МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГДиТ
_____ С.Е. Гавришев

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Направление подготовки (специальность)
21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО

Направленность (профиль/специализация) программы
21.05.04 специализация N 10 "Электрификация и автоматизация горного производства"

Уровень высшего образования - специалитет

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт горного дела и транспорта
Кафедра	Горных машин и транспортно-технологических комплексов
Курс	4, 5
Семестр	8, 9

Магнитогорск
2020 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по специальности 21.05.04 Горное дело (приказ Минобрнауки России от 17.10.2016 г. № 1298)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических комплексов
27.12.2019, протокол № 6

Зав. кафедрой _____ А.Д. Кольга

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИГДиТ
25.02.2020 г. протокол № 7

Председатель _____ С.Е. Гавришев

Рабочая программа составлена:
доцент кафедры ГМиТТК, канд. техн. наук _____ Великанов В.С.

Рецензент:
зам. генерального директора ООО "УралЭнергоРесурс" , канд. техн. наук _____ И.С. туркин

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2020 - 2021 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Д. Кольга

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Д. Кольга

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Д. Кольга

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Д. Кольга

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Д. Кольга

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Д. Кольга

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

формирование у студентов знаний об основных положениях теории автоматического управления и принципах построения на ее основе систем автоматического управления, методах анализа и синтеза технических систем, использующих автоматическое управление.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Теория автоматического управления входит в базовую часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства

Автоматика машин и установок горного производства

Анализ и оценка результатов

Управление техническими системами

Электрические машины

Теория автоматов

Диагностика и надёжность автоматизированных систем

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Современные системы автоматизации на горных предприятиях

Монтаж и эксплуатация электроустановок

Программируемые контроллеры в системах автоматизации производственных процессов

Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Теория автоматического управления» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-8 готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством	
Знать	теоретические основы автоматизированных систем управления производством на уровне освоения материала, представленного на лекционных занятиях теоретические основы автоматизированных систем управления производством, контролировать соответствие систем управления требованиям стандартов, представленного материала на аудиторных занятиях с дополнительным привлечением основной и дополнительной литературы теоретические основы автоматизированных систем управления производством, контролировать соответствие автоматизированных систем требованиям стандартов, представленного материала на ауди -торных занятиях с дополнительным использованием основной и до -полнительной литературы, использования возможностей информационной ресурсов

Уметь	корректно разрабатывать необходимую техническую документацию по внедрению систем управления выделять основные положения автоматизированных систем управления производством самостоятельно приобретать дополнительные знания и умения; использовать знания на междисциплинарном уровне
Владеть	основными подходами по внедрению автоматизированных систем управления производством практическими навыками по внедрению автоматизированных систем управления производством навыками и методиками обобщения результатов решения; способами оценивания значимости и практической при-годности полученных результатов
ПК-16 готовностью выполнять экспериментальные и лабораторные исследования, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты	
Знать	методики определения статических и динамических характеристик объектов управления и их математического описания, использовать методики для проведения лабораторных исследований инженерные методы анализа систем автоматического управления, а также основы экспериментальных методов исследования автоматических систем управления. инженерные методы анализа и синтеза систем автоматического управления, а также основы экспериментальных методов исследования автоматических систем управления и регулирования технологических процессов горного производства и электроприводов горных машин.
Уметь	рационально подбирать и использовать научно-техническую информацию при при проведении лабораторных исследований Анализировать и использовать научно-техническую информацию необходимую при проведении экспериментальных и лабораторных исследованиях, интерпретировать полученные результаты Разрабатывать методики экспериментальных и лабораторных исследований, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты
Владеть	основными подходами по проведению экспериментальных и лабораторных исследований практическими навыками по проведению экспериментальных и лабораторных исследований, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты навыками и методиками обобщения результатов решения; способами оценивания значимости и практической при-годности полученных результатов
ПСК-10.1 способностью и готовностью создавать и эксплуатировать электротехнические системы горных предприятий, включающие в себя комплектное электрооборудование закрытого и рудничного исполнения, электрические сети открытых и подземных горных и горно-строительных работ, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций	

Знать	теоретические подходы в создании САУ в составе творческих коллективов и самостоятельно, контролировать соответствие проектов требованиям стандартов на уровне освоения материала, представленного на лекционных занятиях теоретические подходы в создании и эксплуатации САУ в составе творческих коллективов и самостоятельно, контролировать соответствие проектов требованиям стандартов, представленного материала на аудиторных занятиях с дополнительным привлечением основной и дополнительной литературы теоретические подходы в создании и эксплуатации САУ в составе творческих коллективов и самостоятельно, контролировать соответствие проектов требованиям стандартов, представленного материала на аудиторных занятиях с дополнительным использованием основной и дополнительной литературы, использования возможностей информационной ресурсов
Уметь	корректно разрабатывать необходимую техническую документацию в создании, эксплуатации систем управления выделять основные положения в системах управления процес-сами горных предприятий самостоятельно приобретать дополнительные знания и умения; использовать знания на междисциплинарном уровне
Владеть	основными методиками в создании, эксплуатации САУ практическими навыками в разработке и создании, эксплуатации САУ навыками и методиками обобщения результатов решения; способами оценивания значимости и практической пригодности полученных результатов

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц 252 акад. часов, в том числе:

– контактная работа – 128 акад. часов:

– аудиторная – 122 акад. часов;

– внеаудиторная – 6 акад. часов

– самостоятельная работа – 88,3 акад. часов;

– подготовка к экзамену – 35,7 акад. часа

Форма аттестации - зачет, курсовая работа, экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1.								
1.1 Предмет изучения и методы теории автоматического управления (ТАУ). Взаимосвязь ТАУ с другими дисциплинами об управлении. Краткая историческая справка о развитии теории и техники автоматических систем.	8	4	2/2И	3/2И	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16

1.2 Содержание учебной дисциплины ТАУ, ее роль в теоретической и профессиональной подготовке инженера-электромеханика. Роль вычислительной техники в развитии ТАУ и решении задач анализа и синтеза		4	2/2И	2	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.3 Основы теории линейных автоматических систем. Основные понятия ТАУ и общие принципы построения САУ. Фундаментальные принципы построения систем управления. Классификация систем по принципам выработки управляющего воздействия, по характеру изменения задающего воздействия		4	2/1И	2	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16

1.4 Примеры построения автоматических систем управления типовыми общепромышленными объектами и специфичными объектами горного производства.		4	2/0,5И	2	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.5 Методы математического описания элементов и систем управления. Общие понятия о передаточных свойствах элементов в установившихся и переходных режимах. Математическая модель элемента как преобразователя входного воздействия (сигнала) в выходной сигнал. Свойство однонаправленности передачи воздействий отдельным элементом в замкнутой системе управления		4	2/0,5И	2	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16

1.6 Статические характеристики элементов систем управления. Линеаризация уравнений статики, их запись в отклонениях и относительных единицах. Коэффициент передачи. Статические характеристики систем управления.		6	1/1И	4/1И	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.7 Динамические характеристики типовых динамических звеньев систем управления. Классификация элементарных и типовых звеньев. Безынерционное статическое звено. Инерционные статические звенья первого и второго порядка. Колебательное звено. Интегрирующие, дифференцирующие и форсирующие звенья. Звено запаздывания		4	2/1И	2	12	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16

1.8 Передаточные функции и характеристики точности замкнутых систем управления Правила преобразования алгоритмических и структурных схем. Принцип суперпозиции. Передаточные функции и уравнения динамики простейшей одноконтурной системы.		4	4/1И		14,2	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.9 Анализ устойчивости линейных систем. Понятие и основное условие устойчивости. Теоремы Ляпунова об устойчивости линеаризованных систем. Алгебраические критерии устойчивости. Частотный критерий устойчивости Михайлова. Частотный критерий Найквиста. Применение критерия Найквиста для оценки устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам. Анализ устойчивости систем с запаздыванием. Построение областей устойчивости в пространстве коэффициентов характеристического уравнения или параметров системы.	9	4	4/1И	4/1И	0,1	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16

1.10 Метод Д-разбиения и его применение для выделения области устойчивости по одному или двум параметрам. Понятия и условия структурной устойчивости и неустойчивости. Стабилизация структурно неустойчивых систем. Методы анализа устойчивости систем с использованием ЭВМ.		4	4	4/2И	4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.11 Понятие качества процесса управления. Прямые показатели качества при ступенчатом воздействии.Косвенные показатели качества и методы их оценки. Оценка качества по распределению корней характеристического уравнения, корневые годографы системы. Связь между переходным процессом и частотными характеристиками системы. Оценка качества по вещественной частотной характеристике замкнутой системы.		2	2/4И	2/4И		Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16

1.12 Специальные разделы теории линейных и нелинейных САУ.		2	2	2		Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.13 Анализ и синтез линейных систем при случайных воздействиях. Характеристики случайных сигналов. Корреляционная функция и спек-тральная плотность. Понятие о формирующих фильтрах. Законы преобразования стационарного случайного сигнала линейной сис¬темой. Понятие о статистической идентификации структуры и параметров объек¬тов управления		2	2	2		Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16

