

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Амурский государственный университет»



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

Н.В. Савина

«18» 03 20/гг.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Теория автоматического управления

Направление подготовки 220700.62 Автоматизация технологических процессов и  
производств

по профилям «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике»,  
«Автоматизация технико-экономических процессов»

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Специальное звание бакалавр-инженер

Курс 3 Семестр 5,6

Экзамен 72 (час.)

Лекции 72 (час.) Экзамен 5,6 (семестр) (72 часа)

Практические (семинарские) занятия 72 (час.)

Лабораторные работы 36 (час.)

Самостоятельная работа 150 (час.),

КСР 30 (час.)

Общая трудоемкость дисциплины 432 (час.), 12 (з.е.)

Составитель Андрей Николаевич Рыбалев, доцент, кандидат технических наук

Факультет Энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВПО по направлению подготовки 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники

«20» февраля 2014 г., протокол № 6  
Заведующий кафедрой А.Н. Рыбалев

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методического совета направления 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств»

«20» февраля 2014 г., протокол № 6  
Председатель А.Н. Рыбалев  
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от \_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_  
подпись, дата И.О.Ф.

СОГЛАСОВАНО  
Начальник учебно-методического  
управления А.Н. Рыбалев  
(подпись, И.О.Ф.)

«17» 03 2014 г.

СОГЛАСОВАНО  
Председатель учебно-методического  
совета факультета В.В. Мельничук  
(подпись, И.О.Ф.)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий выпускающей кафедрой  
А.Н. Рыбалев  
(подпись, И.О.Ф.)

«20» 02 2014 г.

СОГЛАСОВАНО  
Директор научной библиотеки  
В.В. Мельничук  
(подпись, И.О.Ф.)

«16» 03 2014 г.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель изучения дисциплины «Теория автоматического управления» заключается в формировании 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 ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО**

Дисциплина «Теория автоматического управления» относится к обязательным дисциплинам базовой части профессионального цикла БЗ.Б7

Изучение теории автоматического управления базируется в основном на учебном материале следующих дисциплин: «Математика» (линейная алгебра, дифференциальное и интегральное исчисления, дифференциальные уравнения, преобразования Лапласа и Фурье, теория вероятности), «Теоретическая механика» (динамика точки и твердого тела, уравнения Лагранжа, малые колебания систем), «Программирование и основы алгоритмизации» (примеры составления и отладка программ), «Общая 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», «Моделирование систем и процессов», «Современные системы управления» (расчет и моделирование систем регулирования и управления), «Проектирование автоматизированных систем» (проектирование локальных АСР и АСУ), «Автоматизация технологических процессов и производств», «Автоматическое управление на электрических станциях» (разработка локальных АСР и АСУ).

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

основные понятия кибернетики и место теории управления в нем;

основные принципы и концепции построения систем автоматического регулирования и управления;

математический аппарат теории автоматического управления;

методы анализа и синтеза систем автоматического регулирования и управления;

основные проблемы и перспективы направления развития теории автоматического регулирования.

2) Уметь:

составлять математические описания автоматических систем регулирования и управления;

осуществлять анализ устойчивости и качества автоматических систем регулирования и управления;

обоснованно выбирать структуры и схемы автоматического регулирования и управления, осуществлять параметрическую оптимизацию регулирующих и управляющих устройств;

синтезировать законы и алгоритмы оптимального управления объектами.

3) Владеть навыками проведения расчетов временных и частотных характеристик и моделирования линейных систем автоматического регулирования в пакетах математических программ (Matlab).

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие компетенции:

способность участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры их взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности (ПК-6);

способность использовать современные информационные технологии при проектировании изделий, производств (ПК-10);

способность участвовать в разработке математических и физических моделей процессов и производственных объектов (ПК-17);

способность выполнять работы по расчету и проектированию средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования (ПК-18);

способность к участию в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования (ПК-40);

способность проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций (ПК-42).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 432 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекц.	Пр.	Лр.	СР	
1	Введение. Основные понятия теории автоматического управления	5	1	2			2	Контрольная точка и тестирование №1, сдача практических заданий и лабораторных работ, экзамен
2	Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления	5	2	2	4	2	12	Контрольная точка и тестирование №1, проверка РГР, сдача практических заданий и лабораторных работ, экзамен
3	Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования	5	3-6	8	8	4	18	Контрольная точка и тестирование №1, проверка РГР, сдача практических заданий и лабораторных работ, экзамен

