

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ:
Директор института металлургии,
машиностроения и материалобработки
А.С. Савинов
«11» сентября 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Специальность

15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов

Специализация

Проектирование металлургических машин и комплексов

Уровень высшего образования – специалитет

Форма обучения

Очная

Институт
Кафедра

Курс
Семестр

Металлургии, машиностроения и материалобработки
Проектирования и эксплуатации металлургических ма-
шин и оборудования

4

8

Магнитогорск
2017 г.

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов, утвержденного приказом МОиН РФ от 28.10.2016 г. № 1343.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования «08» сентября 2017 г., протокол № 2


Зав. кафедрой  / А.Г. Корчунов/

Рабочая программа одобрена методической комиссией института металлургии, машиностроения и материалообработки «11» сентября 2017 г., протокол № 1.

Председатель  / А.С. Савинов/

Рабочая программа составлена:

к.т.н., доцент

 / О.А. Филатова /

Рецензент:

и.о. гл. механика ООО «НПЦ «Гальва»», к.т.н.

 / В.А. Русанов/

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов знаний о методах функционирования, моделирования и синтеза систем автоматического управления, средствах автоматизации технологических процессов и машиностроительных производств, составлении математических описаний технологических объектов управления.
- овладение достаточным уровнем общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы подготовки специалиста

Дисциплина «Управление техническими системами» входит в базовую часть блока 1 образовательной программы.

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

Математика, Физика, Электротехника и электроника, Механика жидкости и газа, Информационные технологии.

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для дальнейшего изучения дисциплины «Проектирование систем гидро и пневмопривода», а также для подготовки к ГИА.

Дисциплина «Управление техническими системами» является теоретической базой для подготовки специалистов и служит важной составляющей в деятельности проектирования автоматизированных систем в металлургических машинах и комплексах.

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

В результате освоения дисциплины «Управление техническими системами» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПСК-3.4 способностью обеспечивать информационное обслуживание технологических комплексов для металлургического производства	
Знать	<ul style="list-style-type: none">– устройство и принцип работы датчиков;– методы определения физико-механических свойств объектов;– принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств автоматизации,

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
	<ul style="list-style-type: none"> – методологические основы функционирования, моделирования и синтеза систем автоматического управления (САУ), принципы построения систем управления технологических машин
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – выполнять работы по информационному обслуживанию, управлению и техническому контролю в машиностроении; – выполнять анализ устойчивости САУ, синтез регулятора, – проводить анализ САУ, – оценивать статистические и динамические характеристики
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – навыками анализа технологических процессов как объекта управления и выбора функциональных схем их автоматизации, – навыками анализа устойчивости САУ, настройки регулятора
ПСК-3.5 способностью обеспечивать управление и организации производства с применением технологических комплексов для металлургического производства	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные методы анализа САУ во временной и частотной областях; – методику определения показателей качества САУ – принципы построения систем управления технологических машин; – устройство и принцип работы САУ; – методы определения статических и динамических свойств ОУ; – методы определения работоспособности технологического оборудования.
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – проводить анализ САУ, оценивать статистические и динамические характеристики; – рассчитывать основные качественные показатели САУ; – рассчитывать одноконтурные и многоконтурные САУ применительно к конкретному технологическому объекту.
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – навыками построения САУ – навыками анализа технологических процессов как объекта управления;

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
	– навыками выбора функциональных схем их автоматизации
ОПК-2 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – Обозначения элементов функциональных схем управления – типовые пакеты прикладных программ анализа динамических систем;
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – строить математические модели объектов управления и САУ; – самостоятельно приобретать знания в предметной области с использованием ИКТ
Владеть	– способами оценивания значимости и практической пригодности полученных результатов
ОПК-3 способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	
Знать	– основные правила и методики использования компьютеризированных средств решения прикладных задач
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – строить математические модели объектов управления и САУ; – внедрять и использовать современные информационные технологии в процессе профессиональной деятельности
Владеть	– навыками использования информационных технологий для решения профессиональных задач; техническими и программными средствами переработки информации при работе с ПК

4. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц 216 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 106,85 академических часов:
 - аудиторная – 102 академических часов;
 - внеаудиторная – 4,85 академических часов
- самостоятельная работа – 73,45 академических часов;
- подготовка к экзамену – 35,7 академических часов

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа (в академических часах)	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
1. Введение. Основные понятия и определения. Фундаментальные принципы управления.	8	3			4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, работа с электронными библиотеками	Устный опрос (собеседование)	ПСК-3.4-з ОПК-2-з ОПК-3-з

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
2. Классификации САУ. Статический режим САУ. Статические характеристики. Статическое и астатическое регулирование	8	4		5/2И	6	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, выполнение индивидуального задания	Устный опрос, проверка индивидуального задания	ПСК-3.4-з, ПСК-3.5-з ОПК-2-з ОПК-3-з
3. Динамический режим САУ. Уравнение динамики. Линеаризация уравнения динамики. Передаточная функция	8	4		5/2И	6	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка к практическому занятию, выполнение индивидуального задания	Устный опрос, сдача практической работы, проверка индивидуального задания	ПСК-3.4-з з ПСК-3.5-з з ОПК-2-з ОПК-3-з
4. Структурные схемы САУ. Виды соединений звеньев САУ. Эквивалентные преобразования структурных схем	8	5		5/2И	7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы,	Устный опрос, сдача практической	ПСК-3.4-з з ПСК-3.5-з з

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
						подготовка к практическому занятию, выполнение индивидуального задания	работы, проверка индивидуального задания	ОПК-2-зув ОПК-3-зув
5. Временные характеристики. Понятие временных характеристик. Переходные характеристики элементарных звеньев.	8	5		5/2И	7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка к практическому занятию, выполнение индивидуального задания	Устный опрос, сдача практической работы, проверка индивидуального задания	ПСК-3.4-зув ПСК-3.5-зув ОПК-2-зув ОПК-3-зув
6. Частотные характеристики . Понятие частотных характеристик. Частотные характеристики типовых звеньев. Правила построения ЧХ элементарных звеньев. Частотные характеристики разомкнутых САУ. Частотные	8	5		5/2И	7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка к	Устный опрос, сдача практической работы,	ПСК-3.4-зув ПСК-3.5-зув ОПК-2-зув

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
характеристики разомкнутых одноконтурных САУ.						практическому занятию, выполнение индивидуального задания	проверка индивидуального задания	ОПК-3-зув
7. Законы регулирования. -Регуляторы.	8	4		5/2И	7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка к практическому занятию, выполнение индивидуального задания	Устный опрос, сдача практической работы, проверка индивидуального задания	ПСК-3.4-зув ПСК-3.5-зув ОПК-2-зув ОПК-3-зув
8. Устойчивость САУ. Понятие устойчивости системы. Критерии устойчивости. Необходимое условие устойчивости. Критерий Рауса. Критерий Гурвица	8	5		4/2И	7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка к практическому занятию,	Устный опрос, сдача практической работы, проверка	ПСК-3.4-зув ПСК-3.5-зув ОПК-2-зув ОПК-3-зув

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
						выполнение индивидуального задания	индивидуального задания	