1.14 Вычисление и минимизация дисперсии сигнала ошибок управления при заданной структуре системы. Определение оптимальной передаточной функции системы (задача Винера).Понятия об оптимальной фильтрации и прогнозировании случайных сигналов. Оптимальная оценка состояния управляемого объекта с помощью фильтра Каллмана-Бьюси.		2	2	2		Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.15 Принципы построения оптимальных и адаптивных систем автоматического управления. Общая характеристика задач оптимального управления. Критерии оптимальности. Принцип максимума Понтрягина и метод динамического программирования Беллмана. Применение принципа максимума и метода фазовых траекторий для синтеза разомкнутых и замкнутых САУ, оптимальных по быстродействию. Методика синтеза замкнутых линейных систем управления, оптимальных по квадратичным критериям при детерминированных и случайных воздействиях (задачи аналитического конструирования оптимальных регуляторов А.М.Летова и Р.Каллмана		2	2	2		Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет). Подготовка к лабораторным занятиям. Подготовка к практическому занятию и выполнение практических работ.	Индивидуальное собеседование. Индивидуальное сообщение на занятии. Защита лабораторных работ. Проверка индивидуального задания и его защита.	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
1.16 Выполнение и защита курсовой работы					10	Выполнение курсовой рабты	Защита курсовой работы	
1.17 Прохождение промежуточной аттестации						Подготовка к экзамену	Сдача экзамена	ПСК-10.1, ПК-8, ПК-16
Итого по разделу		52	35/14И	35/10И	88,3			

Итого за семестр	18	18/5И	18/7И	14,1		экзамен,кр	
Итого по дисциплине	52	35/14И	35/10И	88,3		зачет, курсовая работа, экзамен	ПСК-10.1,ПК-8,ПК-16

5 Образовательные технологии

1. В учебном процессе предусмотрены занятия в форме разбора конкретных ситуаций, связанных с использованием основных положений теории автоматического управления.

2. При проведении лабораторных и практических работ рассматриваются тесты по темам в интерактивной форме. Объем занятий в интерактивной форме.

3. Часть занятий лекционного типа проводятся в виде презентации.

4. Практические занятия проводятся с использованием рекомендуемого программного обеспечения.

5. В рамках учебного курса предусмотрены встречи с представителями российских и зарубежных компаний, государственных и общественных организаций, мастер-классы экспертов и специалистов по тематике курса.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления: Уч. пос. [Эл. ресурс] ЭБС «Лань», 2010.

2. Петраков Ю.В. Теория автоматич. управления технол. системами: Уч. пос. [Эл. ре-сурс] ЭБС «Лань», 2009.

б) Дополнительная литература:

3. Лукас В.А. Основы теории автоматического управления: Учебник. М.: Недра, 1990.

4. Справочник по теории автоматического управления / Под. Ред. А. А. Красовского. М.: Наука, 1987.

5. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления.- М.: Наука, 1986.

6. Теория автоматического управления/ Под ред. А.А. Воронова. Ч. 1 и 2. – М.: Высшая школа, 1986.

в) Методические указания:

1. Исмагилов К.В., Великанов В.С. Экспериментальное определение статических характеристик системы автоматического управления: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности 150402. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2011. -10с.

2. Исмагилов К.В. Исследование динамических характеристик линейных элементов и систем автоматического управления: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности 150402. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2011.- 9 с.

3. Исмагилов К.В. Исследование частотных характеристик пассивных корректирующих устройств: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности

150402. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2009.- 8 с.

4. Исмагилов К.В. Передаточные функции систем автоматического управления: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Теория автоматического управле-ния» для студентов специальности 150402. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2004.- 9 с.

5. Теория автоматического управления. Мет. указания к курсовой работе по «Тео-рии автоматического управления» для студентов спец. 1701. – Магнитогорск, 2006.

6.Кочержинская Ю.В., Ильина Е.А., Великанов В.С., Логунова О.С. Основы теории управления. Моделирование систем автоматического управления в среде MATLAB – SIMULINK. Лабораторный практикум / Магнитогорск, 2016. Том Часть 3.

7. Кочержинская Ю.В., Ильина Е.А., Великанов В.С., Логунова О.С. Основы теории управления. моделирование систем автоматического управления в среде MATLAB – SIMULINK. Лабораторный практикум / Магнитогорск, 2016. Том Часть 2.

8. Основы теории управления. Структурная схема и математическое описание САУ : практикум. Ч. 1 / Ю. В. Кочержинская, Е. А. Ильина, В. С. Великанов, О. С. Логунова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=2584.pdf&show=dcatalogues/1/1130400/2584.pdf&view=true (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный.

9. Логунова О.С., Ильина Е.А., Великанов В.С. Теория нечетких множеств. Электронное издание / Магнитогорск, 2016.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Windows 7 Professional (для классов)	Д-757-17 от 27.06.2017	27.07.2018
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Электронные плакаты по дисциплине "Электротехника"	К-278-11 от 15.07.2011	бессрочно
Электронные плакаты по дисциплине "Электротехника"	Д-903-13 от 14.06.2013	бессрочно

Электронные плакаты по дисциплине "Основы метрологии и электрические измерения"	Д-903-13 от 14.06.2013	бессрочно
Электронные плакаты по курсу "Автоматизированные системы управления на основе микропроцессорных технологий"	Д-903-13 от 14.06.2013	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

В соответствии с учебным планом по дисциплине предусмотрены следующие виды занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа, консультации, зачет.

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа:

- мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебные аудитории для проведения занятий для проведения практических занятий:

- мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации;
- доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

- мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации;
- доска, мультимедийный проектор, экран.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся:

- персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в интернет и с доступом в электронную образовательную среду университета.

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования:

- стеллажи для хранения учебно-наглядных пособий и учебно-методической документации.

Приложение 1

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа по освоению дисциплины необходима для углубленного изучения материала курса. Самостоятельная работа студентов регламентируется графиками учебного процесса и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов состоит из следующих взаимосвязанных частей:

1) Изучение теоретического материала в форме:
- Самостоятельное изучение учебной и научно литературы по теме
- Поиск дополнительной информации по теме (работа с библиографическим материалами, с электронными библиотеками и ЭОР, информационно-коммуникационные сети Интернет).

Остаточные знания определяются результатами сдачи зачета.

2) Подготовка к практическим занятиям и выполнение практических работ.

Самостоятельная работа выполняется студентами на основе учебно-методических материалов дисциплины.

Приложение 2

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация имеет целью определить степень достижения запланированных результатов обучения по дисциплине (модулю) за период обучения и проводится в форме зачета и экзамена.

Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-8: готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством		
Знать	теоретические основы автоматизированных систем управления производством на уровне освоения материала,	Указать один правильный ответ Вариант 1

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	представленного на лекционных занятиях теоретические основы автоматизированных систем управления производством, контролировать соответствие систем управления требованиям стандартов, представленного материала на аудиторных занятиях с дополнительным привлечением основной и дополнительной литературы теоретические основы автоматизированных систем управления производством, контролировать соответствие автоматизированных систем требованиям стандартов, представленного материала на ауди-торных занятиях с дополнительным использованием основной и до-полнительной литературы, использования возможностей информационной ресурсов	1. Какие признаки элементов САУ отражаются на ее функциональной схеме? А) Стоимость. Б) Габариты. В) Масса. Г) Выполняемая функция. Д) Инерционность. 2. Какую функцию в САУ электроприводом системы Г - Д выполняет генератор постоянного тока? А) Измерения. Б) Усиления сигнала. В) Выработки закона управления. Г) Исполнения выбранного закона управления. Д) Коррекции свойств двигателя. 3. Сколько входных и выходных параметров имеет простейшая одномерная система автоматического управления? А) 2 входа и 1 выход. Б) 2 выхода и 1 вход. В) 2 входа и 2 выхода. Г) 1 вход и 1 выход. Д) 1 вход и 3 выхода.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		4. Выходом какого функционального элемента является рассогласование? А) Измерительного. Б) Усилительного В) Исполнительного. Г) Регулирующего. Д) Элемента сравнения. 5. Что такое устойчивый элемент САУ? А) Элемент, который не опрокидывается при перевозке. Б) Элемент, у которого определенному значению входного воздействия соответствует определенное значение выходного сигнала. В) Элемент, у которого определенному значению входного воздействия соответствует определенная скорость изменения выходного сигнала. Г) Элемент, который нормально функционирует вне зависимости от срока службы. Д) Элемент, имеющий устойчивое соединение с соседними элементами. 6. Что такое типовое динамическое звено? А) Звенья одного заводского типа. Б) Звенья, описываемые дифференциальными уравнениями не выше первого порядка. В) Звенья, описываемые

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		дифференциальными уравнениями не выше второго порядка. Г). Звенья, описываемые алгебраическим уравнением. Д) Звенья, описываемые трансцендентным уравнением. 7. Что такое передаточная функция звена? А) Отношение выходной величины к входной. Б) Отношение приращения выходной величины к приращению входной. В) Отношение изображения выходного воздействия к изображению входного воздействия при нулевых начальных условиях. Г) Отношение изображения выходного воздействия к входному воздействию при нулевых начальных условиях. Д) Отношение входного потока энергии (вещества) к выходному потоку. 8. Сколько постоянных времени имеет двигатель постоянного тока независимого возбуждения? А) Одну. Б) Две. В) Три. Г