4	Качество линейных непрерывных систем автоматического регулирования	5	7-11	10	12	6	24	Контрольная точка и тестирование №2, проверка РГР, сдача практических заданий и лабораторных работ, экзамен
5	Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования	5	12-18	14	12	6	30	Контрольная точка и тестирование №2, проверка РГР, сдача практических заданий и лабораторных работ, экзамен
6	Импульсные линейные системы автоматического регулирования	6	1-5	10	2	2	12	Контрольная точка и тестирование №3, сдача практических заданий и лабораторных работ, экзамен
7	Нелинейные системы автоматического управления	6	6-10	10	8	8	64/24	№3, экзамен, сдача практических заданий и лабораторных работ, защита КП
8	Оптимальные системы автоматического управления	6	11-18	16	6	6	58/18	Контрольная точка и тестирование №4, экзамен, сдача практических заданий и лабораторных работ, защита КП

\* - в зависимости от тематики КП

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Лекционный материал (72 часа)

#### 5 семестр (36 часов):

##### 5.1.1. Основные понятия автоматического управления - 2 часа.

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.

##### 5.1.2. Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления – 2 часа.

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.

5.1.3. Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования. – 8 час.

Проблема устойчивости САР. – 2 часа.

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.

Критерии устойчивости линейных непрерывных САР. - 6 часов.

Необходимое условие устойчивости Стодолы. Необходимые и достаточные условия устойчивости САР. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Стодолы. Критерий Рауса – 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.

5.2.4. Качество линейных непрерывных систем автоматического регулирования. – 10 часов.

Качество САР в статических и стационарных динамических режимах. – 2 часа.

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.

Качество линейных непрерывных САР в стационарных режимах при случайных воздействиях. – 4 часа.

Линейные стохастические модели СУ: модели и характеристики случайных сигналов, прохождение случайных сигналов через линейные звенья, анализ линейных стохастических систем при стационарных случайных воздействиях.

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 определение точности САР при стационарных случайных воздействиях.

Качество переходных процессов в линейных непрерывных СУ. – 4 часа.

Прямые показатели качества переходных процессов САР. Влияние коэффициента усиления на прямые показатели качества.

Частотные критерии качества переходных процессов. Определение показателей качества переходных 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 устойчивости, степень (показатель) колебательности. Определение корневого показателя колебательности и его использование для синтеза САР.

5.2.5. Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования. – 14 часов.

Постановка задачи синтеза регуляторов и корректирующих устройств одномерных линейных непрерывных САР. Задачи и методы синтеза линейных СУ. – 2 часа.

Общие подходы структурно-параметрического синтеза регуляторов в классе одномерных линейных непрерывных систем. – 4 часа.

Построение эталонных передаточных функций 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. – 2 часа.

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. – 4 часа.

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.

Многосвязные линейные непрерывные САР: методы синтеза. Несвязное регулирование. Принцип автономности. Пример расчета двусвязной системы. Синтез систем с запаздыванием.

Синтез линейных стохастических систем при стационарных случайных воздействиях. – 2 часа.

7 семестр (36 часов):

5.2.6. Импульсные линейные системы автоматического регулирования. – 10 часов.

Линейные дискретные модели СУ: основные понятия об импульсных СУ, классификация 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.

5.2.7. Нелинейные системы автоматического управления. – 10 часов.

5.2.7.1. Определение и особенности нелинейных систем автоматического управления. Нелинейные модели СУ, анализ равновесных режимов. – 2 часа.

Определение нелинейных САУ. Виды нелинейностей. Методы линеаризации нелинейных моделей. Существенные и несущественные нелинейности. Линеаризация нелинейных моделей «в малом».

Статические режимы нелинейных систем. Последовательное, параллельное и соединение в виде ОС статических нелинейностей. Ограничение сигналов в системах автоматического регулирования. Организация и моделирование ограничений.

Особенности стационарных режимов нелинейных систем при случайных воздействиях. Исследование стационарных режимов нелинейных систем при случайных воздействиях методом статистической линеаризации.

Устойчивость нелинейных систем автоматического регулирования. – 4 часа.

Анализ поведения СУ на фазовой плоскости. Особенности проблемы устойчивости для нелинейных САР. 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.

Релейные системы автоматического регулирования. - 4 часа.

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.

5.2.8. Оптимальные системы автоматического управления

Постановка задачи оптимального управления. Задачи оптимального управления, критерии оптимальности, методы теории оптимального управления. Классификация задач оптимизации динамических режимов САР. – 2 часа.