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
9. Частотные критерии устойчивости. Принцип аргумента. Критерий устойчивости Михайлова. Критерий устойчивости Найквиста	8	5		5/2И	7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка к практическому занятию, выполнение индивидуального задания	Устный опрос, сдача практической работы, проверка индивидуального задания	ПСК-3.4-зுவ ПСК-3.5-зுவ ОПК-2-зுவ ОПК-3-зுவ
10. Запас устойчивости. Понятие структурной устойчивости. АФЧХ астатических САУ. Анализ устойчивости по ЛЧХ	8	4		5/2И	7	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка к практическому занятию, выполнение индивидуального задания	Устный опрос, сдача практической работы, проверка индивидуального задания	ПСК-3.4-зுவ ПСК-3.5-зுவ ОПК-2-зுவ ОПК-3-зுவ

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
11. Качество САУ. Теоретическое обоснование метода D-разбиений. D-разбиение по одному параметру. Прямые методы оценки качества управления. Оценка переходного процесса при ступенчатом воздействии. Оценка качества управления при периодических возмущениях. Корневой, и интегральный методы оценки качества САУ	8	4		4	4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, решение практической задачи; Работа с электронными библиотеками	Устный опрос, сдача практической работы	ПСК-3.4-зуб ПСК-3.5-зуб ОПК-2-зуб ОПК-3-зуб
12. Устройства ввода информации в электрогидравлических и электропневматических схемах. Элементы электрогидравлических и электропневматических схем. Условные обозначения. Устройства преобразования в электрогидравлических и электропневматических схемах.	8	3		3	4,45	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, выполнение индивидуального задания	Устный опрос, проверка индивидуального задания	
Итого по дисциплине	8	51		51/18И	73,45		Экзамен	ПСК-3.4-зуб ПСК-3.5-зуб ОПК-2-зуб

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа	Вид самостоятельной работы	Формы текущего и промежуточного контроля успеваемости	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	занятия лаборатор.	практич. занятия				
								ОПК-3-зுவ

И – в том числе, часы, отведенные на работу в интерактивной форме

5. Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины применяются **методы** аудиторной работы – лекционное изложение материала по управляющим техническим системам, особенностям использования компьютерных технологий для решения задач управления, по решению задач управления студентов непосредственно на компьютерной технике в рамках практических и лабораторных работ. Для лучшего закрепления материала студенты получают задания, которые выполняются на протяжении всех лабораторных работ в отрезки времени, отведенные для закрепления материала и получения навыков работы с системами управления. Оформленные материалы сдаются студентами преподавателю в конце изучения данной дисциплины.

Способы, применяемые для достижения цели:

- однотипное структурирование лекционного материала и самостоятельных работ;
- последовательное проведение практических занятий вслед за лекциями.

Технологии, применяемые для достижения цели:

Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения).

Формы учебных занятий:

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя). На лекциях используется компьютер с проектором для отображения и лучшего освоения изучаемого материала, приемов и методов работы с системами управления.

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму. На практических занятиях изучаются и используется современные САД и Math- методы для решения задач проектирования систем управления с заданными характеристиками и даются практические навыки использования компьютерной техники для исследования их свойств.

Для выполнения самостоятельных заданий студентам необходим персональный компьютер со стандартным пакетом Microsoft Office (Word, Excel, Power Point).

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа в ходе аудиторных занятий предполагает: изучение и повторение теоретического материала по темам лекций (по конспектам и учебной литературе, методическим указаниям), решение задач, выполнение индивидуальных заданий.

Самостоятельная работа под контролем преподавателя предполагает подготовку конспектов и выполнение необходимых расчетов по разделам дисциплины, решение и проверка преподавателем задач, работа с методической литературой, подготовка к тестированию в интерактивной форме.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов предполагает подготовку к практическим занятиям, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к тестированию в интерактивной форме; изучение необходимых разделов в конспектах, учебных пособиях и методических указаниях; работа со справочной литературой, исправление ошибок, замечаний, оформление заданий; работу с электронными учебниками по дисциплине.

Примерные индивидуальные задания

1. Примерные задачи по теме «Синтез структурных схем САУ»

Задача 1. Найти эквивалентную передаточную функцию схемы (рис. 1).

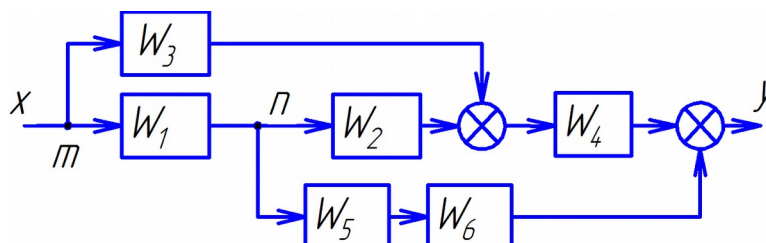


Рис. 1. Структурная схема

Задача 2. Найти эквивалентную передаточную функцию схемы (рисунок 1.5).

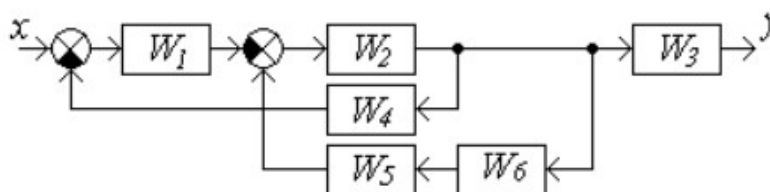


Рисунок 1.5

2. Примерные задачи по теме «Уравнение динамики. Передаточная функция»

Задача 1. Определить передаточную функцию объекта регулирования, модель которого задана дифференциальным уравнением

$$1.1\ddot{y} + 2.2\dot{y} + 3.1y + 4.2x = 1.34\ddot{x} - x.$$

Задача 2. Составить структурную схему по дифференциальному уравнению объекта

$$2y^{(3)} - 4y^{(2)} + 3y^{(1)} + 5y = 2u^{(2)} - 3u^{(1)} + u.$$

Задача 3. Решить дифференциальные уравнения с помощью преобразования Лапласа, с использованием различных методов расчета простых дробей.

$$3 \frac{d^3}{dt^3} y + \frac{d}{dt} y - y = 4x$$

3. Примерные задачи по теме «Временные характеристики САУ»

Задача 1. Система автоматического регулирования имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{K}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}.$$

Найти переходную $h(t)$ и весовую $w(t)$ функции системы автоматического регулирования, построить их графики. Параметры системы для различных вариантов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения параметров системы автоматического регулирования

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент K	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Коэффициент a_2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Коэффициент a_1	1	4	2	6	2	1	3	2	1,5	2,5
Коэффициент a_0	20	20	20	20	10	10	10	4	4	4

Задача 7. Система автоматического регулирования описывается уравнением

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = Ku.$$

Найти переходную и весовую функции и построить их графики. Параметры звена для различных вариантов приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Значения параметров системы автоматического регулирования

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Постоянная времени $T_2 \cdot 10^2, \text{ с}$	10	5	4	20	10	5	5	5	5	20
Постоянная времени $T_1 \cdot 10^2, \text{ с}$	10	10	10	20	20	20	5	10	15	25
Коэффициент усиления K	10	12	8	15	14	20	10	12	8	10

4. Примерные задачи по теме «Частотные характеристики САУ»

Задача 1. Найти амплитудную и фазовую частотные характеристики интегрирующего звена, имеющего передаточную функцию

$$W(s) = \frac{1}{Ts}.$$

Построить логарифмические амплитудную и фазовую частотные характеристики. Постоянная времени $T=0,1 \text{ с}$.

Задача 2. Построить годограф САУ с известной передаточной функцией

$$W(s) = \frac{2s + 41}{s^3 + 2s^2 + s + 1}$$

5. Примерные задачи по теме «Устойчивость САУ»

Задача 1. Проверить устойчивость гидропривода с дроссельным регулированием, структурная схема которого приведена на рис. 5.3, а коэффициенты и постоянные времени для различных вариантов приведены в табл. 5.1.