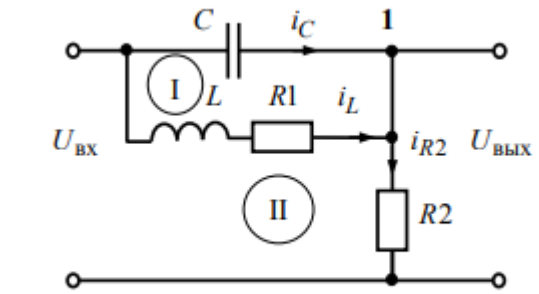
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		) Четыре. Д) Ноль 9. Что дает применение корректирующих устройств в САУ? А) Снижение стоимости САУ. Б) Стабилизация выходного воздействия САУ. В) Получение требуемых статических и динамических характеристик. Г) Делает устойчивой неустойчивую САУ. Д) Обеспечивает требуемые статические и динамические характеристики и делает устойчивой неустойчивую САУ. 10. В каком квадранте лежит АФЧХ апериодического звена первого порядка? А)1. Б) 2. В)3. Г) 4. Д) 3 и 4. 11. Каков порядок астатизма САУ с двумя интегрирующими звеньями? А) 0. Б) 1. В) 2. Г) 3. Д) 4. 12. Какую математическую функцию выполняет серводвигатель по каналу

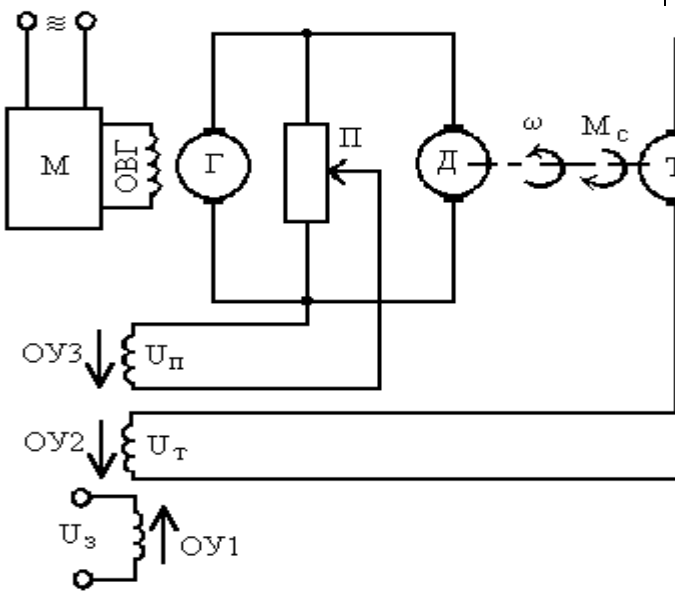
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Напряжение на якоре - Угол поворота вала? А) Суммирования. Б) Умножения. В) Интегрирования. Г) Дифференцирования. Д) Деления. 13. Какой вид имеет амплитудно- фазовая частотная характеристика реального дифференцирующего звена? А) Линии вдоль отрицательной мнимой полуоси. Б) Полуокружности в четвертом квадранте. В) Точки Г) Вытянутой полуокружности в 3 -м и 4 – м квадрантах. Д) Полуокружности в первом квадранте. 5. Что такое устойчивый элемент САУ? А) Элемент, который не опрокидывается при перевозке. Б) Элемент, у которого определенному значению входного воздействия соответствует определенное значение выходного сигнала. В) Элемент, у которого определенному значению входного воздействия соответствует определенная скорость изменения выходного сигнала. Г) Элемент, который нормально

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		функционирует вне зависимости от срока службы. Д) Элемент, имеющий устойчивое соединение с соседними элементами. 6. Что такое типовое динамическое звено? А) Звенья одного заводского типа. Б) Звенья, описываемые дифференциальными уравнениями не выше первого порядка. В) Звенья, описываемые дифференциальными уравнениями не выше второго порядка. Г). Звенья, описываемые алгебраическим уравнением. Д) Звенья, описываемые трансцендентным уравнением, 7. Что такое передаточная функция звена? А) Отношение выходной величины к входной. Б) Отношение приращения выходной величины к приращению входной. В) Отношение изображения выходного воздействия к изображению входного воздействия при нулевых начальных условиях. Г) Отношение изображения выходного воздействия к входному воздействию при нулевых начальных условиях. Д) Отношение входного потока энергии (вещества) к выходному потоку. 8. Сколько постоянных времени имеет двигатель постоянного тока независимого Б) Две.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		В) Три. Г) Четыре Д) Ноль 9. Что дает применение корректирующих устройств в САУ? А) Снижение стоимости САУ. Б) Стабилизация выходного воздействия САУ. В) Получение требуемых статических и динамических характеристик. Г) Делает устойчивой неустойчивую САУ. Д) Обеспечивает требуемые статические и динамические характеристики и делает устойчивой неустойчивую САУ. 10. В каком квадранте лежит АФЧХ апериодического звена первого порядка? А)1. Б) 2. В)3. Г) 4. Д)3и4. 11. Каков порядок астатизма САУ с двумя интегрирующими звеньями? А)0. Б) 1. В) 2. Г)3. Д)4. 12. Какую математическую функцию выполняет серводвигатель по каналу Напряжение на якоре - Угол поворота вала? А) Суммирования. Б) Умножения. В) Интегрирования.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Г) Дифференцирования. Д) Деления. 13. Какой вид имеет амплитудно-фазовая частотная характеристика реального дифференцирующего звена? А) Линии вдоль отрицательной мнимой полуоси. Б) Полуокружности в четвертом квадранте. В) Точки Г) Вытянутой полуокружности в 3 -м и 4 – м квадрантах.. Д) Полуокружности в первом квадранте. 14. Что понимается под динамикой звена или САУ? А) Изменение физических свойств звена или САУ во времени. Б) Изменение выходного параметра во времени при любом изменении входного параметра. В) Изменение входного параметра во времени при каком-либо изменении выходного параметра. Г) Перемещение звена в пространстве. Д) Форсирование переходных процессов звена. 15. Какие корни характеристического

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		уравнения определяют неустойчивую линейную САУ? А) Все корни положительные. Б) Вещественные корни отрицательные, а вещественные части комплексных корней положительны. В) Вещественные корни положительные, а вещественные части комплексных корней отрицательны. Г) Вещественные корни отрицательные, и вещественные части комплексных корней отрицательны. Д) Все комбинации по ответам А), Б), В).
Уметь	корректно разрабатывать необходимую техническую документацию по внедрению систем управления выделять основные положения автоматизированных систем управления производством самостоятельно приобретать дополнительные знания и умения; использовать знания на междисциплинарном уровне	Пример 1. Определить передаточную функцию пассивного четырехполюсника, электрическая схема которого приведена на рис.1, при 1R =100 Ом, 2 R = 200 Ом, C = 20 мкФ, L = 45 мГн, типовые динамические звенья, входящие в структуру этого четырехполюсника, и параметры этих звеньев.  Рис. Схема пассивного четырёхполюсника
Владеть	основными подходами по внедрению автоматизированных систем	. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ Все задачи, решаемые в теории

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	управления производством практическими навыками по внедрению автоматизированных систем управления производством навыками и методиками обобщения результатов решения; способами оценивания значимости и практической при-годности полученных результатов	автоматического управления, можно объединить в два больших класса - задачи анализа и задачи синтеза автоматических систем. В настоящее время наибольшее распространение нашли частотные методы анализа и синтеза. В данной курсовой работе решаются задачи анализа, когда известны принципиальная схема и все основные параметры системы и требуется описать ее математически. Принципиальная схема САУ приведена на рис.1, откуда видно, что она предназначена для автоматической стабилизации скорости вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения.  Рис.1. Принципиальная схема САУ скоростью вращения двигателя постоянного тока Номер варианта принимается студентами дневного обучения по номеру своей фамилии в списке группы, а заочниками - по последней цифре своего шифра по данным табл.1. Таблица 1 Варианты исходных данных для расчетов САУ

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства

Номер вари-анта	М	Г		Д				П	Т	Критерий устойчи-вости	П а Д ра и е
	$K_м$	$k_г$	$T_г$	$k^z_д$	$k^f_д$	$T_я$	$T_м$	$k_н$	$K_с$		
1	40	4,0	0,1	4,0	2,9	0,04	0,1	0,20	0,50	Михай-лова	
2	32	5,0	0,8	4,2	3,1	0,05	0,5	0,25	0,50	-||-	
3	100	3,0	0,3	2,0	4,0	0,01	0,2	0,30	0,30	-||-	
4	50	2,0	0,2	5,0	2,5	0,03	0,4	0,50	0,20	-||-	
5	75	3,0	0,5	4,5	5,0	0,07	0,2	0,60	0,60	-||-	
6	60	4,0	0,6	3,0	2,8	0,02	0,1	0,51	0,40	-||-	
7	55	4,0	0,2	3,6	6,0	0,09	0,3	0,66	0,15	Найк-виста	
8	48	4,0	0,6	4,1	2,1	0,10	0,3	0,48	0,22	-||-	
9	99	3,0	0,3	2,5	4,4	0,12	0,2	0,33	0,45	-||-	
10	52	6,0	0,2	3,1	6,2	0,03	0,2	0,36	0,66	-||-	
11	66	5,0	0,3	4,3	2,8	0,06	0,2	0,44	0,56	-||-	
12	45	6,0	0,3	2,4	2,7	0,08	0,3	0,45	0,28	-||-	
13	62	4,0	0,3	4,4	3,3	0,11	0,4	0,77	0,32	Гурвица	
14	68	4,0	0,2	2,3	7,0	0,15	0,5	0,68	0,44	-||-	
15	74	3,0	0,3	3,3	7,5	0,19	0,2	0,24	0,56	-||-	
16	69	3,0	0,4	2,8	6,9	0,17	0,2	0,48	0,38	-||-	
17	95	2,0	0,2	4,6	3,0	0,16	0,3	0,56	0,41	-||-	
18	77	4,0	0,2	2,7	4,5	0,18	0,4	0,65	0,65	-||-	

