

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета Бурковский А.В.  
«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

«Дискретные системы программного управления»

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроприводы и системы управления электроприводов

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

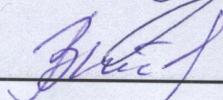
Автор программы

  
\_\_\_\_\_/А.В. Романов/

Заведующий кафедрой  
Электропривода,  
автоматики и управления в  
технических системах

  
\_\_\_\_\_/В.Л. Бурковский/

Руководитель ОПОП

  
\_\_\_\_\_/В.М. Питолин/

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Формирование основных научно-практических, общесистемных знаний в области дискретных систем программного управления электромеханическими объектами.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение вопросов применения различных способов и средств дискретных систем программного управления электромеханическими объектами.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Дискретные системы программного управления» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Дискретные системы программного управления» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1 - Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий

ПК-2 - Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-1	<b>Знает</b> как анализировать проблемную ситуацию и осуществлять её декомпозицию на отдельные задачи.
	<b>Уметь</b> вырабатывать стратегию решения поставленной задачи (составляет модель, определяет ограничения, вырабатывает критерии, оценивает необходимость дополнительной информации).
	<b>Владеет</b> навыками формирования возможных вариантов решения задач.
ПК-2	<b>Знает</b> методы анализа научных данных.
	<b>Умеет</b> осуществлять теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.
	<b>Владеет</b> анализом научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Дискретные системы программного управления» составляет 8 з.е.

**Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	126	126
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	54	54
Лабораторные работы (ЛР)	54	54
<b>Самостоятельная работа</b>	126	126
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	288 8	288 8

**5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение  
трудоемкости по видам занятий  
очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Цифровые сигналы и системы	Введение. Классификация сигналов и систем. Разомкнутые и замкнутые системы. Цифровой компьютер. Особенности цифровых систем. Методы исследования цифровых систем. Квантование непрерывных сигналов. Квантование по времени и уровню. Теорема Котельникова-Шеннона. Эффект поглощения частот. Цифровые законы управления. Линейные законы управления	4	8	10	20	42
2	Экстраполяция, реализуемость, устойчивость, стабилизируемость	Восстановление непрерывных сигналов. Экстраполяторы и фиксаторы. Линейные дискретные системы. z-преобразование. ζ-преобразование. Дискретная передаточная функция. Нули и полюса. Модели в пространстве состояний. Физическая реализуемость. Устойчивость по А.М. Ляпунову. Устойчивость линейных систем. Критерии устойчивости (алгебраические, Михайлова, Найквиста). Понятие стабилизируемости. Нестабилизируемые объекты. Множество стабилизирующих регуляторов. Особый случай. Грубость стабилизирующих регуляторов.	4	8	10	20	42
3	Дискретизация непрерывных процессов. Качество переходных процессов.	Дискретизация непрерывных процессов. Квантование непрерывных функций. Восстановление	4	8	10	20	42

		непрерывных функций. Аналоговые и импульсные модели дискретных сигналов. Процессы между моментами квантования. Передаточные функции цифровых систем. Разомкнутые и замкнутые системы. Всегда ли система имеет передаточную функцию. Параметрическая передаточная функция. Устойчивость цифровых систем. Скрытые колебания. Показатели качества. Переходные процессы. Запасы устойчивости. Ошибка в установившемся режиме. Робастность.					
4	Синтез цифровых регуляторов	Переоборудование непрерывных регуляторов. Численное интегрирование. Частотная коррекция. Фиктивное квантование. Размещение полюсов. Эквивалентная дискретная система. Физическая реализуемость регулятора. Пример синтеза регулятора. Размещение полюсов в плоскости $\zeta$ . Синтез регулятора по эталонной модели. Полиномиальный алгоритм синтеза регулятора. Синтез с помощью билинейного преобразования.	2	10	8	22	42
5	Управление с помощью ЭВМ.	Источники ошибок квантования. Аналоговый вход. Центральный процессор. Аналоговый выход. Объединение цифровых алгоритмов управления и исполнительных устройств. Автоматизированные методы проектирования алгоритмов управления. Тенденции развития современных систем с цифровым программным управлением.	2	10	8	22	42
6	Программирование на Си	Особенность программирования для микроконтроллеров. Языки программирования: Ассемблер и Си. Общие сведения о языке программирования Си. Использование стандартных библиотек. Отладочные среды. Программирование на Си. Базовые возможности языка программирования Си. Операторы ветвления. Операторы организации циклов. Работа с указателями. Указатели и массивы. Функции в языке Си. Доступ к регистрам встроенных периферийных устройств. Работа с памятью данных. Система прерываний микроконтроллеров. Отладка программ в реальном времени. Работа с библиотекой.	2	10	8	22	42
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>126</b>	<b>252</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Восстановление непрерывных сигналов путем экстраполяции.
2. Устойчивость дискретных систем автоматического регулирования.
3. Моделирование работы дискретной робастной систем управления ЭП.