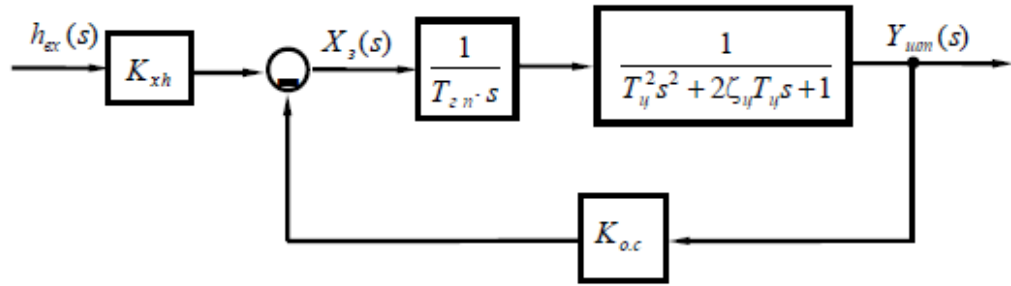


Рис. 5.3. Структурная схема гидропривода с дроссельным регулированием

Таблица 5.1

Значения параметров гидропривода

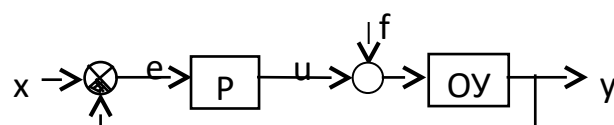
Параметр	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коэффициент передачи механизма управления K_{xh}	1	2	3	1	2	3	2	1	2
Гидравлическая постоянная времени T_{zn} , с	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Механическая постоянная времени гидроцилиндра T_{uy} , с	0,01	0,002	0,002	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Коэффициент относительного демпфирования ζ_{uy}	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	0,4
Коэффициент обратной связи гидропривода K_{oc}	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5

Задача 2. Проверить САУ на устойчивость по методу Гурвица. Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_{\infty}(s) = \frac{2s^3 + 9s^2 + 6s + 1}{2s^4 + 3s^3 + s^2} = \frac{B(s)}{A(s)}$$

Задача 3.

Дана одноконтурная АСР, для которой определена передаточная функция регулятора (Р) с настройками и дифференциальное уравнение объекта управления (ОУ).



Требуется определить:

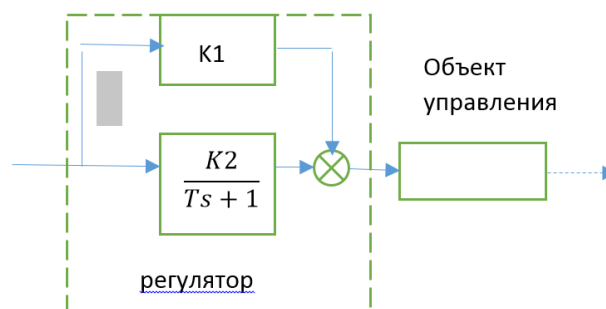
- передаточную функцию разомкнутой системы $W_{\infty}(s)$,
- характеристическое выражение замкнутой системы (ХВЗС),
- передаточные функции замкнутой системы $\Phi_z(s)$ – по заданию, $\Phi_v(s)$ – по возмущению, $\Phi_e(s)$ – по ошибке,
- коэффициенты усиления АСР,
- устойчивость системы.

6. Примерные задачи по теме «Регуляторы»

Задача 1. Дана структурная схема САР. Дифференциальное уравнение объекта управления:

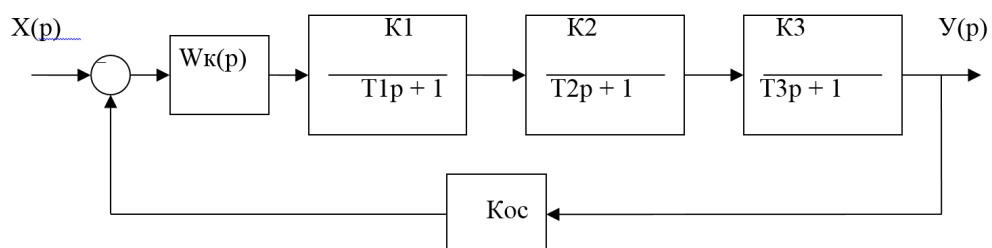
$$2 \frac{d^2}{dt^2} y + 5 \frac{d}{dt} y + 4y = 5x$$

Определить тип регулятора. Проверить на устойчивость САР.



Задача 2. Проверить устойчивость САР с корректирующим устройством.

В задаче исследуется система автоматического управления с последовательной коррекцией. Корректирующие устройства: пропорциональное звено; фильтр первого порядка; ПИ- и ПИД - регулятор. Работа выполняется с помощью MathCAD. Варианты числовых значений даны в таблице 1



Задача 3. По табличным данным построить переходную кривую объекта, определить параметры передаточной функции объекта, рассчитать настройки ПИД-регулятора, обеспечивающие 20%-е перерегулирование.

Обозначены: ΔX – входное воздействие объекта, ΔY – выходное, τ - запаздывание объекта (в таблицу не включено)

Варианты заданий

Задание № 1. $\Delta X = 0,15$ даН/см²; $\Delta Y = 24$ ←С; $\tau = 1$ мин

t, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔY	0,0	4,4	8,8	12,8	16,0	18,8	21,0	22,2	23,8	24,0

Задание № 2. $\Delta X = 15$ кПа; $\Delta Y = 150$ мм; $\tau_{\text{зап}} = 0,15$ мин