Решение задач оптимального управления методами классического вариационного исчисления. – 4 часа.

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.

Принцип максимума Понтрягина. – 6 часов.

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.

Метод динамического программирования Беллмана. – 4 часа.

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.

5.2. Практические занятия (72 часа).

5 семестр (36 часов):

5.2.1. Математические модели линейных систем управления – 2 часа.

5.2.2. Временные характеристики типовых звеньев. – 2 часа.

5.2.3. Частотные характеристики типовых звеньев. – 2 часа.

5.2.4. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. – 2 часа.

5.2.5. Определение относительной устойчивости замкнутых систем управления. – 2 часа.

5.2.6. Корневой годограф замкнутой системы управления. – 2 часа.

- 5.2.7. Точность систем управления в установившихся режимах. – 2 часа.
- 5.2.8. Определение основных характеристик случайного сигнала. – 2 часа.
- 5.2.9. Определение точности САР при случайном входном воздействии. – 2 часа.
- 5.2.10. Качество переходных процессов в САР. – 4 часа.
- 5.2.11. Построение эталонных передаточных функций. – 2 часа.
- 5.2.12. Расчет системы с помощью принципа динамической компенсации и уравнений синтеза. – 2 часа.
- 5.2.13. Расчет модальной системы управления с наблюдателем состояния. – 4 часа.
- 5.2.14. Расчет последовательного корректирующего устройства по ЛАЧХ. – 2 часа.
- 5.2.15. Расчет устройства компенсации возмущения в комбинированной системе управления. – 2 часа.
- 5.2.16. Расчет двусвязной системы автоматического регулирования. – 2 часа.

6 семестр (36 часов):

- 5.2.17. Составление разностных уравнений, Z-изображений сигналов и передаточных функций. – 4 часа.
- 5.2.18. Частотные характеристики импульсных элементов и систем. – 2 часа.
- 5.2.19. Определение устойчивости импульсной системы. – 2 часа.
- 5.2.20. Расчет статических характеристик нелинейной системы. – 2 часа.
- 5.2.21. Линеаризация нелинейных дифференциальных уравнений и их систем. – 2 часа.
- 5.2.22. Исследование нелинейных САР на фазовой плоскости. – 2 часа.
- 5.2.23. Определение устойчивости нелинейной системы с помощью второго метода Ляпунова и критерия абсолютной устойчивости Попова. – 4 часа.
- 5.2.24. Расчет параметров автоколебаний в релейной системе с помощью метода гармонического баланса. – 4 часа.
- 5.2.25. Расчет скользящего режима в релейной системе. – 2 часа.
- 5.2.26. Решение задачи оптимального управления методом классического вариационного исчисления. – 4 часа.
- 5.2.27. Решение задачи на максимальное быстродействие методом максимума. – 4 часа.
- 5.2.28. Решение задачи оптимального управления методом динамического программирования. – 4 часа.

5.3. Лабораторные занятия (36 часов)

5 семестр (18 часов):

- 5.3.1. Моделирование линейной системы. – 2 часа.
- 5.3.2. Исследование влияния коэффициента передачи на динамические свойства и устойчивость линейной системы. – 2 часа.
- 5.3.3. «Экспериментальное» определение запасов устойчивости замкнутой системы с помощью имитационного моделирования. – 2 часа.
- 5.3.4. Определение точности системы в статических и стационарных динамических режимах путем имитационного моделирования. – 2 часа.
- 5.3.5. Определение характеристик случайных сигналов на входе и выходе системы с помощью имитационной модели. – 2 часа.
- 5.3.6. Определение частотных показателей качества с помощью имитационных моделей. – 2 часа.
- 5.3.7. Исследование моделей, заданных эталонными передаточными функциями, моделирование системы, построенной методом динамической компенсации. – 2 часа.

5.3.8. Моделирование системы с последовательным корректирующим устройством. – 2 часа.

5.3.9. Моделирование комбинированной и двусвязной систем автоматического регулирования. – 2 часа.

6 семестр (18 часов):

5.3.10. Моделирование линейной импульсной системы автоматического регулирования. – 4 часа.

5.3.11. Моделирование линеаризованных «в малом» систем. – 2 часа.

5.3.12. Построение фазовых портретов с помощью имитационного моделирования. – 2 часа.

5.3.13. Моделирование релейных систем автоматического регулирования. – 4 часа.

5.3.14. Моделирование оптимальной системы управления (метод синтеза – классическое вариационное исчисление). – 2 часа.