4. Синтез цифровых регуляторов дискретной системы управления ЭП
5. Моделирование цифровых систем управления ЭП.
6. Программирование на Си для векторной СУЭП СДПМ.
7. Программирование на Си для векторной СУЭП АД.

## **6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 2 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Синтез цифрового регулятора на языке Си»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

1. Умение работать с литературой (обзор литературы по данному вопросу). Знать способы и средства моделирования электромеханических систем. (УК-1)

2. Умение ставить задачу (самостоятельное формулирование технического задания). Уметь разрабатывать проектные решения системы электропривода. (ПК-2)

3. Умение добиваться решения задачи (построение работающей математической модели, получение результата согласующегося с имеющимися данными). Уметь применять численные методы анализа к математическим моделям элементов электропривода. (ПК-2)

Курсовой проект включает в себя графическую часть, расчетно-пояснительную записку и работающую математическую модель.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### **7.1.1 Этап текущего контроля**

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Аттестован</b>	<b>Не аттестован</b>
УК-1	Знает как анализировать проблемную ситуацию и осуществлять её декомпозицию на отдельные задачи.	Может производить анализ и выбор предложенного оборудования для построения цифровой системы управления электроприводом.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	Уметь выработать стратегию решения поставленной задачи (составляет модель, определяет ограничения, выработывает критерии, оценивает необходимость дополнительной информации).	Может воспользоваться программами и методами для дискретных систем программного управления режимами работы электромеханических систем	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеет навыками формирования возможных вариантов решения задач.	Может самостоятельно построить структурные схемы разрабатываемой дискретной системы программного управления; производить оптимизацию режимов работы электромеханических систем	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-2	Знает методы анализа научных данных.	Может создать математическую модель электромеханической системы с цифровым управлением.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Умеет осуществлять теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.	Может самостоятельно построить компьютерную модель системы цифрового управления электроприводом; получить программу на одном из языков программирования	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеет анализом научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.	Умеет выбрать элементы модели, соответствующие реальной установке; оценить адекватность построенной модели системы управления электропривода реальной системе.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 2 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
УК-1	Знает как анализировать проблемную ситуацию и осуществлять её декомпозицию на отдельные задачи	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь выработать стратегию решения поставленной задачи	Решение стандартных практических	Задачи решены в полном	Продемонстрирован верный ход	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

	(составляет модель, определяет ограничения, вырабатывает критерии, оценивает необходимость дополнительной информации).	задач	объеме и получены верные ответы	решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	большинстве задач	
	Владеет навыками формирования возможных вариантов решения задач.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-2	Знает методы анализа научных данных.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь применять систему автоматизированного проектирования и программы для разработки схемы системы электропривода.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами разработки технического задания на предпроектное обследование оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода; разрабатывать варианты структурных схем систем электропривода и выбор оптимальной; разрабатывать частные технические задания на проектирование отдельных частей системы электропривода.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## **7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### **7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

**1.** Главные преимущества цифровой управляющей техники сводятся к следующему (укажите неправильный ответ):

- а) используется стандартная аппаратура;
- б) нет дрейфа параметров;
- в) повышается надежность и отказоустойчивость;
- г) возможность реализации сложных законов управления;
- д) гибкость, простота перестройки алгоритма управления;
- е) выше быстродействие по сравнению с аналоговой САУ;
- ж) все ответы правильные.

**2.** Что значительнее влияет на устойчивость дискретной САУ?

- а) квантование по времени;
- б) квантование по уровню;
- в) потеря промежуточных данных между отдельными значениями;
- г) влияние каждого из утверждений примерно одинаковое.

**3.** Какой из АЦП предпочтительнее 10 разрядный с периодом выборки 10 мкс или 16 разрядный с периодом 1 мс.

- а) первый;
- б) второй;
- в) примерно одинаковые;
- г) лучше взять другой.

**4.** Верхняя частота спектра непрерывного сигнала 24 КГц. Какой должна быть частота выборки, чтобы потом однозначно восстановить непрерывный сигнал по дискретным значениям?

- а) не меньше 24 КГц;
- б) больше 42 КГц;
- в) больше 12 КГц;
- г) больше 24 КГц;

**5.** Линейный закон, при котором используются только значения входной последовательности, называется:

- а) авторегрессионным процессом со скользящим средним;
- б) авторегрессионным процессом;
- в) скользящим средним;
- г) нет правильного ответа.