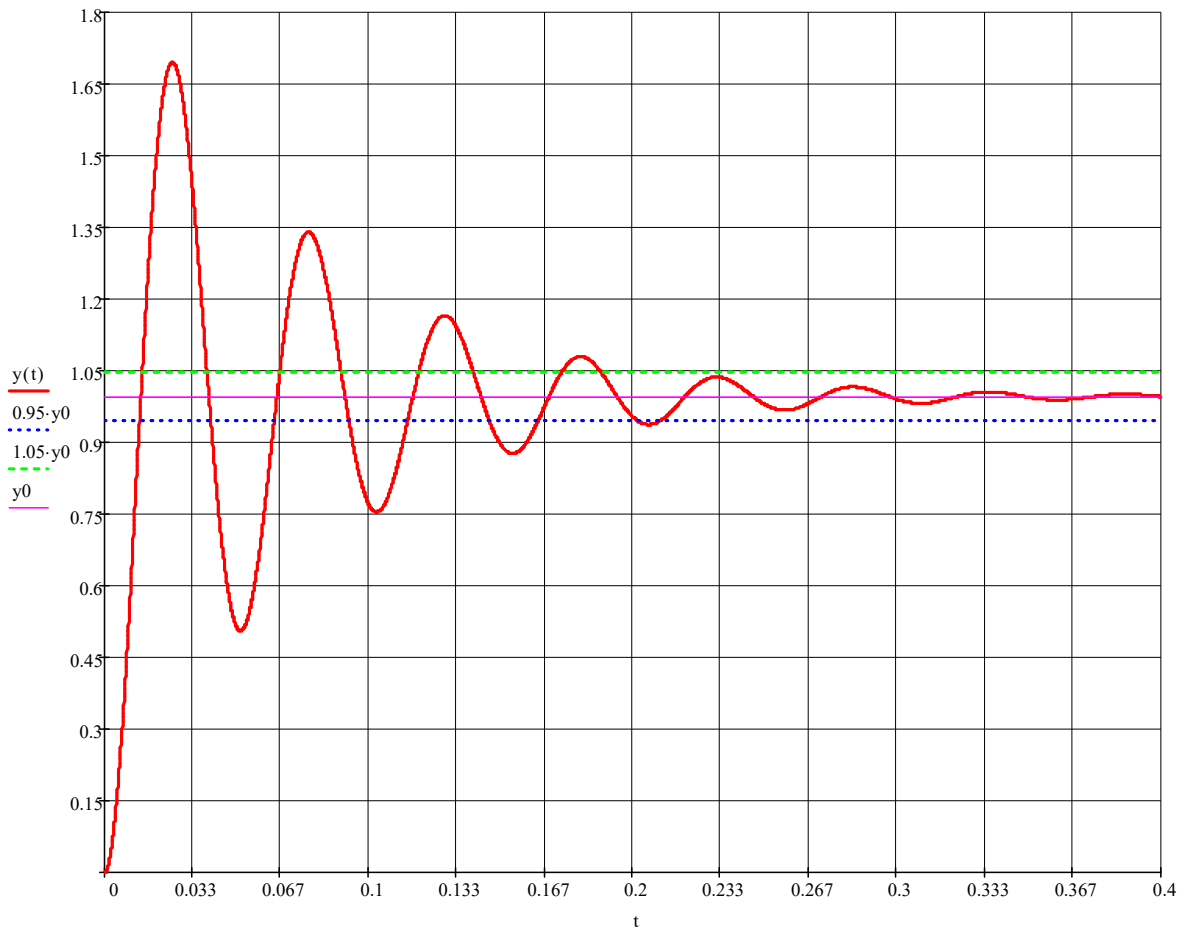
t, мин	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
ΔY	0	9	20	34	52	79	108	124	136	143	148	149,7	150

Задание № 3. $\Delta X = 90$ м³/час; $\Delta Y = 45$ ←С; $\tau_{\text{зап}} = 0,1$ мин

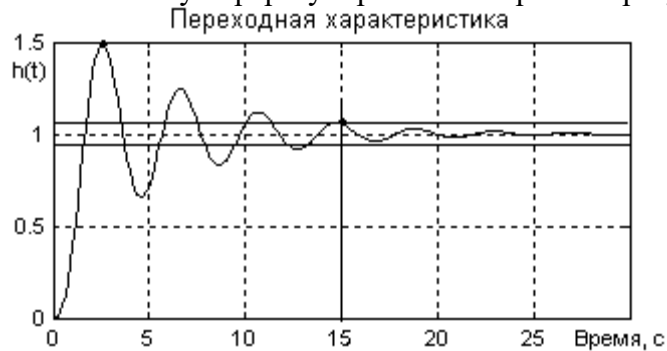
t, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΔY	0,0	5,5	16,0	25,5	31,5	35,0	38,0	40,0	41,7	43,0	43,8	44,5	45,0

7. Примерные задачи по теме «Показатели качества САУ»

Задача 1. По графику переходного процесса определить переходные характеристики и прямые показатели качества САУ.



Задача 2. Определить величину перерегулирования и времени регулирования



8. Примерные задачи по теме «Синтез электрорелейных схем управления гидропривода»

Построить электрорелейную схему управления гидроцилиндрами шинным методом по диаграмме перемещений гидроцилиндров.

9. Примерное задание по теме «D-разбиение по одному параметру. Прямые методы оценки качества управления»

Объектом исследования является следящая система, структурная схема которой представлена на рис. 1.

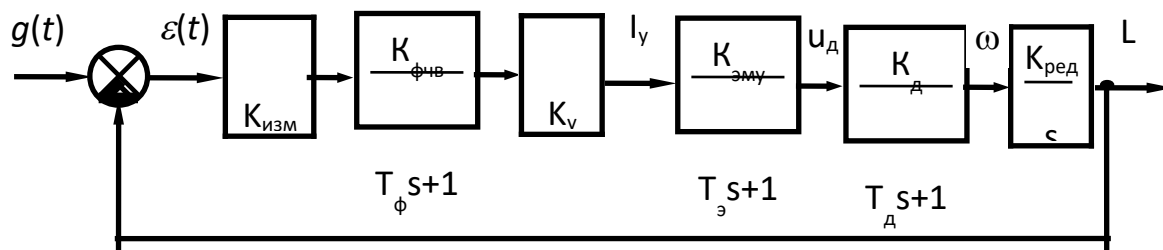


Рис. 1. Структурная схема следящей системы

Здесь: $K_{изм}$ - передаточный коэффициент измерительного устройства;

$K_{фчв}$, T_{ϕ} - коэффициент передачи и постоянная времени фазочувствительного выпрямителя;

K_v коэффициент усиления электронного усилителя;

$K_{эму}$, $T_{э}$ - коэффициент передачи и постоянная времени электромашинного усилителя;

$K_{д}$, $T_{д}$ - коэффициент передачи и постоянная времени электрического двигателя;

$K_{ред}$ - коэффициент передачи редуктора.

Исходные данные для моделирования приведены в таблице 1. Каждый студент получает номер варианта исходных данных от преподавателя.

Для полученного варианта задания по практике студент составляет индивидуальный отчет, содержащий полученные результаты исследования системы в виде графиков с необходимым пояснением и выводами.

Порядок работы

1. Исследовать устойчивость замкнутой системы с помощью критерия Гурвица. Приняв коэффициент усиления электронного усилителя $K_v=100$. Определить критическое значение коэффициента усиления K_v , когда система находится на границе устойчивости.
2. Построить кривую Д-разбиения по параметру K_v .
3. С помощью метода коэффициента ошибок с учетом задающего воздействия ($\dot{g}(t)_{\max}$ и $\ddot{g}(t)_{\max}$) и заданных скоростной и ошибки управления по ускорению рассчитать требуемый коэффициент усиления электронного усилителя K_v .

Примерные задачи на практических занятиях

Задача 1. Проверить свойство управляемости для объекта, модель которого задана системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dot{x}_3 = -3x_3 - 5x_2 - x_1 + u. \end{cases}$$

Решение. Определим матрицу коэффициентов системы (A) и матрицу входа (B)

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -3 & -5 & -1 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -4 \end{bmatrix}$$

Порядок системы равен 3, следовательно, матрица управляемости имеет вид $Q = (B \ AB \ A^2B)$.

Вычислим матрицы произведений

$$AB = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad A^2B = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -4 \end{bmatrix}.$$

Составим матрицу управляемости

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -4 \end{bmatrix},$$

ее определитель равен $\det Q = -1$, следовательно, объект управляем.

2. Проверить свойство управляемости для объекта, модель которого задана системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_1 + 5x_2 + 2u. \end{cases}$$

3. Проверить свойство управляемости для объекта, модель которого задана системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + u, \\ \dot{x}_2 = 2x_1 - x_2 + u, \\ y = x_1. \end{cases}$$

Найти передаточную функцию модели объекта, вычислить нули и полюса.

4 Проверить свойство управляемости для объекта, модель которого задана системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_1 + x_2 + u, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - x_2 + u, \\ y = x_1 + 3x_2. \end{cases}$$

Найти передаточную функцию модели объекта, вычислить нули и полюса.