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства

19	70	4,0	0,3	4,6	7,0	0,20	0,5	0,42	0,59	Раусса	
20	58	6,0	0,2	2,9	2,7	0,17	0,5	0,35	0,61	-||-	
21	88	3,0	0,3	4,8	3,6	0,22	0,4	0,29	0,55	-||-	
22	40	3,4	0,1	3,8	3,7	0,13	0,3	0,22	0,35	-||-	
23	44	3,8	0,2	2,8	3,3	0,19	0,2	0,23	0,46	-||-	
24	48	3,3	0,4	4,5	4,6	0,21	0,4	0,45	0,50	-||-	

При выполнении курсовой работы следует принять следующие единые обозначения элементов, воздействий, параметров и т.п.:

М - магнитный усилитель суммирующий с обмотками управления ОУ1, ОУ2 и ОУЗ;

Г - генератор постоянного тока с обмоткой возбуждения ОВГ;

Д - двигатель постоянного тока с обмоткой независимого возбуждения ОВД;

Т - тахогенератор;

П - потенциометр;

$U_з$ - напряжение задания;

ω - частота вращения двигателя;

M_c - момент сопротивления (статический) на валу двигателя, обусловленный нагрузкой рабочей машины (на схеме рабочая машина не показана);

$k_м$- коэффициент передачи магнитного усилителя;

$k_Т$, $T_г$ - коэффициент передачи и постоянная времени генератора;

$k_Д^z$, $K_д^f$ - коэффициенты передачи по управляющему и возмущающему воздействиям двигателя;

$T_я$, $T_м$- электромагнитная и электромеханическая постоянные времени двигателя;

$k_Т$ - коэффициент передачи тахогенератора;

$k_П$ - коэффициент передачи потенциометра, осуществляющего обратную связь по напряжению генератора;

$e_г$, $e_д$ - ЭДС генератора и двигателя;

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		U_M, $U_Г$, $U_Д$ - выходные напряжения магнитного усилителя, генератора и напряжение на якоре двигателя; $U_П$, $U_С$ - напряжения, пропорциональные напряжению генератора и частоте вращения двигателя; ΔU - напряжение рассогласования (статическая ошибка регулирования). Обозначения остальных величин (сопротивлений, индуктивностей и т.п.) принимаются как общепринятые из технической литературы.
ПК-16: готовностью выполнять экспериментальные и лабораторные исследования, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты		
Знать	методики определения статических и динамических характеристик объектов управления и их математического описания, использовать методики для проведения лабораторных исследований инженерные методы анализа систем автоматического управления, а также основы экспериментальных методов исследования автоматических систем управления. инженерные методы анализа и синтеза систем автоматического управления, а также основы экспериментальных методов исследования автоматических систем управления и регулирования технологических процессов горного производства и электроприводов горных	Вариант 2 1. Что такое автоматическое управляющее устройство? А) Техническое устройство, предназначенное осуществлять управление с участием человека. Б) Техническое устройство, осуществляющее операцию управления без непосредственного участия человека. В) Аппаратура для управления электродвигателем механизма. Г) Техническое устройство для усиления управляющих сигналов. Д) Техническое устройство для исполнения выбранного закона управления 2. Как изменяется коэффициент передачи статического звена при охвате его отрицательной обратной связью? А) Не изменяется,

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	машин.	Б) В начале переходного процесса уменьшается, а затем стабилизируется. В) Уменьшается на определенную величину. Г) Увеличивается по экспоненте. Д) Изменяется по синусоиде. 3. Выходом какого элемента является регулирующее воздействие? А) Измерительного. Б) Усилительного В) Исполнительного. Г) Регулирующего. Д) Элемента сравнения. 4. Какие части магнитного усилителя могут исполнять роль элемента сравнения (сумматора)? А) Обмотка управления. Б) Рабочие обмотки. В) Совокупность используемых обмоток управления и магнитопровод. Г) Совокупность рабочих обмоток, обмоток управления и магнитопровода. Д) Корпус магнитного усилителя. 5. Какова единица измерения постоянной времени?

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		А) с. Б) $с^{-1}$. В)м. Г) т. Д) м/с. 6. Как получить выражение для АФЧХ из передаточной функции? А) Умножением числителя и знаменателя передаточной функции на сопряженный знаменатель. Б} Заменой *p* на *iw*. В) Заменой на *p iw*. Г) Делением передаточной функции на *iw*. Д) Делением передаточной функции на *p*. 7. Сколько постоянных времени имеет генератор постоянного тока независимого возбуждения? А) Одну. Б) Две. В) Три. Г) Четыре. Д)Ноль. 8. От наличия какого типового звена в контуре САУ зависит астатизм системы? А). Безынерционного. Б) Апериодического.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		В) Интегрирующего. Г) Дифференцирующего. Д) Запаздывающего. 9. Какие корни характеристического уравнения определяют устойчивость линейных САУ? А) Все корни положительны. Б) Вещественные корни отрицательны, а вещественные части комплексных корней положительны. В) Вещественные корни положительны а вещественные части комплексных корней отрицательны. Г) Вещественные корни отрицательные, а вещественные части комплексных корней отрицательны. Д) Один вещественный корень равен нулю. 10. Как записать операторное уравнение системы по каналу *x* - y? А) $y=W(p)x$. Б) $x=W(p)y$. В) $y=W(p)/x$. Г) $y=\Sigma W(p)$. Д) $y=W(p)^x$. 11. В каком квадранте лежит АФЧХ звена

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		второго порядка? А)1. Б) 2. В)3. Г) 4. Д)3 и 4. 12. Какой вид имеет амплитудно-фазовая частотная характеристика безынерционного звена? А) Линия вдоль отрицательной мнимой полуоси. Б} Полуокружность в четвертом квадранте. В) Точка. Г) Вытянутая полуокружность в 3 -м и 4 - м квадрантах.. Д) Полуокружность в первом квадранте. 13. Какой вид имеет амплитудно-фазовая частотная характеристика идеального интегрирующего звена? А) Линия вдоль отрицательной мнимой полуоси. Б) Полуокружность в четвертом квадранте. В) Точка. Г) Вытянутая полуокружность в 3 -м и 4 - м квадрантах. Д) Полуокружность в первом квадранте. 14. Какую математическую функцию

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		выполняет элемент сравнения? А) Суммирования. Б) Умножения. В) Интегрирования. Г) Дифференцирования. Д) Деления. 15. Какие свойства автоматической системы принято рассматривать для оценки ее качества? А) Стоимостные и массогабаритные свойства. Б) Потребительские свойства. В) Свойства в динамическом режиме работы. Г) Свойства в, установившемся режиме работы. Д) Свойства в установившемся и переходном режимах. Вариант 3 1. Что такое объект управления? А) Любой технологический процесс. Б) Любое техническое устройство. В) Техническое устройство, в котором

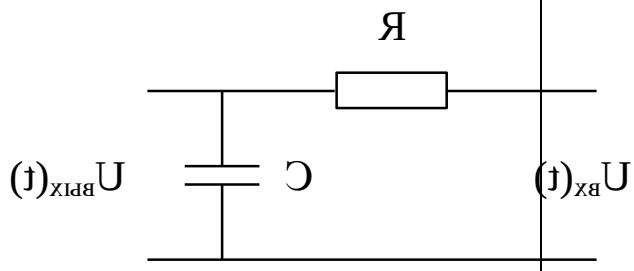
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		происходит процесс, подлежащий управлению. Г) Техническое устройство, находящееся на некотором удалении от оператора. Д) Техническое устройство в опасной для человека зоне. 2. Сколько входных и выходных параметров имеет одномерный объект управления? А) 2 входа и 1 выход. Б) 2 выхода и 1 вход. В) 2 входа и 2 выхода. Г) 1 вход и 1 выход. Д) 1 вход и 3 выхода. 3. Каков коэффициент передачи звена, если приращению входного сигнала 5 В соответствует приращение выходного, равное 100 В? А) 500. Б) 20. В) 95. Г) 105. Д) 0,002. 4. В чем заключается свойство однонаправленности элемента системы автоматического управления? А) Выходное воздействие устанавливается в зависимости от входного сигнала. Б) Входной сигнал определяет динамику выходного сигнала. В) Сигнал может проходить через

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		элемент как от входа к выходу, так и от выхода к входу. Г) Элемент пропускает сигнал только от входа к выходу. Д) Элемент только суммирует входной сигнал во времени. 5. Как называется числитель передаточной функции? А) Характеристическое уравнение. Б) Алгебраический полином. В) Характеристический полином. Г) Характеристическая матрица. Д) Входной полином (оператор). 6. Что учитывает постоянная времени элемента в ТАУ? А) Инерцию. Б) вес. В) Физические размеры данного элемента. Г) Способность накапливать энергию или вещество. Д) Массу элемента. 7. При каком соотношении постоянных времени T_1 и T_2 апериодическое звено 2-го