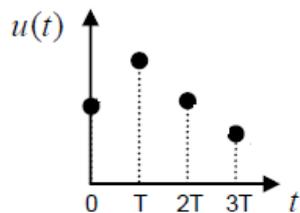
**6.** Линейная дискретная система асимптотически устойчива тогда и только тогда, когда все корни ее характеристического полинома находятся на

комплексной плоскости

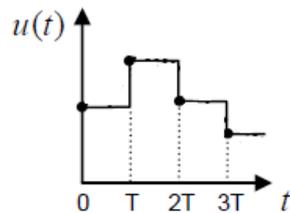
- а) внутри единичного круга с центром в начале координат;
- б) внутри единичного круга с центром  $[-1, -j]$ ;
- в) слева от мнимой оси;
- г) другое.

7. Укажите график с экстаполяцией нулевого порядка:

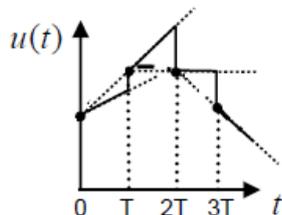
а)



б)



в)



8. Стабилизируемой называется система, для которой

- а) существует регулятор, обеспечивающий устойчивость замкнутого контура;
- б) нужно установить постоянный источник питания;
- г) состоит из стабильных блоков.

9. Что такое скрытые колебания в дискретной системе?

- а) колебания, которые принципиально нельзя измерить;
- б) колебания, которые возникают только при дискретизации;
- в) колебания, которые присутствуют всегда, но в дискретной САР не измеряются;
- г) колебания, которые присутствуют всегда, но в дискретной САР измеряются неправильно.

10. Робастность системы – это:

- а) свойство сохранять устойчивость и показатели качества при изменении параметров объекта;
- б) свойство системы не реагировать на внешние возмущения;
- в) свойство системы не изменять параметры.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Дискретная система имеет передаточную функцию

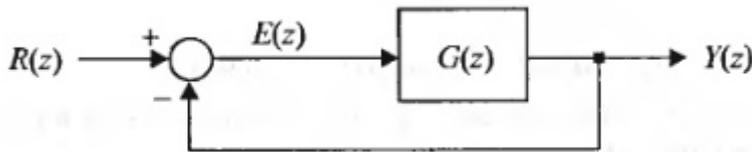
$$G(z) = \frac{0.2145z + 0.1609}{z^2 - 0.75z + 0.125}$$

Постройте график реакции системы на единичный ступенчатый сигнал.

2. Преобразуйте непрерывную передаточную функцию в дискретную форму с помощью функции c2d. Период квантования  $T=1$ с. Используйте экстраполятор нулевого порядка.

$$G(s) = \frac{s + 5}{s^2 + 4}$$

3. Дискретная САР имеет вид:



где непрерывная передаточная функция имеет вид:

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + s} .$$

Передаточная функция экстраполятора имеет вид:

$$W(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s} .$$

Постройте график реакции системы на единичный ступенчатый сигналв непрерывной и дискретной САР, если период квантования  $T = 1$ с; сравните результат.

4. Передаточная функция замкнутой дискретной системы имеет вид:

$$W(z) = \frac{1.7(z + 0.46)}{z^2 + z + 0.5} .$$

Постройте переходную характеристику с помощью MATLAB, считая, что период квантования  $T = 0.1$  с.

5. Постройте корневой годограф системы, имеющей передаточную функцию

$$D(z) = K \frac{z}{z^2 - z + 0.1} .$$

Определите диапазон значений  $K$ , при которых система устойчива.

6. Шлифовальный станок имеет передаточную функцию

$$G(s) = \frac{10}{s^2 + 5s}$$

Для повышения качества обработки поверхности предлагается использовать цифровую систему управления, в которой компьютер представлен передаточной функцией  $D(z)$ . В синтезируемой системе запас по фазе должен составлять не менее  $45^\circ$ , а время установления (по критерию 2 %) должно быть менее 1 с.

Чтобы удовлетворить выдвинутым требованиям, синтезируйте регулятор с непрерывной передаточной функцией

$$W(s) = K \frac{s + a}{s + b}$$

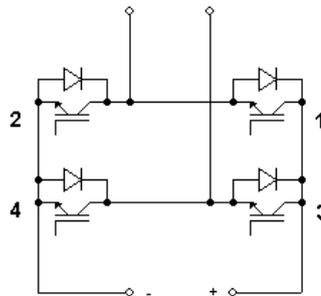
Считая, что период квантования  $T = 0,02$  с. преобразуйте  $W(s)$  в  $W(z)$ .

Промоделируйте непрерывную систему при единичном ступенчатом входном сигнале.