5. Проверить свойство управляемости для объекта, модель которого задана системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_1 + x_2 + u, \\ \dot{x}_2 = x_2 + x_3, \\ y = x_1 - x_3 + 2u. \end{cases}$$

6 Модель объекта управления задана передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{2p + 1}{p^2 + 5p + 6}.$$

Записать уравнения модели в форме Коши, проверить свойство управляемости.

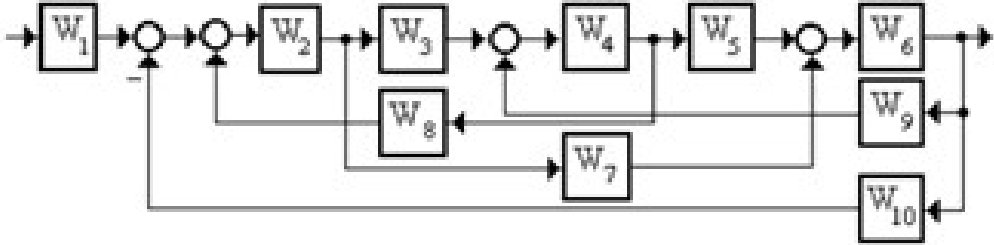
7 Модель объекта управления задана передаточной функцией:

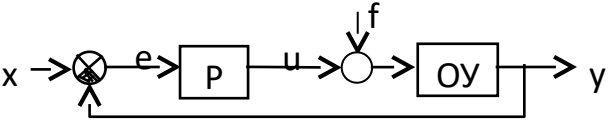
$$W(p) = \frac{p + 1}{p^2 + 3p + 2}.$$

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

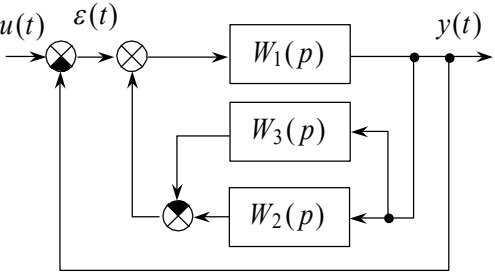
а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПСК-3.4 способностью обеспечивать информационное обслуживание технологических комплексов для металлургического производства		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> - устройство и принцип работы датчиков; - методы определения физико-механических свойств объектов; - принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств автоматизации, - методологические основы функционирования, моделирования и синтеза систем автоматического управления (САУ), принципы построения систем управления технологических машин 	<p>Перечень теоретических вопросов к экзамену:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация систем автоматики. 2. Алгоритмы управления систем. 3. Элементы структурных схем 4. Исполнительные электрические механизмы. 5. Гидравлические и пневматические исполнительные механизмы. 6. Управление асинхронными электродвигателями переменного тока. 7. Исполнительные двигатели постоянного тока. 8. Усилители и переключатели. 9. Реле. 10. Настройка регуляторов. 11. Типовые законы регулирования. 12. Определение оптимальных настроек регуляторов. 13. Нелинейные модели непрерывно-дискретных систем управления. 14. Синтез корректирующих устройств. 15. Приборы и устройства безопасности металлургических машин. 16. Устройства ввода информации в электрогидравлических и

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>электропневматических схемах.</p> <p>17. Устройства обработки информации в электрогидравлических и электропневматических схемах.</p> <p>18. Устройства преобразования в электрогидравлических и электропневматических схемах.</p>
<p>Уметь</p> <ul style="list-style-type: none"> — выполнять работы по информационному обслуживанию, управлению и техническому контролю в машиностроении; — выполнять анализ устойчивости САУ, синтез регулятора, — проводить анализ САУ, — оценивать статистические и динамические характеристики 		<p>Примерные задачи на экзамене.</p> <p>Задача 1. Найти передаточную функцию САУ и характеристический полином</p>  <p>Задача 2. Проверить САУ на устойчивость. Передаточная функция системы имеет вид:</p> $W(s) = \frac{3s + 4}{s^3 + 2s^2 + 2.25s + 1.25}$
<p>Владеть</p>	<p>навыками анализа технологических процессов как объекта управления и</p>	<p>Примерные задание на экзамене</p> <p>Дана одноконтурная АСР, для которой определена передаточная функция</p>

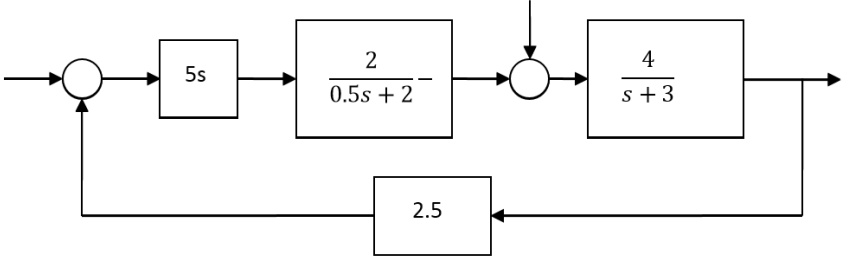
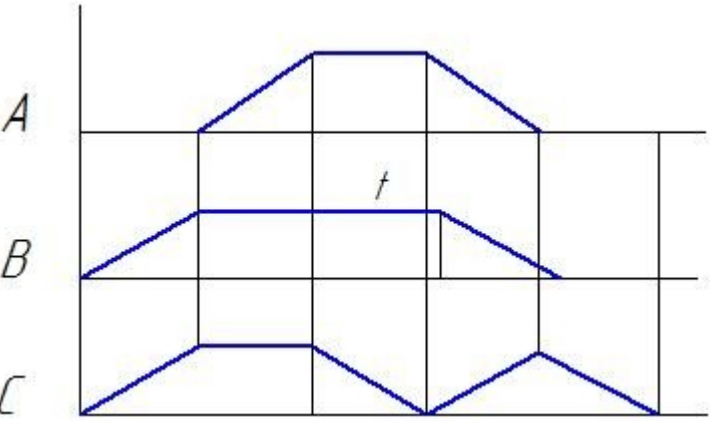
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>выбора функциональных схем их автоматизации,</p> <p>навыками анализа устойчивости САУ, настройки регулятора</p>	<p>регулятора (Р) с настройками и дифференциальное уравнение объекта управления (ОУ). Требуется определить:</p> <ul style="list-style-type: none"> - передаточную функцию разомкнутой системы $W_{\infty}(s)$, - характеристическое выражение замкнутой системы (ХВЗС), - передаточные функции замкнутой системы $\Phi_z(s)$ – по заданию, $\Phi_b(s)$ – по возмущению, $\Phi_E(s)$ – по ошибке, - коэффициенты усиления АСР, - устойчивость системы. 
<p>ПСК-3.5 способностью обеспечивать управление и организации производства с применением технологических комплексов для металлургического производства</p>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> - основные методы анализа САУ во временной и частотной областях; - методику определения показателей 	<p>Перечень теоретических вопросов к экзамену:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Математическое описание систем управления. 2. Модели динамических управляемых объектов.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>качества САУ</p> <ul style="list-style-type: none"> – принципы построения систем управления технологических машин; – устройство и принцип работы САУ; – методы определения статических и динамических свойств ОУ; – методы определения работоспособности технологического оборудования. 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Уравнение Лапласа; 4. Дифференциальные уравнения типовых управляемых процессов и технических объектов. 5. Частотные характеристики. 6. Определение частотных характеристик. 7. Логарифмические частотные характеристики 8. Качество процессов управления. 9. Критерии устойчивости. 10. Понятие устойчивости линейных систем. 11. Корневой критерий. Критерий Стодолы. 12. Критерий Гурвица. 13. Критерий Михайлова. 14. Критерий Найквиста. 15. Показатели качества. 16. Прямые показатели качества. 17. Корневые показатели качества. 18. Частотные показатели качества. 19. Интегральные показатели качества. 20. Связи между показателями качества 21. Шинный метод построения пневматических систем управления 22. Схемная реализация логических функций в электрогидравлических и электропневматических схемах. 23. Шинный метод построения электрорелейных систем управления 24. Синтез последовательностных схем
Уметь	– проводить анализ САУ, оценивать	<i>Примерные задачи на экзамене.</i>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>статистические и динамические характеристики;</p> <p>– рассчитывать основные качественные показатели САУ;</p> <p>– рассчитывать одноконтурные и многоконтурные САУ применительно к конкретному технологическому объекту.</p>	<p>Задача 1. Определить передаточную функцию системы управления, структурная схема которой представлена на рисунке</p>  <p>Задача 2. Построить частотные характеристики системы $W(s) = 2/(s^2+5s+6)$.</p> <p>Задача 3. Определить корневые показатели качества САУ, уравнение динамики которого имеет вид</p> $0,25 \cdot y''(t) - 4,5 \cdot y'(t) + 19 \cdot y(t) = 1,5 \cdot u'(t) + 15 \cdot u(t)$
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – навыками построения САУ – навыками анализа технологических процессов как объекта управления; 	<p>Пример задания на экзамене</p> <p>Построить структурную схему по передаточной функции</p> $W(p) = \frac{15}{0,25p^2 - 4,5p + 19}$