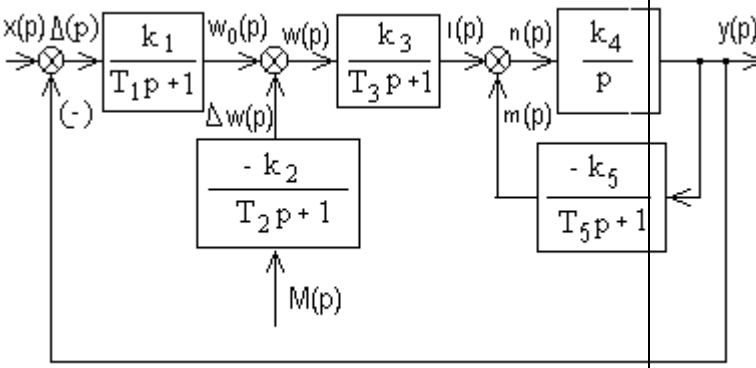
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		порядка становится колебательным? А) $T_1 < T_2$. Б) $T_1 > T_2$. В) $T_2 > T_1$. Г) $2T_2 > T_1$. Д) $2T_2 = T_1$. 8. Каково значение фазовой частотной характеристики апериодического звена первого порядка при частоте w =1/ T? А) 30°. Б) 45°. В)0°. Г) 60°. Д) 90°. 9. Что такое амплитудно- фазовая частотная характеристика (АФЧХ)? А) АФЧХ показывает, как изменяется амплитуда и фаза выходного сигнала при изменении частоты входного сигнала. Б) Это отношение выходной величины к входной. В) АФЧХ показывает, как изменяется амплитуда и фаза выходного сигнала при изменении амплитуды и фазы выходного сигнала. Г) Это функция, описывающая реакцию звена при подаче на вход произвольного воздействия. Д) Функция, описывающая реакцию звена при подаче на вход единичного ступенчатого воздействия.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		10. Какую математическую функцию выполняет трансформатор в цепи постоянного тока? А) Суммирования. Б) Умножения. В) Интегрирования. Г) Дифференцирования. Д) Деления.
Уметь	рационально подбирать и использовать научно-техническую информацию при при проведении лабораторных исследований Анализировать и использовать научно-техническую информацию необходимую при проведении экспериментальных и лабораторных исследованиях, интерпретировать полученные результаты Разрабатывать методики экспериментальных и лабораторных исследований, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты	Пример Определить значение запаса устойчивости по фазе Δϕ (ω) на частоте среза ωср для звена с передаточной функцией $W(p)=\frac{k(\tau p+1)}{Tp+1}$ при $k=2$, $T=0{,}1$ с, $\tau=0{,}02$ с (ответ привести в градусах с точностью до десятых).
Владеть	основными подходами по проведению экспериментальных и	КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ САУ

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	лабораторных исследований практическими навыками по проведению экспериментальных и лабораторных исследований, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты навыками и методиками обобщения результатов решения; способами оценивания значимости и практической пригодности полученных результатов	Различают следующие основные режимы работы любой САУ: исходный режим, когда входные воздействия равны нулю или постоянной величине, все источники питания энергией включены; переходный режим (разгон), в частности без нагрузки, при подаче напряжения задания; переходные режимы при набросе или сбросе нагрузки; переходные режимы при изменении задания. В этой же последовательности необходимо кратко описать работу (взаимодействие элементов) САУ, обращая внимание на изменения входных и выходных воздействий элементов по всему контуру управления. Наиболее распространенными являются принципы построения САУ по отклонению регулируемой величины от задания (так называемый компенсационный принцип Ползунова-Уатта), по возмущению (принцип Понселе-Чиколева) и комбинированный принцип. Системы, построенные по первому и третьему принципам, получаются замкнутыми, а по второму - разомкнутыми, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. Здесь необходимо доказательно описать принцип построения САУ и оценить достоинства и недостатки этой САУ. ПОЛУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ САУ И ВЫВОД ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ЗВЕНЬЕВ Система автоматического управления может включать в себя механические, электрические, гидравлические элементы, которые взаимодействуют между собой по сложным законам механики, электротехники, гидравлики, и это взаимодействие выражается в преобразовании и передаче одного вида энергии в энергию другого вида. Первым этапом при исследовании и проектировании САУ является составление математического описания (математической модели) элементов и системы в целом. Составление математического описания конструктивного элемента системы состоит из

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		следующих последовательных процедур: - принятие исходных допущений; - выбор входных и выходных переменных (воздействий); - выбор системы отсчета для каждой переменной; рассмотрение физической закономерности преобразования энергии или вещества в математической форме. Первичной формой математического описания передаточных свойств элементов являются обыкновенные дифференциальные уравнения (линейные или нелинейные) или дифференциальные уравнения с частными производными в зависимости от их физических свойств. Получим, например, дифуравнение и передаточную функцию пассивной R-C цепочки, изображенной ниже.  Выберем в качестве входного параметра напряжение, подаваемое на вход четырехполюсника $U_{вх}$, а в качестве выходного $U_{вых}$ - напряжение, снимаемое с конденсатора. Примем также, что потери энергии в R и C малы, т.е. в установившемся состоянии напряжения входа и выхода равны между собой. Тогда коэффициент передачи звена как равен $$k = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх} = 1.$$ Естественно, что на вход четырехполюсника можно подать напряжения обоих полярностей от нуля до какого-то номинального значения, на которое рассчитаны R и C по изоляции и нагреву. По закону Ома $U_{вх}$ тратится на потерю напряжения на резисторе R и заряд конденсатора C

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		$U_{вх}(t) = Ri(t) + U_c(t)$. Как указано выше, выходным сигналом является напряжение на конденсаторе $U_{вых}(t) = U_c(t)$. Ток процесса заряда конденсатора определяется уравнением [6] $i(t) = C\frac{dU_c(t)}{dt} = C\frac{dU_{вых}(t)}{dt}$. Последовательно исключая из первого уравнения промежуточные переменные $U_c(t)$ и $i(t)$, получим $U_{вх}(t) = RC\frac{dU_{вых}(t)}{dt} + U_{вых}(t)$. Представим $U_{вх}(t) = 1 \cdot U_{вх}(t)$ и обозначим 1 как k (коэффициент передачи), а произведение RC как T (постоянная времени) звена, и применим к полученному выше дифференциальному уравнению прямое преобразование Лапласа принулевых начальных условиях $kU_{вх}(p) = TpU_{вых}(p) + U_{вых}(p)$, или, после вынесения изображения выходного воздействия за скобки, получим $kU_{вх}(p) = (Tp + 1)U_{вых}(p)$. Тогда из последнего уравнения передаточная функция звена $W(p)$ определяемая как отношение изображения выходного воздействия к изображению входного при нулевых начальных условиях $\frac{U_{вых}(p)}{U_{вх}(p)} = W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$. Примеры выполнения этой части курсовой работы приведены в [3, с.118 - 120], [1, с.32 - 35], [2], [7] и т.п. Следует отметить, что в указанной литературе вывод дифференциальных уравнений и получение передаточных функций даны без подробностей, т.е. без промежуточных выкладок. Поэтому здесь надо привести полный ход получения дифференциальных уравнений всех элементов и их передаточных функций с учетом того, что объект управления имеет две передаточные

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		функции – по управляющему $W_o^z(p)$ и возмущающему воздействиям $W_o^f(p)$ и магнитный усилитель условно не имеет инерционности, т.е. $T_{му} = 0$ (исходные данные для каждого варианта приведены в табл.1). СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ САУ Общность математических выражений, связывающих входные и выходные величины отдельных элементов различной физической природы, позволяет выделить ограниченное число так называемых типовых динамических звеньев и составить структурную схему системы. Следует отметить, что одна и та же структурная схема может описывать разные системы (различной физической природы, принципа действия и исполнения), что позволяет использовать унифицированные методы их исследования и расчета. Исходя из принципиальной схемы и полученных передаточных функций *W(p)* элементов в п.3.4, нужно составить структурную схему, как это показано на рис 3 для произвольной системы. На этой же схеме указывают изображения всех воздействий. Полученную структурную схему можно преобразовывать и приводить к удобному для исследований виду, пользуясь правилами структурных преобразований.  Рис. 3. Пример структурной схемы САУ

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Как видно из схемы, замкнутая САУ имеет два входа и один выход, поэтому имеет две передаточные функции (по управляющему *x(p)* и возмущающему *M(p)* воздействиям относительно одного и того же выхода). При получении передаточной функции по одному входу другой вход считается неизменным, т.е. его изображение равно нулю. Основные правила преобразования приведены ниже: - последовательно соединенные звенья $W_1(p)$ и $W_2(p)$ можно заменить одним эквивалентным звеном с передаточной функцией $$W(p) = W_1(p)W_2(p); \quad (1)$$ - параллельно соединенные звенья $W_1(p)$ и $W_2(p)$ можно заменить эквивалентным звеном с передаточной функцией $$W(p) = W_1(p) + W_2(p); \quad (2)$$ - основное передающее звено с передаточной функцией $W_1(p)$, охваченное обратной связью с помощью звена с передаточной функцией $W_2(p)$, можно заменить эквивалентным звеном $$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_2(p)W_1(p)}. \quad (3)$$ В последней формуле знак “+” ставится при отрицательной обратной связи, а "-" при положительной. В некоторых случаях весьма удобно упростить полученное выражение для передаточной функции эквивалентного звена, особенно при охвате одного звена жесткой обратной связью. Например, пусть основное звено имеет передаточную функцию после подстановки численных значений *k* и *T* апериодического звена первого порядка $$W_1(p) = \frac{4}{0{,}5p+1},$$ а звено обратной связи $$W_2(p) = 0{,}6,$$ т.е. обратная связь жесткая отрицательная. Тогда согласно третьему правилу структурных