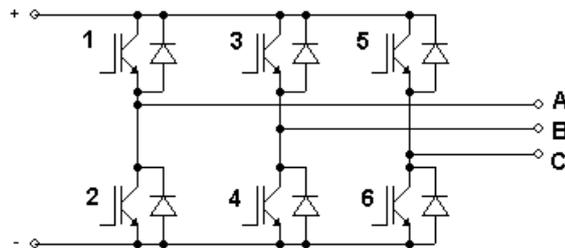
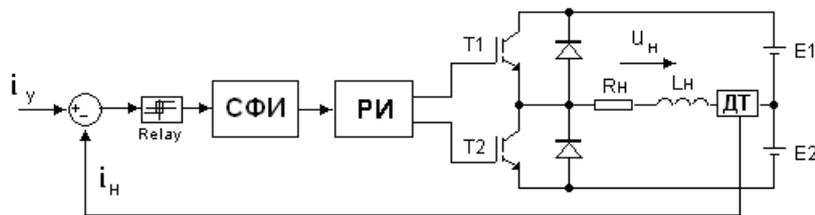
Промоделируйте дискретную систему при единичном ступенчатом входном сигнале.

Сравните результаты и сделайте соответствующие выводы.

7. Напишите программу на языке MATLAB для управления ШИМ инвертором:



8. Напишите программу на языке Си для управления ШИМ инвертором:



9. На простейшей схеме токового релейного широтно-импульсного регулятора выделите область, для которой возможна замена на микропроцессорный регулятор и составьте программную реализацию

10. Система с единичной обратной связью в номинальном режиме имеет характеристическое уравнение

$$q(s) = s^3 + 3s^2 + 3s + 6 = 0.$$

Коэффициенты уравнения изменяются в следующих пределах:

$$2 \leq a_2 \leq 3, 1 \leq a_1 < 3, 3 \leq a_0 \leq 5.$$

Определите, является ли система устойчивой при этих неопределенных коэффициентах, если период выборки  $T_s = 1$  мс.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

##### Вопросы к экзамену:

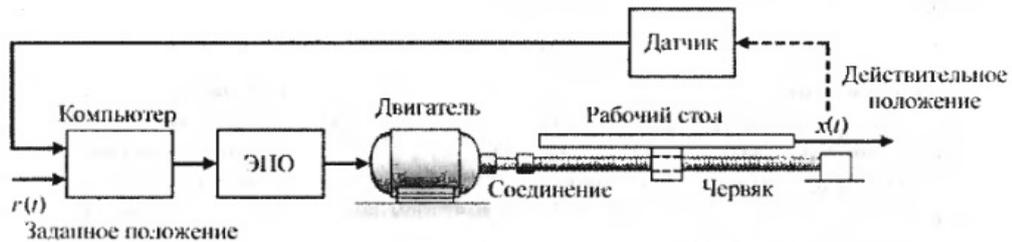
1. Ведение. Классификация сигналов и систем. Разомкнутые и замкнутые системы. Цифровой компьютер. Особенности цифровых систем.
2. Методы исследования цифровых систем. Квантование непрерывных сигналов. Квантование по времени и уровню. Теорема Котельникова-Шеннона.
3. Эффект поглощения частот.
4. Цифровые законы управления. Линейные законы управления.
5. Восстановление непрерывных сигналов. Экстраполяторы. Фиксаторы нулевого и первого порядка.
6. Линейные дискретные системы. z-преобразование.
7.  $\zeta$ -преобразование.

8. Дискретная передаточная функция. Нули и полюса.
9. Модели в пространстве состояний.
10. Физическая реализуемость.
11. Устойчивость по А.М. Ляпунову.
12. Устойчивость линейных систем.
13. Критерии устойчивости (алгебраические, Михайлова, Найквиста).
14. Понятие стабилизируемости. Нестабилизируемые объекты.
15. Множество стабилизирующих регуляторов. Особый случай.
16. Грубость стабилизирующих регуляторов.
17. Дискретизация непрерывных процессов.
18. Квантование непрерывных функций.
19. Восстановление непрерывных функций.
20. Аналоговые и импульсные модели дискретных сигналов. Процессы между моментами квантования.
21. Передаточные функции цифровых систем.
22. Разомкнутые и замкнутые системы. Всегда ли система имеет передаточную функцию.
23. Параметрическая передаточная функция.
24. Устойчивость цифровых систем. Скрытые колебания.
25. Показатели качества. Переходные процессы. Запасы устойчивости. Ошибка в установившемся режиме. Робастность.
26. Синтез цифровых регуляторов. Переоборудование непрерывных регуляторов.
27. Численное интегрирование. Частотная коррекция.
28. Фиктивное квантование.
29. Размещение полюсов.
30. Эквивалентная дискретная система.
31. Физическая реализуемость регулятора.
32. Пример синтеза регулятора. Размещение полюсов в плоскости  $\zeta$ .
33. Синтез регулятора по эталонной модели.
34. Полиномиальный алгоритм синтеза регулятора.
35. Синтез с помощью билинейного преобразования.
36. Управление с помощью ЭВМ. Источники ошибок квантования.
37. Аналоговый вход. Центральный процессор. Аналоговый выход.
38. Объединение цифровых алгоритмов управления и исполнительных устройств.
39. Автоматизированные методы проектирования алгоритмов управления.
40. Тенденции развития современных систем с цифровым программным управлением.
41. Жесткие требования к характеристикам современного электропривода (динамические, точностные). Требованиями к программному обеспечению.