5.3.15. Моделирование оптимальной системы управления (метод синтеза – принцип максимума). – 2 часа.

5.3.16. Моделирование оптимальной системы управления (метод синтеза – динамическое программирование). – 2 часа.

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в часах
1	Введение. Основные понятия теории автоматического управления	Выполнение РГР	2
2	Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления	Выполнение РГР Выполнение практических заданий по темам практических занятий, подготовка отчетов по ним Предварительная подготовка к лабораторным занятиям и составление отчетов по ним	4 6 2
3	Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования	Выполнение РГР Выполнение практических заданий по темам практических занятий, подготовка отчетов по ним Предварительная подготовка к лабораторным занятиям и составление отчетов по ним	8 6 4
4	Качество линейных непрерывных систем автоматического регулирования	Выполнение РГР Выполнение практических заданий по темам практических занятий, подготовка отчетов по ним Предварительная подготовка к лабораторным занятиям и составление отчетов по ним	8 10 6
5	Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования	Выполнение РГР Выполнение практических заданий по темам практических занятий, подготовка отчетов по ним Предварительная подготовка к лабораторным занятиям и составление отчетов по ним	10 14 6

6	Импульсные линейные системы автоматического регулирования	Выполнение практических заданий по темам практических занятий, подготовка отчетов по ним	8
		Предварительная подготовка к лабораторным занятиям и составление отчетов по ним	4
7	Нелинейные системы автоматического управления	Выполнение КП	40 (0)*
		Выполнение практических заданий по темам практических занятий, подготовка отчетов по ним	16
8	Оптимальные системы автоматического управления	Предварительная подготовка к лабораторным занятиям и составление отчетов по ним	8
		Выполнение КП	40(0)*
		Выполнение практических заданий по темам практических занятий, подготовка отчетов по ним	12
		Предварительная подготовка к лабораторным занятиям и составление отчетов по ним	6

\* - в зависимости от тематики КП

Тема расчетно-графической работы: «Синтез линейной системы автоматического регулирования».

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

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.

Теоретические сведения, исходные данные и задания к выполнению РГР и КП приведены в пособиях

Рыбалев, А.Н. Теория автоматического управления: курсовое проектирование: учеб. пособие/ А.Н. Рыбалев ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2004. - 144 с.

2. Рыбалев, А.Н. Теория автоматического управления. Оптимальные системы: учеб. пособие/ А. Н. Рыбалев ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. - 104 с.

## 7. МАТРИЦА КОМПЕТЕНЦИЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы	Компетенции						Итого Σ общее количество компетенций
	ПК-6	ПК-10	ПК-17	ПК-18	ПК-40	ПК-42	
1. Введение. Основные понятия теории автоматического управления	+					+	2
2. Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления		+	+		+		3
3. Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования	+	+			+	+	4
4. Качество линейных непрерывных систем автоматического	+	+	+		+	+	5

ского регулирования							
5. Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования	+	+		+	+		4
6. Импульсные линейные системы автоматического регулирования	+	+	+	+			4
7. Нелинейные системы автоматического управления	+	+	+	+		+	5
8. Оптимальные системы автоматического управления	+	+	+	+	+	+	6

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Автоматизация технологических процессов и производств» используются следующие образовательные технологии:

8.1. Активные инновационные методы обучения: нет.

8.2. Технологии обучения: традиционные.

8.3. Информационные технологии: мультимедийное обучение (демонстрации на видеопроекторе на лекционных занятиях).

8.4. Информационные системы: электронная база учебно-методических ресурсов на основе сайта [app-vrsoft.ru](http://app-vrsoft.ru).

8.5. Инновационные методы контроля: компьютерное тестирование в ходе изучения дисциплины и по ее окончанию.

Занятия в интерактивной форме:

Наименование темы	Лекции	Практ.	Σ
1. Введение. Основные понятия теории автоматического управления, <i>проблемная лекция</i>	2		2
2. Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления, <i>проблемная лекция, метод группового решения задач</i>	2	2	4
3. Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования, <i>проблемная лекция, метод группового решения задач</i>	4	4	8
4. Качество линейных непрерывных систем автоматического регулирования, <i>проблемная лекция, метод группового решения задач</i>	6	6	12
5. Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования, <i>проблемная лекция, метод группового решения задач</i>	6	6	12
6. Импульсные линейные системы автоматического регулирования, <i>проблемная лекция, метод группового решения задач</i>	6	6	12
7. Нелинейные системы автоматического управления, <i>проблемная лекция, метод группового решения задач</i>	4	6	10
8. Оптимальные системы автоматического управления, <i>проблемная лекция, метод группового решения задач</i>	6	6	12
Итого:	36	36	72

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

1. Задачи для тестирования, охватывающие основные темы, изучаемые студентами в данном курсе, и сгруппированные по разделам:

1. Типовые звенья САР.