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<ul style="list-style-type: none"> – навыками выбора функциональных схем их автоматизации 	
ОПК-2 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – Обозначения элементов функциональных схем управления – типовые пакеты прикладных программ анализа динамических систем; 	Перечень теоретических вопросов к экзамену: <ul style="list-style-type: none"> – Обозначение элементов структурных схем – Символьные операции в Mathcad – Способы решения системы уравнений в Mathcad
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – строить математические модели объектов управления и САУ; – самостоятельно приобретать знания в предметной области с использованием ИКТ 	Примерное задание на экзамене Построить переходную характеристику в Mathcad, определить точное время регулирования системы $y''(t) - 4 \cdot y'(t) + 5 \cdot y(t) = 1,5 \cdot u'(t) + 15 \cdot u(t)$
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – способами оценивания значимости и практической пригодности полученных 	Примерное задание на экзамене Определить устойчивость системы в Mathcad арифметическим и частотным методами для САУ с передаточной функцией. Оценить качественные показатели

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	результатов	регулирования системы. $W(p) = \frac{2p+1}{5p^2+5p+3}$
ОПК-3 способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные правила и методики использования компьютеризированных средств решения прикладных задач 	Перечень теоретических вопросов к экзамену: <ol style="list-style-type: none"> 1. Основные Функции MathCad.Переменные в MathCad. 2. Операторы. Методы расчета.Работа с матрицами. 3. Символьные вычисления.
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – строить математические модели объектов управления и САУ; – внедрять и использовать современные информационные технологии в процессе профессиональной деятельности 	Примерное задание на экзамене Для САУ, структурная схема которой показана на рисунке ниже, определить уравнение динамики. Построить переходную характеристику в MathCad

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – навыками использования информационных технологий для решения профессиональных задач; техническими и программными средствами переработки информации при работе с ПК 	<p>Примерное задание на экзамене</p> <p>Построить электрорелейную схему управления гидроцилиндрами шинным методом по диаграмме перемещений гидроцилиндров.</p> 

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Управление техническими системами» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

Показатели и критерии оценивания экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Методические рекомендации для подготовки к экзамену

1. При подготовке к экзамену у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.
2. Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом опорные

конспекты лекций. При этом нужно обратить особое внимание на темы учебных занятий, пропущенных студентом по разным причинам.

3. При подготовке к экзамену необходимо повторять пройденный материал в строгом соответствии с учебной рабочей программой дисциплины, примерным перечнем учебных вопросов, выносящихся на зачет и содержащихся в данной программе.
4. Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Управление техническими системами»

а) Основная литература

Андросенко, М. В. Основы управления металлургическими машинами и оборудованием : учебное пособие / М. В. Андросенко, О. А. Филатова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=2578.pdf&show=dcatalogues/1/1130388/2578.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

2. Андреев, С. М. Моделирование объектов и систем управления : учебное пособие / С. М. Андреев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3337.pdf&show=dcatalogues/1/1138496/3337.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-1028-7. - Сведения доступны также на CD-ROM. [496/3337.pdf&view=true](https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=496/3337.pdf&view=true). - ISBN 978-5-9967-1028-7.

б.) Дополнительная литература

Андреев, С. М. Принципы построения и организации комплексов технических средств в системах автоматического управления. Курс лекций : учебное пособие / С. М. Андреев. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=920.pdf&show=dcatalogues/1/1118913/920.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

2. Бунько, Е.Б. Управление техническими системами: учеб. пособие / Е.Б. Бунько, К.И. Меша, Е.Г. Мурачев, Смирнов В.Е. –М.: Форум, 2010. -383 с.

3. Бржозовский, Б. М. Управление системами и процессами : учебник/ Б.М. Бржозовский, А. Г. Схиртладзе, В. В. Мартынов -Старый Оскол : ТНТ, 2010. - 295с.

4. Шишмарев, В. Ю. Основы автоматического управления : учебное пособие. - М. : Академия, 2008. - 348 с.

5. Усынин, Ю.С. Теория автоматического управления: учеб. пособ. / Ю.С. Усынин.- Челябинск: ЮУрГУ, 2010. -175 с.

6. Рогов, В.А. Средства автоматизации производственных систем машиностроения: учеб. пособ. / В.А. Рогов-М.: Высш. шк, 2005. – 399с.

в.) Методические указания

1. Обухова, Т.Г. Исследование промышленных систем автоматического управления технологическими параметрами: учеб. пособие / Т.Г. Обухова, П.Г. Самарина - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та, 2012. - 57 с.

2. Методические указания по выполнению практических задач представлены в приложении.

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 Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MathCAD v.15 Education University Edition	Д-1662-13 от 22.11.2013	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/
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт	URL: http://www1.fips.ru/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Перечень учебно-методических материалов и средств обучения

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации. Комплекс тестовых заданий для проведения промежуточных и рубежных контролей.
Помещения для самостоятельной работы обучающихся	Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования	Шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий.

Лекционный зал, оборудованный современной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Компьютерные классы, оборудованные современной техникой и мебелью для проведения практических или лабораторных занятий. Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Интернет и электронную информационно-образовательную среду университета.

РЕЖИМ ПРОСМОТРА МАКРООБЪЕКТОВ

1. Перейти по адресу электронного каталога <https://magtu.informsystema.ru>.
2. Произвести авторизацию.
3. Активизировать гиперссылку макрообъекта.

Методические указания по выполнению практических работ

При изучении дисциплины “Управление техническими системами” необходимо:

1. Рассмотреть перечень и порядок чередования тем и вопросов изучения данной дисциплины.

2. Рассмотреть и при необходимости уточнить у ведущего преподавателя, в чем заключается самостоятельная работа, промежуточная и итоговая аттестация по данной дисциплине.

3. Рассмотреть и при необходимости уточнить у ведущего преподавателя порядок изучения вопросов теоретического цикла, вынесенных на самостоятельную работу студента, а также порядок аттестации по рассмотрению данных вопросов. Самостоятельная работа студентом выполняется в аудитории и на дому.