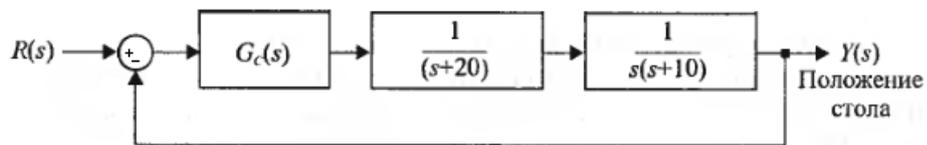
- 42. Особенность программирования для микроконтроллеров.
- 43. Языки программирования: Ассемблер и Си. Общие сведения о языке программирования Си. Использование стандартных библиотек.
- 44. Отладочные среды.
- 45. Программирование на Си.
- 46. Базовые возможности языка программирования Си.
- 47. Операторы ветвления. Операторы организации циклов. Работа с указателями.
- 48. Указатели и массивы. Функции в языке Си.
- 49. Доступ к регистрам встроенных периферийных устройств.
- 50. Работа с памятью данных. Система прерываний микроконтроллеров.
- 51. Отладка программ в реальном времени.
- 52. Работа с библиотекой.

**Решение задач:**

1. Система регулирования положением рабочего стола имеет вид:



Структурная схема данной САР:



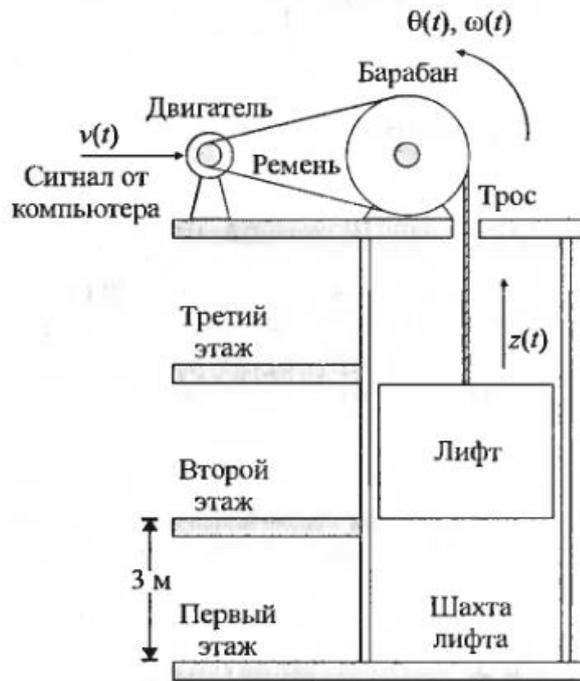
где  $G_c(s)$  – регулятор.

Синтезируйте дискретный линейный регулятор, чтобы время переходного процесса было как можно меньше, а перерегулирование не превышало 5%.

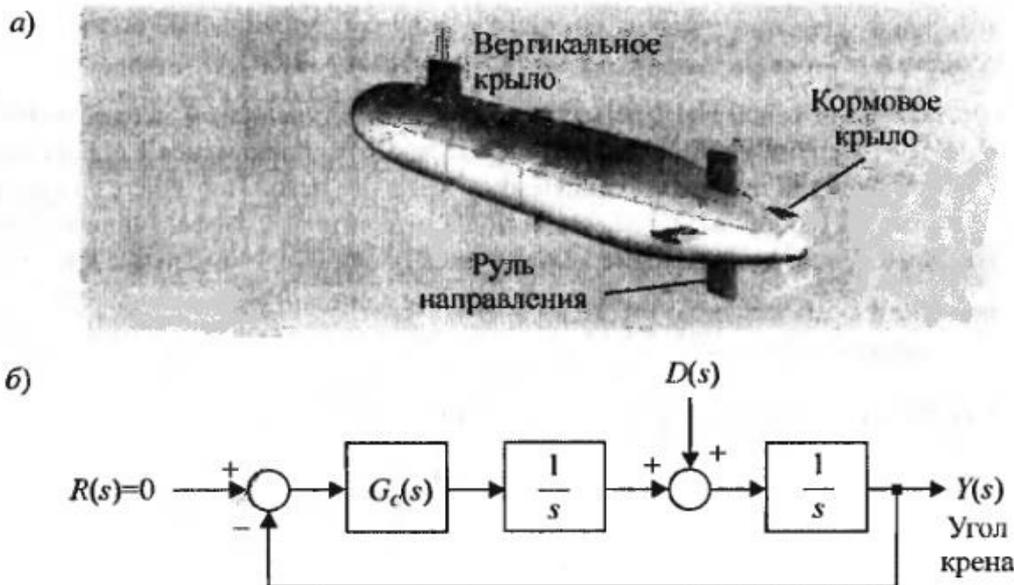
2. Система управления лифтом должна обеспечивать высокую скорость его движения и остановку точно на заданном этаже, как показано на рис. В лифте может находиться от одного до трех пассажиров, однако вес лифта должен быть больше, чем вес всех пассажиров. Считайте, что кабина лифта весит 400 кг, а вес каждого пассажира равен 60 кг.

