ	Построение ЛАЧХ объекта и эталонной системы, определение ЛАЧХ корректирующего устройства и его передаточной функции.
Расчет устройства компенсации возмущения в комбинированной системе управления	Определение передаточных функций компенсатора возмущения в комбинированной системе управления.
Расчет двусвязной системы	Определение передаточных функций регуляторов и

автоматического регулирования	компенсаторов перекрестных связей объекта в двусвязной системы автоматического регулирования.
Составление разностных уравнений, Z- изображений сигналов и передаточных функций	Определение Z- изображений типовых сигналов, получение дискретных передаточных функций и разностных уравнений импульсных систем, определение реакции импульсных систем на типовые сигналы.
Частотные характеристики импульсных элементов и систем	Расчет частотных характеристик импульсных элементов и систем по частотным характеристикам их непрерывных частей.
Определение устойчивости импульсной системы	Определение устойчивости импульсной системы по ее передаточной функции в форме z-преобразования и частотным характеристике.
Расчет статических характеристик нелинейной системы	Определение статических характеристик нелинейных систем автоматического регулирования по статическим характеристикам их звеньев графическими методами.
Линеаризация нелинейных дифференциальных уравнений и их систем	Линеаризация нелинейных дифференциальных уравнений и их систем в малом путем их разложения в ряд Тейлора и отбрасывания членов разложения выше первого порядка малости.
Исследование нелинейных САП на фазовой плоскости	Построение фазовых портретов нелинейных звеньев и систем и их исследование.
Определение устойчивости нелинейной системы с помощью второго метода Ляпунова и критерия абсолютной устойчивости Попова	Составление функций Ляпунова для нелинейных систем, определение их производных в силу дифференциальных уравнений систем, решение вопроса об устойчивости. Определение модифицированных частотных характеристик линейных частей систем, построение прямых Попова и решение вопроса об устойчивости.
Расчет параметров автоколебаний в релейной системе с помощью метода гармонического баланса	Определение коэффициентов гармонической линеаризации нелинейных элементов, построение частотных характеристик линейных и нелинейных частей. Определение амплитуды и частоты колебаний.
Расчет скользящего режима в релейной системе	Построение линий переключения реле, фазовых характеристик системы, возможности скольжения и диапазона отклонений, при котором обеспечивается скользящий режим.
Решение задачи оптимального управления методом классического вариационного исчисления	Составление и решение уравнений Эйлера-Лагранжа, определение оптимальных траекторий объекта и оптимального управления, значения критерия при оптимальном управлении.
Решение задачи на максимальное быстродействие методом максимума	Составление гамильтониана и уравнений Эйлера-Лагранжа, нахождение максимума гамильтониана по управлению. Определение оптимальных траекторий объекта и оптимального управления, значения критерия при оптимальном управлении.
Решение задачи оптимального	Составление и решение уравнений Беллмана,

управления динамического программирования	методом	определение оптимальных траекторий объекта и оптимального управления, значения критерия при оптимальном управлении.
---	---------	---