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		преобразований при отрицательной обратной связи после подстановки выражения для передаточных функций соответствующих динамических звеньев имеем $$W(p)=\frac{\frac{4}{0{,}5p+1}}{1+0{,}6\frac{4}{0{,}5p+1}}=\frac{\frac{4}{0{,}5p+1}}{\frac{0{,}5p+1+2{,}4}{0{,}5p+1}}=\frac{\frac{4}{0{,}5p+1}}{\frac{0{,}5p+3{,}4}{0{,}5p+1}}$$, или, после сокращения знаменателей, $$W(p)=\frac{4}{0{,}5p+3{,}4},$$ т.е. получилась передаточная функция, которую после деления числителя и знаменателя на свободный член знаменателя можно представить как передаточную функцию типового динамического звена $$W(p)=\frac{1{,}17}{0{,}147p+1}.$$ Последовательно применяя вышеприведенные правила в соответствии с видом соединений элементов в вашей схеме, в преобразованной структурной схеме нужно получить передаточные функции: - разомкнутой системы (при мысленном разрыве цепи главной обратной связи после измерительного элемента, т.е. считая выходной величиной САУ не частоту вращения двигателя ω, а ее измеренное значение U_T); - замкнутой системы по управляющему и возмущающему воздействиям; - передаточную функцию системы по ошибке. После этого необходимо выписать многочлен *F(p)*, равный знаменателю передаточной функции замкнутой САУ в буквенных обозначениях, т.е. характеристический полином. Приравняв этот характеристический полином нулю получают характеристическое уравнение.
ПСК-10.1: способностью и готовностью создавать и эксплуатировать электротехнические системы горных предприятий, включающие в себя комплектное электрооборудование		

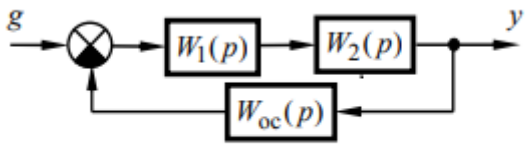
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
закрытого и рудничного исполнения, электрические сети открытых и подземных горных и горно-строительных работ, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций		
Знать	теоретические подходы в создании САУ в составе творческих коллективов и самостоятельно, контролировать соответствие проектов требованиям стандартов на уровне освоения материала, представленного на лекционных занятиях теоретические подходы в создании и эксплуатации САУ в составе творческих коллективов и самостоятельно, контролировать соответствие проектов требованиям стандартов, представленного материала на аудиторных занятиях с дополнительным привлечением основной и дополнительной литературы теоретические подходы в создании и эксплуатации САУ в составе творческих коллективов и самостоятельно, контролировать соответствие проектов требованиям стандартов, представленного материала на аудиторных занятиях с дополнительным использованием основной и дополнительной литературы, использования возможностей информационной ресурсов	Вариант 4 1. Какими параметрами характеризуется одномерный объект управления? А) Управляемой величиной. Б) Управляемой величиной и управляющей величиной. В) Управляющей и управляемой величин и возмущающим воздействием Г) Конструктивными параметрами и управляемым параметром. Д) Массогабаритными параметрами и сложностью элементов. 2. Какой знак имеет коэффициент передачи объекта по возмущающему воздействию? А) Положительный. Б) Отрицательный, В) Не имеет знака. Г) Как положительный, так и отрицательный. Д) Нет ответа. 3. Каким свойством должен обладать хотя бы один элемент САУ? А) Усиления.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Б) Высокоточного измерения, В) Точного исполнения выработанного закона управления. Г) Детектирования (однонаправленности). Д) Низкой стоимости. 4. Входом какого функционального элемента является задание? А) Измерительного. Б) Усилительного В) Исполнительного. Г) Регулирующего. Д) Элемента сравнения. 5. С помощью какого устройства измеряется величина напряжения постоянного тока в системах автоматического регулирования? А) Амперметра. Б) Трансформатора напряжения. В) Шунта. Г) Вольтметра. Д) Потенциометра. 6. Каково значение амплитудной частотной характеристики статического звена на нулевой частоте?

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		А) 0. Б) 1. В) k. Г) T. Д) kT. 7. Как называется знаменатель передаточной функции? А) Характеристическое уравнение. Б) Алгебраический полином. В) Характеристический полином. Г) Характеристическая матрица. Д) Входной полином. 8. Что такое переходная функция звена? А) Отношение выходной величины к входной. Б) Отношение приращения выходной величины к приращению входной. В) Отношение изображения выходного воздействия к изображению входного воздействия при нулевых начальных условиях. Г) Функция, описывающая реакцию звена при подаче на вход произвольного воздействия. Д) Функция, описывающая реакцию звена при подаче на вход единичного ступенчатого воздействия. 9. Сколько коэффициентов передачи имеет одномерный объект управления? А) Одну. Б) Две. В) Три. Г) Четыре. Д) Ноль.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		10. Как подключается последовательное корректирующее устройство? А) Параллельно. Б) Последовательно. В) Последовательно - параллельно. Г) В виде обратной связи, т.е. встречно - параллельно. Д) К входу всей САУ. 11. Как можно уменьшить величину статической ошибки замкнутой статической САУ, представленной в виде САУ с единичной главной обратной связи? А) Уменьшением коэффициента передачи замкнутой САУ. Б) Увеличением коэффициента передачи разомкнутой САУ. В) Увеличением сигнала задания. Г) Уменьшением величины возмущающего воздействия. Д) Увеличением сигнала задания и уменьшением величины возмущающего воздействия. 12. Какой вид имеет амплитудно- фазовая частотная характеристика звена 2-го порядка? А) Линии вдоль отрицательной мнимой полуоси. Б) Полуокружности в четвертом квадранте.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		В) Точки. Г) Вытянутой полуокружности в 3 -м и 4 –м квадрантах. Д) Полуокружности в первом квадранте. 13. При каком соотношении постоянных времени T_1 и T_2 колебательное становится апериодическим звеном 2-го порядка? А) $T_1 < T_2$. Б) $T_{1)} > T_2$. В) $T_2 > T_1$. Г) $2T_2 > T_1$. Д) $2T_2 = T_1$. 14. При каких корнях характеристического уравнения линейная САУ находится на границе устойчивости? А) Все корни положительные. Б) Вещественные корни отрицательные, а вещественные части комплексных корней положительны. В) Вещественные корни положительные, а вещественные части комплексных корней отрицательны. Г) Вещественные корни отрицательные, и вещественные части комплексных корней отрицательны. Д) Один вещественный корень или вещественная часть одного комплексного корня равняется нулю.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		15. Как ведет себя вынужденная составляющая переходного процесса статической САУ во времени? А) Линейно возрастает до коэффициента передачи разомкнутой САУ. Б) Линейно возрастает до коэффициента передачи замкнутой САУ. В) Мгновенно возрастает до коэффициента передачи разомкнутой САУ. Г) Мгновенно возрастает до коэффициента передачи замкнутой САУ. Д) Не изменяется во времени.
Уметь	корректно разрабатывать необходимую техническую документацию в создании, эксплуатации систем управления выделять основные положения в системах управления процессами горных предприятий самостоятельно приобретать дополнительные знания и умения; использовать знания на междисциплинарном уровне	Пример. Оценить устойчивость САУ, структурная схема которой приведена на рис., и определить граничное значение её коэффициента передачи (с точностью до десятых) при $W_1(p)=\frac{k_1(\tau_1 p+1)}{T_1 p+1}$, $W_2(p)=\frac{k_2}{T^2p^2+2\xi T_2 p+1}$, $W_{oc}(p)=$ $k_1=5$, $k_2=10$, $k_{oc}=0,5$, $T_1=0,5$ с, $\tau_1=0,06$ с, $T_2=0,$ $\xi=0,5$.  Структурная схема САУ к примеру
Владеть	основными методиками в создании, эксплуатации САУ практическими навыками в разработке и создании, эксплуатации САУ	УСТОЙЧИВОСТЬ САУ И Д-РАЗБИЕНИЕ В ПЛОСКОСТИ ОДНОГО ПАРАИЕТРА Устойчивость САУ является наиболее

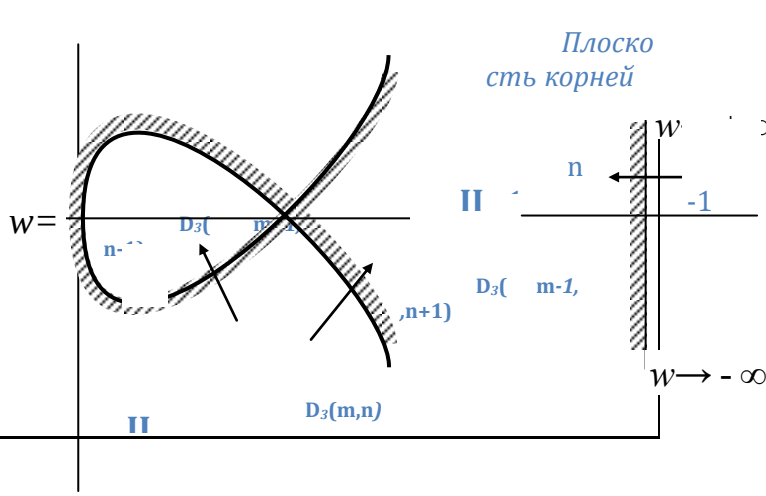
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	навыками и методиками обобщения результатов решения; способами оценивания значимости и практической пригодности полученных результатов	важным свойством, определяющим ее работоспособность. Под устойчивостью понимают способность системы возвращаться в состояние установившегося равновесия после нанесения или снятия внешних воздействий, нарушивших существовавшее до этого равновесие. Как известно из курсов высшей математики и ТОЭ, свободное движение системы описывается однородным дифференциальным уравнением, и система является устойчивой, если свободная составляющая переходного процесса $X_c(t)$ с течением времени стремится к нулю $$Lim X_c(t) = 0 \quad (4)$$ $$t \to \infty$$ Очевидно, что при этом выходная величина системы будет стремиться к принужденной составляющей, определяемой внешним воздействием (правой частью полного дифуравнения системы). Решение однородного дифуравнения равно сумме $$X_c(t) = \sum_{k=1}^{r} C_k e^{p_k t} + \sum_{l=1}^{s} A_l e^{\alpha_l t} \sin(\omega_l t + \varphi_l),$$ где C_k, A_1, φ_l - постоянные, зависящие от начальных условий; p_k,, $\alpha_l \pm j\omega_l$ - вещественные и пары комплексных корней характеристического уравнения (знаменателя передаточной функции замкнутой системы $F(p)$, приравненного к нулю) $$F(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \ldots + a_n = 0, \quad (6)$$ где n - порядок характеристического уравнения. Очевидно, переходная составляющая $X_c(t)$ по формуле (5) будет стремиться к нулю лишь в том случае, если вещественные p_k корни или вещественные части α_l комплексных