Синтезируйте дискретную систему управления положением кабины лифта, обладающую точностью 1 см. В качестве исполнительного устройства используйте мощный двигатель постоянного тока, управляемый по цепи возбуждения. Считайте, что постоянная времени двигателя вместе с нагрузкой равна 1 с, постоянная времени усилителя мощности, предшествующего двигателю, равна 0,5 с, а постоянная времени обмотки возбуждения пренебрежимо мала. Требуется, чтобы при ступенчатом входном сигнале перерегулирование не превышало 6 %, а время установления (по критерию 2

%) было менее 4 с.



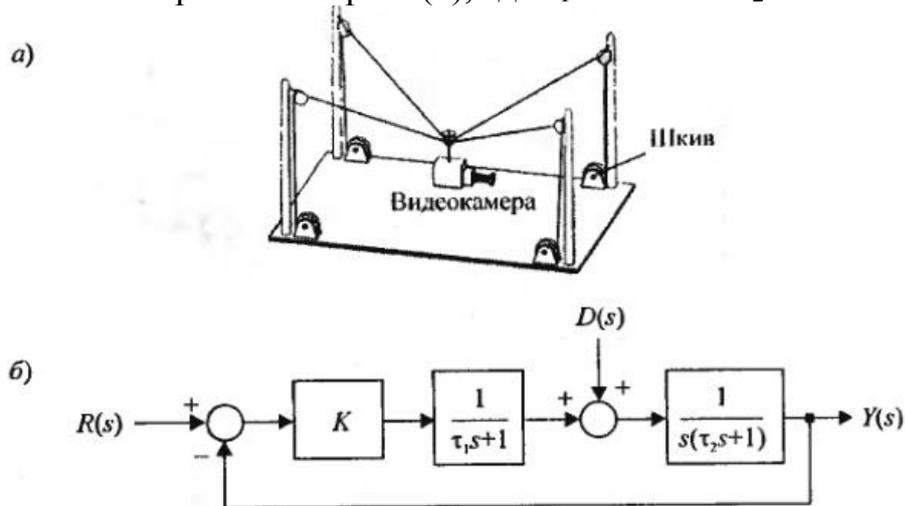
3. В последние годы значительно возрос интерес к созданию автоматических подводных аппаратов различного назначения. Они могут быть использованы для доставки со дна предметов, обнаружения мин, наблюдения за прилегающим пространством. Независимо от назначения таких аппаратов, системы управления ими должны обладать высокой надежностью и робастностью. Один из таких подводных аппаратов изображен на рис.(а).



Он имеет длину около 10 м, в его носовой части установлено вертикальное крыло. Управление положением аппарата осуществляется с помощью кормовых крыльев, руля направления и гребного винта. В данной задаче речь идет об управлении углом наклона аппарата относительно продольной оси с помощью кормовых крыльев. Структурная схема системы управления

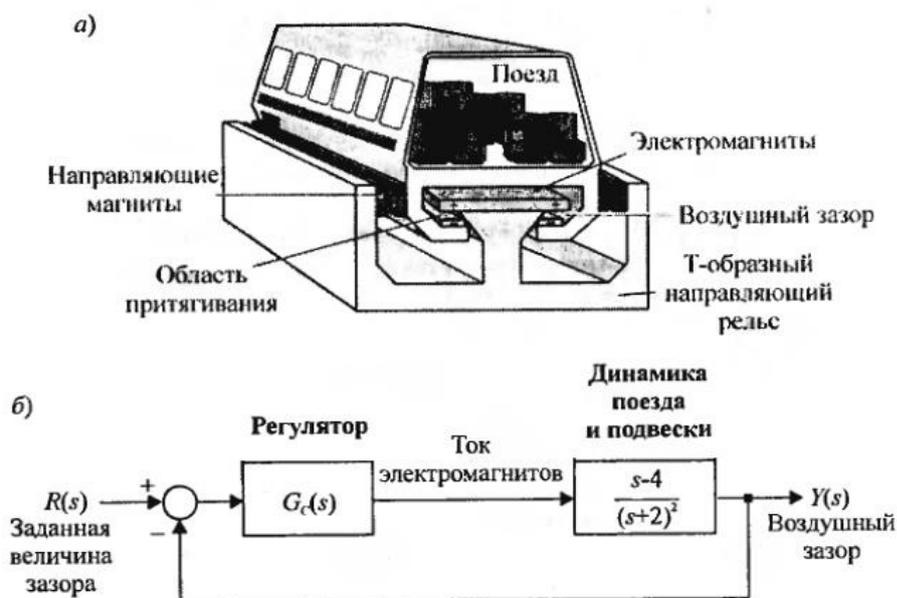
изображена на рис.(б), где заданное значение угла  $R(s) = 0$ , а  $D(s) = 1/s$ . Выбран регулятор с передаточной функцией  $w(s) = K(s+2)$ , где  $K = 4$ , постройте диаграмму Боде по сигналу управления, если период дискретизации  $T_s = 0.1$  с.