Пример: по данной передаточной функции определить, из каких типовых звеньев состоит САР.

2. Структурные схемы САР.

Пример: по приведенным уравнениям составить структурную схему и определить передаточную функцию.

3. Устойчивость линейных САР.

Пример: используя алгебраические критерии, определить устойчивость САУ, заданной передаточной функцией.

4. Статические характеристики нелинейных систем.

Пример: найти аналитический вид нелинейных зависимостей, представленных графически и построить нелинейные характеристики элементов по их математическому описанию.

5. Фазовые портреты.

Пример: на фазовой плоскости представить фазовый портрет, соответствующий графикам переходных процессов, и указать отмеченные на графике точки.

6. Прохождение гармонического сигнала через нелинейный элемент.

Пример: на нелинейный элемент подан гармонический сигнал. Изобразить сигнал на выходе нелинейного элемента.

7. Критерий абсолютной устойчивости.

Пример: по данному графику модернизированной АФЧХ линейной части системы определить предельный коэффициент передачи нелинейного элемента для выполнения условия абсолютной устойчивости нелинейной САУ.

8. Метод гармонической линеаризации.

Пример: используя метод Л.С. Гольдфарба, определить амплитуду и частоту автоколебаний в нелинейной системе.

Тестирование является составной частью процедуры промежуточного контроля знаний (в ходе изучения дисциплины), а также используется для контроля остаточных знаний (после окончания изучения дисциплины).

2. Вопросы к экзамену

6 семестр:

Вопросы к экзаменам:

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 САР в статических режимах. Определение ошибки по задающему и возмущающему воздействиям.
- 16) Качество САР 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.

7 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.

Тематика задач:

- 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.

3. Учебные пособия для подготовки и выполнения практических работ и индивидуальных заданий, лабораторных работ, РГР и КП:

1. Рыбалев, А.Н. Теория автоматического управления: метод. пособие к выполнению практ., лаб. и самостоятельных работ/ А. Н. Рыбалев ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 144 с.

2. Рыбалев, А.Н. Теория автоматического управления. Оптимальные системы: учеб. пособие/ А. Н. Рыбалев ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. - 104 с.

3. Рыбалев, А.Н. Теория автоматического управления: курсовое проектирование: учеб. пособие/ А.Н. Рыбалев ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2004. - 144 с.

4. Рыбалев А.Н., Усенко В.И., Русинов В.Л. Теория автоматического управления. Часть 2. Анализ непрерывных линейных САР. Методическое пособие к выполнению практических и самостоятельных работ. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. – 156 с.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

а) основная литература:

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

2. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления: учеб.: рек. Мин. обр. РФ / В. Я. Ротач. - 4-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2007. - 400 с.

3. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления: учеб. пособие : рек. УМО / Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев. - 3-е изд., доп. и перераб. - СПб. : (ЭБС Лань), 2010. - 220 с.

б) дополнительная литература:

1. Юревич, Е.И. Теория автоматического управления: учеб.: рек. Мин. обр. РФ / Е.И. Юревич. - 3-е изд. - СПб. : БХВ-Петербург, 2007. - 540 с.

2. Рыбалев, А.Н. Теория автоматического управления: курсовое проектирование: учеб. пособие / А.Н. Рыбалев ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2004. - 144 с.

3. Рыбалев, А.Н. Теория автоматического управления. Оптимальные системы: учеб. пособие / А. Н. Рыбалев ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. - 104 с.

4. Рыбалев А.Н., Усенко В.И., Русинов В.Л. Теория автоматического управления. Часть 2. Анализ непрерывных линейных САУ. Методическое пособие к выполнению практических и самостоятельных работ. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. – 156 с.

5. Востриков, А.С., Теория автоматического регулирования [Текст] : учеб. пособие: рек. УМО / А.С. Востриков, Г.А. Французова. - 2-е изд., стер. - М. :Высш. шк.,2006.-365 с.