5.3. Лабораторные занятия

Наименование темы	Содержание темы
Моделирование линейной системы. Исследование влияния коэффициента передачи на динамические свойства и устойчивость линейной системы	Построение моделей линейной системы в Matlab и Simulink. Построение графиков влияния коэффициента передачи на запасы устойчивости по фазе и амплитуде, время регулирования и перерегулирование.
«Экспериментальное» определение запасов устойчивости замкнутой системы с помощью имитационного моделирования	Построение Simulink- диаграммы для экспериментального определения запасов устойчивости, проведение экспериментов и интерпретация их результатов.
Определение точности системы в статических и стационарных динамических режимах путем имитационного моделирования	Построение Simulink- диаграммы для экспериментального определения точности в статическом и стационарных динамических режимах, проведение экспериментов и интерпретация их результатов.
Определение характеристик случайных сигналов на входе и выходе системы с помощью имитационной модели	Построение имитационной модели системы, схемы формирования случайного сигнала, регистрация отклика и его обработка.
Определение частотных показателей качества с помощью имитационных моделей	Построение Simulink- диаграммы для экспериментального определения частотных характеристик, проведение экспериментов и интерпретация их результатов.
Исследование моделей, заданных эталонными передаточными функциями, моделирование системы, построенной методом динамической компенсации	Экспериментальное исследование моделей, заданных эталонными передаточными функциями, расчет и моделирование системы, построенной методом динамической компенсации.
Моделирование комбинированной и двусвязной систем автоматического регулирования	Построение и исследование модели комбинированной и двусвязной систем автоматического регулирования.
Моделирование линейной импульсной системы автоматического регулирования	Построение и исследование модели линейной импульсной системы автоматического регулирования.
Моделирование линеаризованных «в малом» систем	Построение и исследование модели линеаризованных «в малом» систем. Проверка адекватности модели.
Построение фазовых портретов с помощью имитационного моделирования	Построение имитационной модели для исследования фазовых портретов. Построение фазовых портретов и их исследование.
Моделирование релейных систем автоматического регулирования	Построение и исследование моделей релейных систем автоматического регулирования.

Моделирование оптимальной системы управления (метод синтеза - классическое вариационное исчисление).	Построение и исследование модели оптимальной системы управления, построенной методом синтеза - классическое вариационное исчисление.
Моделирование оптимальной системы управления (метод синтеза - принцип максимума).	Построение и исследование модели оптимальной системы управления, построенной методом синтеза - принцип максимума.
Моделирование оптимальной системы управления (метод синтеза - динамическое программирование).	Построение и исследование модели оптимальной системы управления, построенной методом синтеза - динамическое программирование.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Введение. Основные понятия теории автоматического управления	Тестирование, зачет.	8.8
2	Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления	Тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой проект, зачет	47
3	Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования	Тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой проект, зачет	15
4	Качество линейных непрерывных систем автоматического регулирования	Тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой проект, экзамен.	15
5	Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования	Тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой проект, экзамен	21
6	Импульсные линейные системы автоматического регулирования	Тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой проект, экзамен.	4
7	Нелинейные системы автоматического управления	Тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой проект, экзамен.	4
8	Оптимальные системы автоматического управления	Тестирование, контроль выполнения практических и лабораторных работ, курсовой проект, экзамен.	4

9	Курсовой проект	Тема курсового проекта «Анализ и синтез систем автоматического управления». Заключительная часть проекта выполняется по вариантам: 1. Ограничение координат и релейное управление; 2. Синтез каскадной системы; 3. Синтез модальной и адаптивной систем; 4. Синтез систем оптимального управления.	36
---	-----------------	--	----

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации дисциплины используются традиционные и современные образовательные технологии.

Из современных образовательных технологий применяются информационные и компьютерные технологии, технологии активных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой, технологии проблемного обучения.

На лекционных занятиях по дисциплине возникают следующие дидактические задачи: заинтересовать, убедить, побудить к самостоятельному поиску и активной мыслительной деятельности, помочь совершить мысленный переход от теоретического уровня к прикладным знаниям и др.

Поэтому, для решения этих задач на занятиях применяются следующие активные и интерактивные формы проведения занятий: лекция-беседа или диалог с аудиторией; лекция-дискуссия; лекция с применением техники обратной связи и др.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Вопросы к экзамену:

- 1) Основные понятия автоматического управления. Управление, объект управления, управляемые величины, управляющие и возмущающие воздействия. Разомкнутые и замкнутые системы управления. Понятие обратной связи.
- 2) Классификация систем автоматического регулирования.
- 3) Линейные модели вход- выход: дифференциальные уравнения, передаточные функции, временные и частотные характеристики.
- 4) Модели вход-состояние-выход. Преобразования форм представления моделей.
- 5) Понятие устойчивости САУ. Устойчивость линейных САУ.
- 6) Причины появления неустойчивости линейных САУ.
- 7) Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Стодолы. Критерий Рауса – Гурвица.
- 8) Частотный критерий устойчивости Михайлова.
- 9) Свойства АФЧХ разомкнутых систем.
- 10) Частотный критерий устойчивости Найквиста.
- 11) Интерпретация критерия Найквиста с помощью логарифмических частотных характеристик.
- 12) Запасы устойчивости линейных систем по АФЧХ и ЛЧХ разомкнутых систем.
- 13) Критерий Найквиста для систем, неустойчивых в разомкнутом состоянии.
- 14) Показатели качества систем автоматического регулирования.
- 15) Качество САУ в статических режимах. Определение ошибки по задающему и возмущающему воздействиям.
- 16) Качество САУ в стационарных динамических режимах (при воздействиях, изменяющихся с постоянной производной).
- 17) Способы снижения и устранения ошибки при воздействиях, изменяющихся с постоянной производной.
- 18) Стационарные режимы линейных систем при случайных воздействиях.
- 19) Законы распределения случайных величин и их параметры.
- 20) Характеристики случайных процессов: корреляционная функция и спектральная

плотность.

- 21) Определение точности линейной САР при стационарных случайных воздействиях.
- 22) Показатели качества переходных процессов в САР.
- 23) Частотные критерии качества переходных процессов. Определение показателей качества переходных процессов по частотным характеристикам замкнутой системы.
- 24) Частотные критерии качества переходных процессов. Определение показателей качества переходных процессов по частотным характеристикам разомкнутой системы.
- 25) Корневые критерии качества переходных процессов: степень устойчивости, степень (показатель) колебательности.
- 26) Определение корневого показателя колебательности и его использование для синтеза САР.
- 27) Постановка задачи синтеза регуляторов и корректирующих устройств одномерных линейных САР.
- 28) Построение эталонной передаточной функции системы в классе низкочастотных фильтров Баттерворта.
- 29) Построение эталонной передаточной функции системы методами стандартных коэффициентов.
- 30) Применение принципа динамической компенсации для синтеза линейной САР.
- 31) Расчет регулятора с помощью уравнений синтеза.
- 32) Применение обратных связей по производным выходного сигнала для синтеза линейной САР.
- 33) Влияние местных обратных связей на свойства типичных объектов.
- 34) Типовые законы регулирования (обзор).
- 35) Пропорциональный и интегральный регуляторы и их характеристики.
- 36) ПД-регулятор и его характеристики.
- 37) ПИД-регулятор и его характеристики.
- 38) Расчет регуляторов на заданный частотный показатель колебательности.
- 39) Расчет регуляторов методом расширенных амплитудно-частотных характеристик.
- 40) Синтез последовательных корректирующих устройств с помощью ЛАЧХ.
- 41) Связь ЛАЧХ минимально фазовой разомкнутой системы с показателями качества замкнутой.
- 42) Построение эталонной ЛАЧХ разомкнутой системы.
- 43) Многоконтурные САР и их синтез.
- 44) Расчет устройств компенсации возмущений.
- 45) Расчет двусвязной системы. Несвязное регулирование.
- 46) Расчет двусвязной системы. Автономная система.
- 47) Синтез линейных стохастических систем при стационарных случайных воздействиях.

Тематика задач:

- 1) Частотные характеристики линейных систем и частотные показатели качества.
- 2) Показатели качества линейных систем в статических и стационарных динамических режимах.
- 3) Применение методов динамической компенсации и уравнений синтеза для расчета регулирующих устройств.
- 4) Расчет корректирующих устройств в виде обратной связи по выходной величине и ее производной, модальное управление.
- 5) Расчет простейшего регулятора на заданные корневые показатели качества.
- 6) Определение устойчивости с помощью алгебраических и частотных критериев.

6 семестр:

Вопросы к экзамену:

- 1) Импульсные системы автоматического регулирования. Виды импульсной модуляции.
- 2) Математическое описание импульсных систем. Применение непрерывной модели для системы с ШИМ-модуляцией.
- 3) Математическое описание импульсных систем. Этапы построения мат. модели

линейной системы с АИМ.