4. На рис.(а) изображена дистанционно управляемая подвешенная видеокамера, созданная для обслуживания профессиональной футбольной лиги. Камера может перемещаться в любом из трех направлений, за счет чего ее обзору доступно все поле. Система управления приводом каждого рычажного блока изображена на рис. (б), где  $\tau_1 = 20$  мс и  $\tau_2 = 2$  мс.



Управление осуществляется микроконтроллером со временем выборки  $T_s = 0.1$  мс. Выберите коэффициент  $K$ , обеспечивающий максимальное быстродействие замкнутой системы; оцените влияние возмущения  $D(s) = 1/s$  на выходную переменную  $y(t)$ , построив ее график при коэффициенте  $K$ , найденном в п. (а).

5. Поезда на магнитной подвеске могут заменить самолеты при перевозке пассажиров на расстояние до 350 км. Один из таких поездов, разработанный в Германии, способен перевозить до 400 пассажиров со скоростью 480 км/ч. Однако очень трудно поддерживать постоянный зазор между днищем поезда и направляющим рельсом, величина которого составляет всего 6 мм. На рис.(а) схематически изображен поезд на магнитной подвеске, а на рис.(б) приведена структурная схема системы управления величиной воздушного зазора.



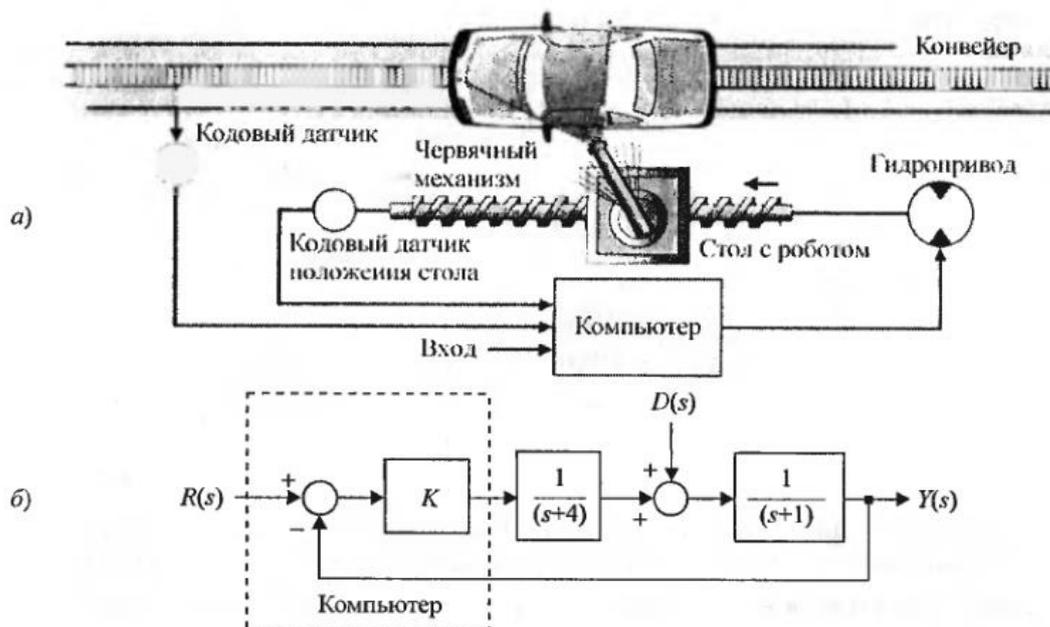
Регулятор имеет передаточную функцию

$$G(s) = \frac{K(s + 2)}{s + 12}$$

Период выборки  $T_s = 10$  мс.