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		корней отрицательны, т.е. для оценки устойчивости САУ необходимо вычислять эти корни. Однако не всегда удобно вычислять корни, поэтому устойчивость систем проверяют косвенными методами по алгебраическим (Раусса и Гурвица) или частотным (Найквиста и Михайлова) критериям устойчивости, которые позволяют судить о знаках корней без решения самого дифуравнения. Для определения устойчивости по алгебраическим критериям необходимо получить характеристическое уравнение, т.е. приравнять к нулю знаменатель передаточной функции (6) замкнутой САУ. При применении критерия Раусса составляют так называемую таблицу Раусса, в первой строке которой (i = 1) записывают коэффициенты уравнения с четными индексами, начиная с a_o, во второй (i =2) - с нечетными индексами, начиная с a_1, а в последующих строках ($i \geq 3$) помещают коэффициенты Раусса, вычисляемые как комбинации двух вышестоящих строк $$r_{ik} = r_{i-2,k+1} - \frac{r_{i-2,1} r_{i-1,k+1}}{r_{i-1,1}},$$ где i - номер строки, k - номер колонки.

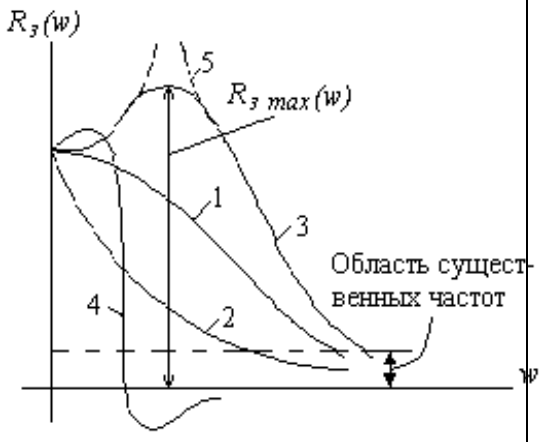
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Практическая формулировка критерия: САУ устойчива, если все элементы первого столбца таблицы Раусса положительны. Если не все элементы первого столбца положительны, то система неустойчива, причем число перемен знака среди этих коэффициентов соответствует числу правых (положительных) корней характеристического уравнения. Согласно критерию Гурвица, автоматическая система, описываемая характеристическим уравнением вида (6), устойчива, если при $a_0 > 0$ все определители Гурвица $\Delta_1, \Delta_2, \ldots, \Delta_n$ матрицы вида $$\Delta i = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_{2i-1} \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_{2i-2} \\ 0 & a_1 & a_3 & a_{2i-3} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 \ldots & \ldots a_{i-2} & & a_i \end{vmatrix}, \quad i = 1, 2, \ldots, n$$ положительны. Если хотя бы один из n определителей Гурвица отрицателен, то система неустойчива. Если главный определитель $\Delta_n = 0$, а все остальные определители положительны, то система находится на границе устойчивости. Частотный критерий Михайлова использует в качестве основы принцип аргумента. Порядок исследования САУ на устойчивость по критерию Михайлова: 1. Получают характеристическое уравнение замкнутой системы автоматического управления вида (6) и заменяют p на $j\omega$ соответствующей степени

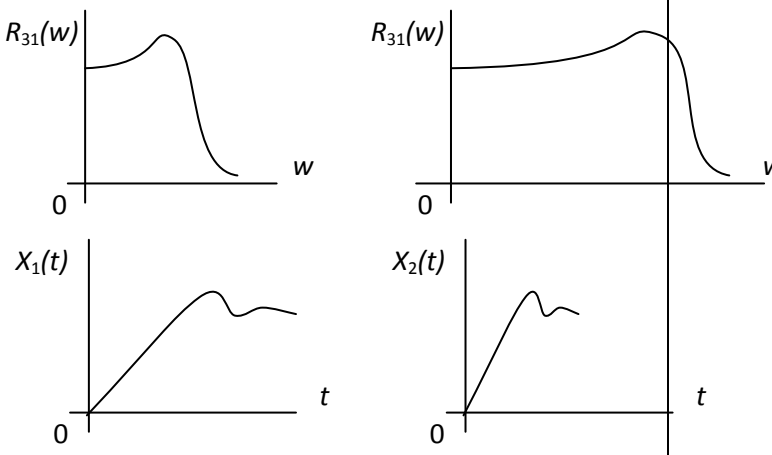
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		$F(j\omega) = a_o(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + a_2(j\omega)^{n-2} + ... + a_n = 0.$ (7) 2. Выделяют из (7) вещественные (четные степени ($j\omega$) и свободный член a_n, не зависящие от j) и мнимые (нечетные степени ($j\omega$), зависящие от j) части $F(j\omega) = R(\omega) + J(\omega).$ 3. Задаваясь частотой ω от 0 до ∞ на комплексной плоскости (j,1) строят характеристическую кривую (годограф Михайлова), соединяя плавной линией точки с координатами $R(\omega)$ и $J(\omega)$. При этом около каждой точки необходимо записать как пару координат, так и значение частоты ω, при которой эта пара получена. 4. По виду годографа Михайлова судят об устойчивости САУ в соответствии со следующей формулировкой: Замкнутая САУ устойчива, если годограф Михайлова при изменении частоты ω от 0 до ∞, начинаясь с вещественной положительной полуоси, последовательно против часовой стрелки проходит n квадрантов, где n - порядок характеристического уравнения. Частотный критерий Найквиста также основан на принципе аргумента, но использует построение годографа амплитудно-фазовой частотной (АФЧХ) характеристики $W(j\omega)$ разомкнутой системы в следующей последовательности: 1. Получают передаточную функцию разомкнутой САУ при размыкании цепи главной обратной связи, считая, что выходной величиной системы является ее измеренное значение, т.е. измерительный элемент как бы находится внутри объекта управления. 2. Заменяют p на $j\omega$ соответствующей степени и выделяют вещественную $R(\omega)$ и мнимую $J(\omega)$ составляющие. 3. Задаваясь частотой ω от 0 до ∞, рассчитывают и строят годограф АФЧХ разомкнутой САУ, по виду которого судят об

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		устойчивости: Если разомкнутая САУ устойчива, то для устойчивости замкнутой САУ необходимо и достаточно, чтобы годограф АФЧХ разомкнутой САУ при изменении ω от 0 до ∞ не охватывал точку (-1,j 0). Проверку устойчивости САУ по своему критерию необходимо привести полностью со всеми выкладками и расчетами. Метод Д-разбиения применяется для выяснения того, в каких пределах можно изменять тот или иной параметр звена, чтобы САУ оставалась (или стала, если она неустойчива) устойчивой. Для этого надо переписать выражение для $F(p)$, полученное в п.3.5 в буквенных обозначениях, разрешить относительно того параметра (обозначим как μ), который для вашего варианта задан в табл.1 и приравнять его к нулю. Тогда характеристическое уравнение примет вид $$F(p) = P(p) + \mu Q(p) = 0,$$ где $P(p)$, $Q(p)$ - многочлены (части) характеристического уравнения, не зависящие и зависящие от параметра Д- разбиения μ для вашего варианта. Граница Д-разбиения находится путем замены p на $j\omega$ $$F(j\omega) = P(j\omega) + \mu Q(j\omega) = 0,$$ решения его относительно μ $$\mu = \frac{P(j\omega)}{Q(j\omega)},$$ выделения из последнего выражения вещественной и мнимой частей (путем умножения его числителя и знаменателя на комплексно-сопряженное выражение знаменателя) и представления его в виде $$\mu = \alpha(\omega) + j\beta(\omega).$$ Затем, задаваясь частотой ω от 0 до ∞,