5. Ознакомиться с содержанием и объемом домашней работы, для самостоятельного ее выполнения и уточнить непонятные моменты. Подобрать в библиотеке университета или любой другой библиотеке города литературу по теме и проконсультироваться у преподавателя с целью уточнения непонятных моментов.

На практических занятиях для достижения поставленных задач желательно выполнение работы непосредственно на компьютерной технике. Индивидуальные задания сдаются студентами преподавателю в конце изучения данной дисциплины.

Выполняемые студентами индивидуальные задания позволяют преподавателю дать предварительную оценку степени усвоения ими учебного материала по данной дисциплине. Индивидуальные задания задаются по различным темам курса дисциплины.

Вариант индивидуальных заданий выбирается в соответствии с порядковым номером журнала преподавателя по данной группе. Исходя из этого предлагается 20 вариантов контрольных работ от 1 до 20-го варианта включительно.

Прежде чем приступить к решению задач, необходимо изучить теоретический материал, чтобы определить место предлагаемых вопросов задачи в структуре курса.

Примеры решения задач

Пример 1. Найти эквивалентную передаточную функцию схемы (рис.1).

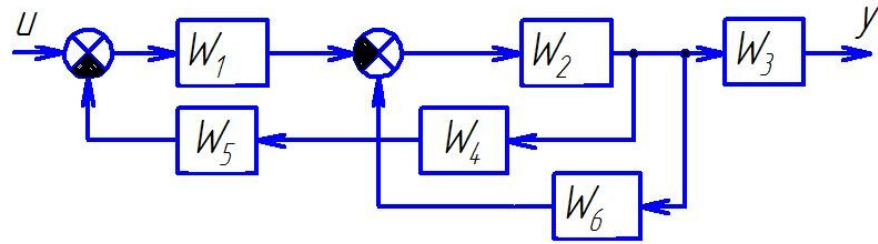


Рис.1. Структурная схема многоконтурной системы

Так как схема имеет перекрещивающиеся связи, то ее нужно преобразовать. Перенесем начало обратной связи за звено W_3 . При таком переносе в обратную связь надо добавить фиктивное звено $1/W_3$ (рис. 2).

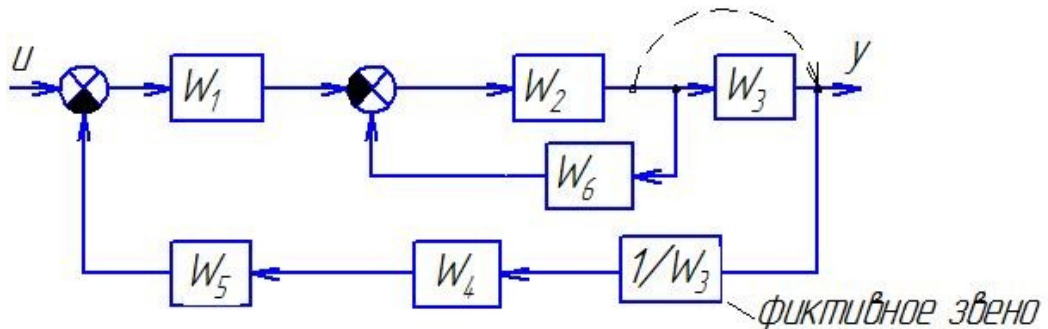


Рисунок 2. Преобразованная структурная схема

Начинаем сворачивать схему и находить передаточную функцию:

$$W^I = \frac{W_2}{1 - W_2 \cdot W_6},$$

$$W^{II} = W_5 \cdot W_4 \cdot 1/W_3,$$

$$W^{III} = -W_1 \cdot W^I = \frac{-W_1 \cdot W_2}{1 + W_2 \cdot W_6},$$

$$W = \frac{W^{III}}{1 + W^{II} \cdot W^{III}} = \frac{\frac{-W_1 \cdot W_2}{1 + W_2 \cdot W_6}}{1 + \frac{-W_1 \cdot W_2}{1 + W_2 \cdot W_6} (W_5 \cdot W_4 \cdot 1/W_3)} = \frac{-W_1 \cdot W_2}{1 + W_2 \cdot W_6 - W_1 \cdot W_2 \cdot W_5 \cdot W_4 \cdot 1/W_3}$$

Пример 2. Составить структурную схему по дифференциальному уравнению объекта $2y^{(3)} - 3y^{(2)} + 4y^{(1)} - 6y = 3u^{(2)} - u^{(1)} + 2u$.

1. Прежде всего уравнение нормируют (делят все коэффициенты на коэффициент a_0 при старшей производной левой части). В нашем примере $a_0=2$, делим уравнение на 2, получим

$$y^{(3)} - 1,5y^{(2)} + 2y^{(1)} - 3y = 1,5u^{(2)} - 0,5u^{(1)} + u.$$

2. Затем составим структурную схему, используя блоки интегрирования (т.е. деления на переменную Лапласа s). Их число равно порядку системы n (в данном примере трём).

3. С выхода каждого интегратора организуем обратные связи к общему (входному) сумматору с инвертирующим входом, начиная с коэффициента a_1 при $n-1$ производной.

4. С выхода интеграторов организуем связи с коэффициентами из правой части уравнения к выходному сумматору объекта (если производные здесь отсутствуют, то выходной сумматор не нужен, а блок с коэффициентом b можно поместить и на выходе, и на входе системы до главного сумматора). Полученная схема показана на рисунке 3.

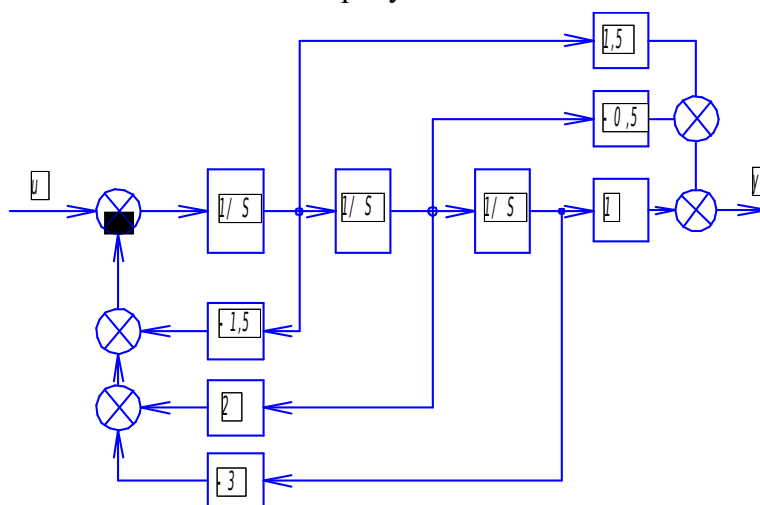


Рис. 3. Структурная схема

Пример 3. Определить передаточную функцию объекта регулирования, модель которого задана дифференциальным уравнением

$$1,5y^{(3)} + 3,5y^{(2)} - 3,1y^{(1)} + 4y = 2,2u^{(2)} - u$$

Введем в уравнение оператор Лапласа s и вынесем u за скобки.

$$(1,5s^3 + 3,5s^2 - 3,1s + 4)y = (2,2s^2 - 1)u$$

Делим многочлен правой части дифференциального уравнения на многочлен левой части, получаем выражение передаточной функции

$$W_{yu}(s) = \frac{2,2s^2 - 1}{1,5s^3 + 3,5s^2 - 3,1s + 4}$$

Пример 4. Решение Д/у с использованием преобразований Лапласа.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} - 3 \frac{dy}{dt} - 4y = 2 \frac{dx}{dt} + 6x$$

Допустим, входной сигнал имеет форму единичного ступенчатого воздействия, т.е. $x(t) = 1$. Тогда изображение входного сигнала, согласно таблице 1.2, имеет вид $X(s) = \frac{1}{s}$.