- 4) Разностные уравнения, дискретное преобразование Лапласа, Z-преобразование.
- 5) Передаточные функции импульсной системы в форме Z-преобразования.
- 6) Частотные свойства импульсных сигналов и устройств.
- 7) Устойчивость импульсных систем.
- 8) Применение теории импульсных систем к цифровым системам.
- 9) Дискретное представление типовых законов регулирования.
- 10) Синтез импульсных систем.
- 11) Нелинейные системы автоматического регулирования. Виды нелинейностей. Существенные и несущественные нелинейности.
- 12) Статические режимы нелинейных систем. Последовательное, параллельное и соединение в виде ОС статических нелинейностей.
- 13) Особенности стационарных режимов нелинейных систем при случайных воздействиях.
- 14) Устойчивость нелинейных систем. Методы А.М. Ляпунова определения устойчивости.
- 15) Критерий абсолютной устойчивости нелинейных систем В.М. Попова.
- 16) Применение критерия абсолютной устойчивости В.М. Попова к системам с неустойчивой или нейтральной линейной частью.
- 17) Релейные системы автоматического управления. Процесс регулирования в релейной системе со статической линейной частью.
- 18) Релейные системы автоматического управления. Процесс регулирования в релейной системе с астатической (первого порядка) линейной частью.
- 19) Релейные системы автоматического управления. Процесс регулирования в релейной системе с астатической (второго порядка) линейной частью.
- 20) Анализ автоколебаний в нелинейных системах методом гармонической линеаризации.
- 21) Скользящие режимы в релейных системах.
- 22) Ограничение сигналов в системах автоматического регулирования. Организация и моделирование ограничений.
- 23) Классификация задач оптимизации динамических режимов САР.
- 24) Уравнение Эйлера.
- 25) Уравнения Эйлера-Лагранжа.
- 26) Задача с закрепленными концами и фиксированным временем.
- 27) Задача с подвижными концами и фиксированным временем.
- 28) Задача с подвижными концами и нефиксированным временем.
- 29) Принцип максимума Понтрягина.
- 30) Линейная задача максимального быстродействия.
- 31) Метод динамического программирования. Задача о замене оборудования.
- 32) Метод динамического программирования для непрерывных систем.
- 33) Задача об аналитическом конструировании регуляторов.
- 34) Понятие о робастных системах автоматического управления.
- 35) Понятие об адаптивном управлении.

Вопросы к зачету (4 семестр):

- 1) Линеаризация нелинейностей путем разложения в ряд Тейлора.
- 2) Определение результирующей статической характеристики соединений нелинейных звеньев.
- 3) Применение первого метода Ляпунова для исследования устойчивости нелинейных систем в малом.
- 4) Применение критерия абсолютной устойчивости Попова.
- 5) Применение метода гармонической линеаризации.
- 6) Составление разностных уравнений и дискретных передаточных функций.
- 7) Составление гамильтониана и расширенной системы дифференциальных уравнений для решения задач динамической оптимизации.
- 8) Составление функционального уравнения Беллмана.

Тема курсового проекта «Анализ и синтез систем автоматического управления».

Заключительная часть проекта выполняется по вариантам:

1. Ограничение координат и релейное управление;
2. Синтез каскадной системы;
3. Синтез модальной и адаптивной систем;
4. Синтез систем оптимального управления.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

а) литература

Ким, Д. П. Теория автоматического управления: учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 276 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9294-6. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/536474> (дата обращения: 12.04.2024).

Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы. Задачник: учебное пособие для вузов / Д. П. Ким, Н. Д. Дмитриева. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 169 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8603-7. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/538012> (дата обращения: 12.04.2024).

Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Задачник: учебное пособие для вузов / Д. П. Ким. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 331 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01459-4. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/538014> (дата обращения: 12.04.2024).