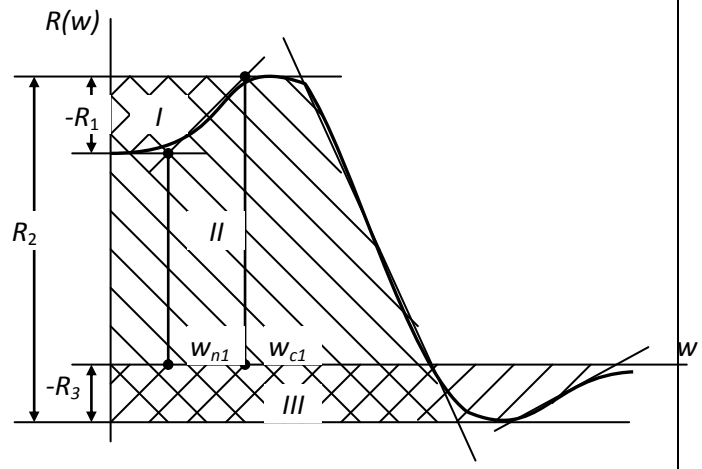
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		строят половину кривой Д- разбиения, которую дополняют зеркальным отражением относительно оси частот - ветвью кривой для частот от - ∞ до 0. Далее наносят штриховку кривой Д-разбиения [1,3]: обходя кривую от -∞ до +∞, штрихуют одинарной штриховкой левую сторону кривой, т.е. получают аналог мнимой оси и левой полуплоскости плоскости корней и выделяют области с различным числом левых и правых корней. Далее задаются произвольным числом *n* левых и *m* правых корней в одной из областей, и вычисляют число корней в остальных областях по следующему ниже правилу. Если переход из области с известным числом корней в область с неизвестным числом корней происходит из заштрихованной стороны кривой Д- разбиения в незаштрихованную сторону, то число левых корней убавляется на 1, а число правых - прибавляется на 1 и наоборот. Пример кривой Д-разбиения в области $k_н$ и выделение областей приведены на рис.4. Та область, которая содержит наибольшее число левых корней, является претендующей на область устойчивости. Подставив произвольное положительное значение параметра μ из этой области в выражение для передаточной функции, проверяют САУ на устойчивость. Допустим, что число корней положительных и отрицательных в области *III D(m, n)*, тогда в области *II D(m-1, n+1)* а области *I D(m+1, n-1)*, т.е. левых корней больше в области *II.* 

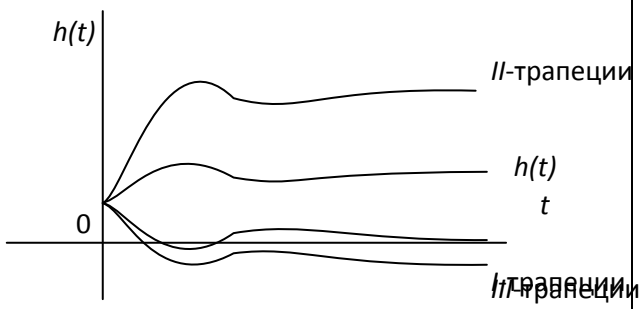
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Рис. 4. Кривая Д-разбиения в плоскости параметра μ Следовательно, область *II* претендует на область устойчивости. Если она оказалась устойчивой, то она будет устойчивой при любых значениях параметра μ, взятых из этой области. Если при проверке на устойчивость САУ оказалась неустойчивой, то надо получить новые выражения для АФЧХ разомкнутой и замкнутой систем при подстановке параметра μ из области, претендующей на область устойчивости, снова проверить САУ на устойчивость по вашему критерию и переходить на исследование качества процесса управления. 3.7. КАЧЕСТВО САУ В СТАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМАХ Всякая САУ, кроме устойчивости, должна обладать определенными статическими и динамическими свойствами, которые характеризуются так называемыми показателями качества процесса управления. В статическом (установившемся) режиме требуется знать такие показатели, как точность воспроизведения входного сигнала, величину ошибок, возникающих от воздействия возмущений и помех, величину установившегося отклонения регулируемого параметра от заданного значения и т.п. Кроме того, в динамическом режиме (при переходном процессе) определяют время регулирования, т.е. быстродействие системы, величину перерегулирования, время достижения первого максимума и т.д. в зависимости от вида кривой переходного процесса конкретной САУ. Для оценки показателей качества в статике надо найти коэффициент передачи разомкнутой САУ k_p путем подстановки $p = 0$ в выражение для передаточной функции разомкнутой САУ, составить уравнение

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		регулировочной характеристики замкнутой САУ вида $$x_p = \frac{k_p}{1+k_p} x_з + \frac{k_o{}^f}{1+k_p} F$$ и, изменяя F при неизменном значении задания $x_з$ = 25 В, построить график $x_p = f(F)$, по которому и определить вышеуказанные показатели качества в статическом режиме. Для оценки показателей качества в динамическом режиме надо построить кривую переходного процесса при подаче на вход единичного ступенчатого воздействия методом *h* - функций по вещественной частотной характеристике замкнутой САУ. Пусть вещественная частотная характеристика $R_З(w)$ имеет следующие виды 1, 2, 3, 4, 5.  Учитывая теорему Лапласа, можно отметить следующие свойства $R_З(w)$, характеризующие качество САУ. 1. Приблизительно одинаковым переходным процессам соответствуют приблизительно одинаковые $R_З(w)$; это позволяет находить $h(t)$ по типовым частотным характеристикам, для которых переходные процессы известны (заранее вычислены). 2. При изучении САУ можно ограничиваться рассмотрением $R_З(w)$ лишь в области существенных частот, т.к. на высоких

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		частотах $R_3(w)$ соответствует начальному участку переходного процесса $h(t)$. 3. Если имеются две сходные $R_3(w)$, отличающиеся только масштабом по оси частот w, т.е. $R_{32}(nw) = R_{31}(w)$, то переходной процесс $X_1(t)$ протекает в n раз медленнее, чем $X_2(t)$. Если $R_{32} = nR_{31}$, т.е. отличаются масштабом по оси $R_3(w)$, то соответственно $X_2(t)$ в n раз выше $X_1(t)$. 4. Если при некоторой частоте, не равной нулю, $R_3(w)$ имеет разрыв (кривая 5), это означает, что САУ находится на границе устойчивости, т.е. если характеристическое уравнение имеет нулевой корень, то это означает, что $R_3(w)$ имеет разрыв при $w = w_i$. 5. Значение переходной характеристики $X_p(t)$ в установившемся состоянии $X_p(\infty) = \lim_{t\to\infty} X_p^{/}(t) = \lim_{w\to 0} R_3(w) = R_3(0)$, что следует из теоремы о конечном значении оригинала.  6. Начальное значение переходной характеристики $X_p(t)$

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		$X_p(0) = \lim_{t\to 0} X_p(t) = \lim_{w\to\infty} R_3(w)$. 7. Если $R_3(w) > 0$ и является невозрастающей функцией частоты *w*, т.е. $\frac{dR_3(w)}{dw} \le 0$ при любых *w*, то перерегулирование не превышает 18% от начального отклонения (кривые 1, 2). Если $R_з(w)$ имеет вид кривой 4, то перерегулирование δ_m $\delta_m < \frac{1{,}18R_{3\ \max}(w) - R_3(0)}{R_3(0)}$. 8. Для того. чтобы $X_p(t)$ стремилась к установившемуся значению $X_p(\infty)$ необходимо, но недостаточно соблюдение при всех значениях *w* следующего неравенства $\left|R_3(w)\right| < R_3(0)$. Если $R_3(w)$ изменяется по монотонно убывающей кривой 2, это означает, что X_p не имеет перерегулирования и $t_p \ge \frac{4\pi}{w_2}$, где w_2 - область существующих частот кривой 2. 9. Продолжительность переходного процесса будет тем меньше, чем более пологим будет $R_3(w)$. Расчеты надо вести в следующей последовательности: 1) из выражения передаточной функции устойчивой замкнутой САУ подстановкой *p* на $j\omega$ получают ее амплитудно-фазовую частотную характеристику $W_з(j\omega)$; 2) путем умножения числителя и знаменателя $W_з(j\omega)$ на комплексно сопряженный знаменатель и объединения членов, не зависящих от *j*, получают вещественную частотную характеристику $R_з(\omega)$;

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		3) строят график $R_з(\omega)$ при изменении ω от 0 до ∞ и заменяют плавную кривую ломаными линиями на трапецеидальные частотные функции (пример построения см. на рис.5); 4) для каждой трапеции замеряют высоту R, частоты перехода $\omega_п$ и среза $\omega_с$, как это показано на рис.5, и вычисляют коэффициент наклона $k_н = \omega_п / \omega_с$; 5) при соответствующем значении $k_п$ для каждой трапеции из таблицы h-функций (см. приложение к методическим указаниям или подробнее в [3, 4, 5]) выписывают относительные  Рис. 5. Получение трапецеидальных характеристик из вещественной частотной характеристики замкнутой САУ значения времени τ и ординат кривой переходного процесса $h_н(\tau)$, которые затем пересчитывают в абсолютные по формулам, приведенным ниже в таблице. В некоторых случаях трапеция вырождается в треугольник, тогда его коэффициент наклона равен 0. Весь процесс расчета и построения сводят в таблицу. Таблиц

<table>
<tr><td>Структурный элемент компетенции</td><td>Планируемые результаты обучения</td><td>Оценочные средства</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>а 7.1
I-трапеция: $R_1 = \ldots; w_{c_1} = \ldots; k_{n_1} = \ldots$
<table><tr><td>τ</td><td>Данные таблицы h-функций для</td></tr><tr><td>$h_k(t)$</td><td>данного коэффициента наклона k_n</td></tr><tr><td>t, c</td><td>$t = \frac{\tau}{w_{c_i}}$</td></tr><tr><td>$h_i(t)$</td><td>$h(t) = h_k(\tau) \cdot R_i$</td></tr></table>5. Строят для каждой трапеции составляющую переходного процесса с учетом знака высоты трапеции и, путем графического сложения ординат трапеций, находят искомую кривую переходного процесса.
 
Рис.5. Кривые переходной характеристики и и ее составляющих

В дальнейшем безразмерную ось ординат $h(t)$ в суммарном графике нужно перестроить в частоту вращения двигателя $\omega(t)$) при подаче на вход системы задания $U_з$ = 25 В и на этом графике указать все показатели качества процесса управления в динамическом режиме.</td></tr>
</table>