в). Научно-популярные журналы:

1. Автоматика и телемеханика

2.Мехатроника,автоматизация,управление

3.Проблемы теории и практики управления

4. Энергетика.Сводный том

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Программное обеспечение:

1) ОС Microsoft Windows 2000, Microsoft Windows XP;

2) MS Office (Word, PowerPoint);

3) Математический пакет Matlab, The MathWorks, Inc, версия 6.5.0.180913a (R13) и

новее.

Интернет-ресурсы:

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://www.edu.ru/">http://www.edu.ru/</a>	Российское образование. Федеральный портал
2	<a href="http://www.exponenta.ru/">http://www.exponenta.ru/</a>	Образовательный математический сайт. Примеры решения задач теории управления в математических пакетах Обсуждение математических пакетов и задач на форуме. Методические разработки. Электронные учебники, справочники, статьи по математическим пакетам. Демо-версии популярных математических пакетов, электронные книги и свободно распространяемые программы.
3	<a href="http://www.toehelp.ru/theory/tau/contents.html">http://www.toehelp.ru/theory/tau/contents.html</a>	Электронный курс лекций по теории автоматического управления
4	<a href="http://www.novtex.ru/mech/">http://www.novtex.ru/mech/</a>	Ежемесячный научно-технический и производственный журнал

		"МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ"
5.	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>	Электронно-библиотечная система издательства «Лань»
6.	<a href="http://nelbook.ru/">http://nelbook.ru/</a>	Электронная библиотека Нэлбук
7.	<a href="http://www.biblioclub.ru/">http://www.biblioclub.ru/</a>	Электронная библиотечная система «Университетская библиотека – online».

## 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

- 1) Видеопроектор;
- 2) Компьютерный класс (ауд. 402 корп. №6) для выполнения индивидуальных заданий и РГР.

## 12. РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Положение о балльно-рейтинговой системе оценки» рассмотрено и утверждено на заседании кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники.

Согласно ПУД СМК 04-2012. Положение о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов учебная деятельность студента оценивается по **100-балльной шкале**, где указанные 100 баллов (контрольный рейтинг по дисциплине) соответствуют количеству зачетных единиц (**12 з.е.**), отводимых на изучение дисциплины. Поскольку дисциплина «Теория автоматического управления» относится к категории дисциплин с экзаменом, границы оценки задаются следующим образом:

- от 91 до 100 баллов – «отлично»;
- от 75 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 51 до 74 баллов – «удовлетворительно»;
- менее 51 балла – «неудовлетворительно».

Рейтинговая оценка по дисциплине складывается из следующих показателей: текущий рейтинг (60 баллов) и теоретический рейтинг (40 баллов).

Текущий рейтинг студентов складывается из следующих компонентов: работа студентов, проверяемая на практических занятиях; выполнение и защита индивидуальных заданий по темам практических работ и РГР. Общее количество баллов, отводимых на текущий рейтинг, разделяется по темам практических работ и РГР. Отдельно выставляются баллы за подготовку, выполнение и защиту работ. Сумма баллов за выполнение работ равна 30. Остальные 30 баллов выставляются за подготовку и защиту работ.

Теоретический рейтинг (40 баллов) – оценка за экзамен.

Кроме указанных видов рейтинга возможно использование *поощрительной системы оценки* (бонусов) для студентов, успешно работающих в течение семестра и *системы штрафов* за пропущенные без уважительной причины (и не отработанные) занятия, несвоевременную защиту лабораторных работ и т.д. Максимальный размер как бонусов, так и штрафов составляет 20 баллов.

На основании перечисленных составляющих определяется контрольный рейтинг по дисциплине. Величина контрольного рейтинга переводится в оценку (критерии перевода приведены выше). Студент имеет право на повышение оценки своего текущего и индивидуального рейтинга путем самостоятельного выполнения работ и их защиты в специально отведенное преподавателем время.

Минимальный бал, необходимый студенту для допуска к сдаче экзамена 30 баллов.

Рейтинговая оценка *курсового проекта* предусматривает начисление баллов на каждом этапе выполнения проекта. Максимальное суммарное количество баллов равняется

100. Содержание этапов формируется в зависимости от варианта. Обобщенная тематика этапов:

1. Анализ системы автоматического регулирования – до 25 баллов;
2. Синтез системы автоматического регулирования – до 25 баллов;
3. Оформление и сдача проекта – до 50 баллов (по итогам проверки и защиты).

С данным «Положением о рейтинговой системе оценки» и приложениями к нему (график организации учебного процесса по дисциплине, перечень выполняемых работ и сроки их проведения и т.п.) студенты должны быть ознакомлены не позднее третьей недели семестра.