Еремин, Е. Л. Системы автоматического управления [Электронный ресурс]: лаб. практикум (MatLab - Simulink) / Е. Л. Еремин, И. Е. Еремин; АмГУ, ФМиИ. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 99 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7688.pdf

Первозванский, А. А. Курс теории автоматического управления / А. А. Первозванский. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 616 с. — ISBN 978-5-507-47043-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/322499> (дата обращения: 12.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Теория автоматического управления [Текст]: учеб. : доп. Мин. обр. РФ / под ред. В. Б. Яковлева. - 3-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2009. - 568 с.

Кудинов, Ю. И. Теория автоматического управления (с использованием MATLAB — SIMULINK): учебное пособие / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пашенко. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 312 с. — ISBN 978-5-8114-1994-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/205955> (дата обращения: 12.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Еремин, Е. Л., Кван Н.В., Семичевская Н.П. Теличенко Д.А. Нелинейное робастное управление сложными динамическими объектами. - Благовещенск: Изд-во Амур.гос. ун-та, 2011. - 204 с. http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6296.pdf

Теория автоматического управления: сб. учеб.-метод. материалов для направлений подготовки 09.03.01; 24.03.01 и спец. 24.05.01/ АмГУ, ФМиИ; сост. Е. Л. Еремин. - Благовещенск: Изд-во Амур.гос. ун-та, 2017. - 61 с. Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7784.pdf

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	MATLAB+SIMULINK	Academic classroom 25 по договору №2013.199430/949 от 20.11.2013.

2	Mathcad Education – University Edition	25 раб. мест по Software Order Fulfillment Confirmation, Service Contract # 4A1934168 от 18.12.2014.
3	Операционная система специального назначения «Astra Linux Special Edition» РУСБ.10015-01	Лицензионный договор № РБТ-14/1607-01- ВУЗ на предоставление права использования программы для ЭВМ.
4	http://e.lanbook.com	Электронно- библиотечная система, включающая в себя как электронные версии книг издательства «Лань» и других ведущих издательств учебной литературы, так и электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам.
5	ЭБС ЮРАЙТ https://urait.ru	Фонд электронной библиотеки составляет более 4000 наименований и постоянно пополняется новинками, в большинстве своем это учебники и учебные пособия для всех уровней профессионального образования от ведущих научных школ с соблюдением требований новых ФГОСов.
6	ЭБС «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА» www.studentlibrary.ru	Многопрофильный образовательный ресурс "Консультант студента" (www.studentlibrary.ru) является электронной библиотечной системой (ЭБС), предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения (ФГОС ВО 3+) к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы, для СПО, ВО и аспирантуры

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	http://drsk.ru	Официальный сайт Акционерное общество "Дальневосточная распределительная сетевая компания"
2	http:// www.rushydro.ru/company/	Официальный сайт ПАО «РусГидро»
3	https://scholar.google.ru/	Google Scholar - поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов дисциплин
4	https://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – российский информационно- аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования
5	https://www.mathnet.ru/	Общероссийский математический портал Math-Net.Ru
6	https://gissee.ru/	Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Экспертный портал по вопросам энергосбережения
7	https:// www.gis-tek.ru/	ГИС ТЭК – федеральная государственная

		информационная система, содержащая информацию о состоянии и прогнозе развития топливно-энергетического комплекса РФ.
--	--	--

10. МАТЕРИАЛЬНО- ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

Занятия по дисциплине «Теория автоматического управления» проводятся в учебных аудиториях для занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы: учебная мебель, доска, мультимедиа- проектор, проекционный экран, ноутбук.

Используется лабораторное оборудование:

типовой комплект учебного оборудования «Основы теории автоматического управления»;

типовой комплект учебного оборудования «Теория автоматического управления» ТАУ-СК;

типовой комплект учебного оборудования «Теория автоматического управления» ТАУ-НН.

Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно- библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно- образовательную среду университета.

На занятиях применяется следующее техническое оборудование: ПЭВМ на базе процессора Intel Pentium, проектор.