Производим преобразование исходного ДУ по Лапласу и подставляем $X(s)$:

$$s^2 \cdot Y(s) - 3 \cdot s \cdot Y(s) - 4 \cdot Y(s) = 2 \cdot s \cdot X(s) + 6 \cdot X(s),$$

$$s^2 \cdot Y(s) - 3 \cdot s \cdot Y(s) - 4 \cdot Y(s) = 2 \cdot s \cdot \frac{1}{s} + 6 \cdot \frac{1}{s},$$

$$Y(s) \cdot (s^3 - 3s^2 - 4s) = 2 \cdot s + 6.$$

Определяется выражение для Y :

$$Y(s) = \frac{2s + 6}{s^3 - 3s^2 - 4s}.$$

Оригинал полученной функции отсутствует в таблице оригиналов и изображений. Для решения задачи его поиска дробь разбивается на сумму простых дробей с учетом того, что знаменатель может быть представлен в виде $s(s + 2)(s + 3)$:

$$Y = \frac{2s + 6}{s^3 - 3s^2 - 4s} = \frac{2s + 6}{s(s - 4)(s + 1)} = \frac{-1.5}{s} + \frac{0.7}{s - 4} + \frac{0.8}{s + 1}.$$

Теперь, используя табличные функции (см. табл. 2), определяется оригинал выходной функции:

$$y(t) = -1.5 + 0.7e^{4t} + 0.8e^{-t}.$$

При решении ДУ с использованием преобразований Лапласа часто встает промежуточная задача разбиения дроби на сумму простых дробей. Существуют два пути решения этой задачи:

- путем решения системы уравнений относительно коэффициентов числителей,
- путем расчета коэффициентов числителей по известным формулам.

Общий алгоритм разбиения дроби на сумму простых дробей:

шаг 1 – определяются корни знаменателя s_i (знаменатель дроби приравнивается к нулю и решается полученное уравнение относительно s);

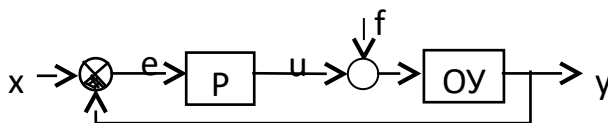
шаг 2 – каждому корню ставится в соответствие простая дробь вида $\frac{k_i}{s - s_i}$, где M_i – неизвестный коэффициент; если имеет место кратный корень с

кратностью n , то ему ставится в соответствие n дробей вида $\frac{k_{ij}}{(s - s_i)^j}$, $j = \overline{1, n}$;

шаг 3 – определяются коэффициенты k_i по одному из вариантов расчета.

Пример 5. Проверка на устойчивость АСР

Общее задание



Дана одноконтурная АСР, для которой определена передаточная функция регулятора (Р) с настройками и дифференциальное уравнение объекта управления (ОУ). Требуется определить:

- передаточную функцию разомкнутой системы $W_{\infty}(s)$,
- характеристическое выражение замкнутой системы (ХВЗС),
- передаточные функции замкнутой системы $\Phi_z(s)$ – по заданию, $\Phi_v(s)$ – по возмущению, $\Phi_e(s)$ – по ошибке,
- коэффициенты усиления АСР,
- устойчивость системы.

ОБРАЗЕЦ

Дан ПИ-регулятор с ПФ вида $W_p = 2 + \frac{1}{s}$ и объект управления, описываемый дифференциальным уравнением

$$2 \frac{d^3 y}{dt^3} + 3 \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = \frac{d^2 u}{dt^2} + 4 \frac{du}{dt} + u$$

Определяется передаточная функция объекта:

$$W_{об}(s) = \frac{s^2 + 4s + 1}{2s^3 + 3s^2 + s}$$

Тогда передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W_{\infty}(s) = W_p(s) \cdot W_{об}(s) = \left(2 + \frac{1}{s}\right) \cdot \frac{s^2 + 4s + 1}{2s^3 + 3s^2 + s} = \frac{2s^3 + 9s^2 + 6s + 1}{2s^4 + 3s^3 + s^2} = \frac{B(s)}{A(s)}$$

ХВЗС:

$$D(s) = A(s) + B(s) = 2s^4 + 3s^3 + s^2 + 2s^3 + 9s^2 + 6s + 1 = 2s^4 + 5s^3 + 10s^2 + 6s + 1$$

Передаточные функции замкнутой системы:

$$\Phi_z(s) = \frac{W_{\infty}(s)}{1 + W_{\infty}(s)} = \frac{B(s)}{D(s)} = \frac{2s^3 + 9s^2 + 6s + 1}{2s^4 + 5s^3 + 10s^2 + 6s + 1} \text{ - по заданию,}$$

$$\Phi_e(s) = \frac{1}{1 + W_{\infty}(s)} = \frac{A(s)}{D(s)} = \frac{2s^4 + 3s^3 + s^2}{2s^4 + 5s^3 + 10s^2 + 6s + 1} \text{ - по ошибке,}$$

$$\Phi_v(s) = \frac{W_{об}(s)}{1 + W_{\infty}(s)} = \frac{\frac{s^2 + 4s + 1}{2s^3 + 3s^2 + s}}{1 + \frac{2s^3 + 9s^2 + 6s + 1}{2s^4 + 3s^3 + s^2}} = \frac{s^3 + 4s^2 + s}{2s^4 + 5s^3 + 10s^2 + 6s + 1} \text{ - по возмущению.}$$

По передаточным функциям определяются коэффициенты усиления путем подстановки в них $s = 0$:

$$K_z = \Phi_z(0) = 1 \text{ - по заданию;}$$

$$K_e = \Phi_e(0) = 0 \text{ - по ошибке;}$$

$$K_v = \Phi_v(0) = 0 \text{ - по возмущению.}$$

Устойчивость АСР определяется по критерию Гурвица.

Критерий Гурвица: система устойчива, если все коэффициенты ее характеристического уравнения $D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n = 0$ и все диагональные миноры $\Delta_1 \dots \Delta_{n-1}$ матрицы Гурвица положительны.

Поскольку коэффициенты ХВЗС $a_4 = 2$, $a_3 = 5$, $a_2 = 10$, $a_1 = 6$, $a_0 = 1$ (степень полинома $n = 4$), то матрица Гурвица имеет вид:

$$\begin{pmatrix} 5 & 6 & 0 & 0 \\ 2 & 10 & 1 & 0 \\ 0 & 5 & 6 & 0 \\ 0 & 2 & 10 & 1 \end{pmatrix}$$

(обратите внимание на сходство строк матрицы: 1 с 3 и 2 с 4). Определители:

$$\Delta_1 = 5 > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 2 & 10 \end{pmatrix} = 5*10 - 2*6 = 38 > 0$$

$$\Delta_3 = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 0 \\ 2 & 10 & 1 \\ 0 & 5 & 6 \end{pmatrix} = (5*10*6 + 6*1*0 + 2*5*0) - (0*10*0 + 5*5*1 + 2*6*6) =$$
$$= 209 > 0$$

$$\Delta_4 = 1 * \Delta_3 = 1 * 209 > 0.$$

Поскольку все определители положительны, то АСР устойчива.