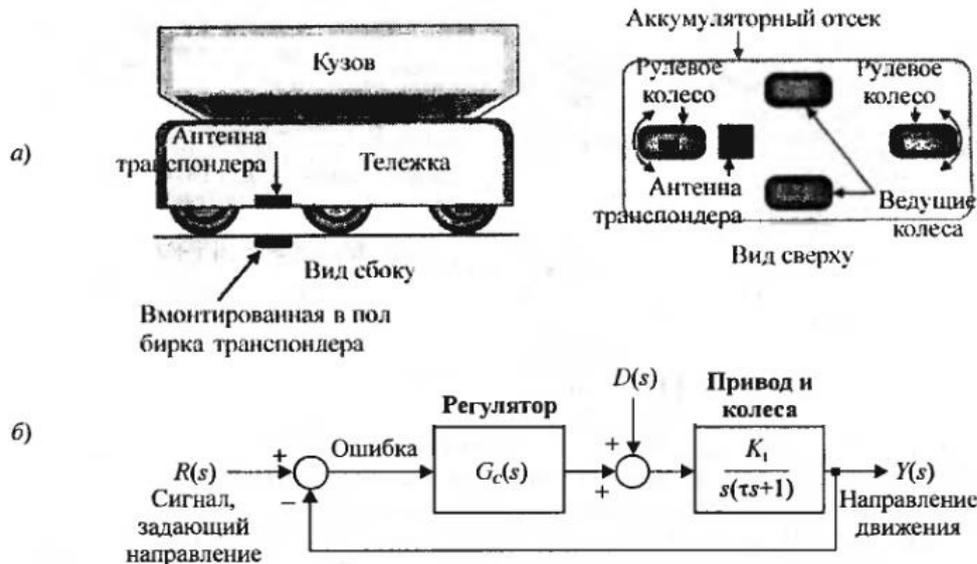
Определите диапазон значений  $K$ , при которых система является устойчивой. Выбрав  $K$  в 2 раза меньше значения, предельно допустимого из соображений устойчивости, определите реакцию системы  $y(t)$  на единичный ступенчатый входной сигнал.

6. На рис.(a) изображена система управления роботом, осуществляющим покраску корпуса автомобиля. Требуется исследовать поведение системы при значениях  $K = 1, 10$  и  $20$ .



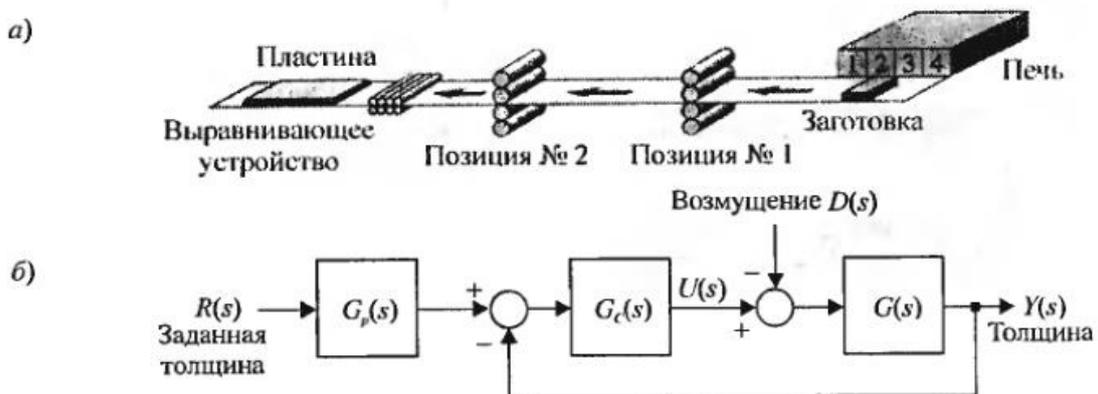
(a) Для указанных трех значений  $K$  определите  $\sigma_{rel}$ , относительное перерегулирование, время установления (по критерию 2 %) и установившуюся ошибку при ступенчатом входном воздействии.

7. На рис.(а) изображено автоматически управляемое транспортное средство, а на рис.(б) - структурная схема системы управления. Система должна обеспечивать движение точно по заданному маршруту, быть нечувствительной к изменению коэффициента  $K_1$  и эффективно ослаблять влияние возмущения. Номинальные значения параметров  $K_1 = 1$  и  $\tau = 1/25$  с.



(а) Выберите регулятор  $G_c(s)$  так, чтобы при ступенчатом входном сигнале перерегулирование не превышало 10 %, время установления (по критерию 2 %) было менее 100 мс и коэффициент ошибки по скорости  $K_v$ , равнялся 100.  
 б) определите переходную характеристику системы и сравните показатели качества с заданными в п. (а),

8. Обжимный прокатный стан (слябинг) предназначен для превращения разогретых заготовок в стальные пластины заданного размера и толщины. Конечным продуктом являются пластины прямоугольной формы шириной до 3300 мм и толщиной 180 мм.



Схематически слябинг изображен на рис.(а). Он имеет две основных позиции с валками, обозначенные номерами 1 и 2. Валки, диаметр которых достигает 508 мм, приводятся во вращение мощными (до 4470 кВт) электродвигателями. Необходимый зазор между валками и развиваемое ими усилие обеспечиваются с помощью больших гидроцилиндров. Работу слябинга кратко можно описать следующим образом. Заготовки, выдаваемые из печи

для разогрева, сначала проходят через позицию №1, которая должна довести их до заданной ширины. Затем они проходят через позицию №2, которая обеспечивает заданную толщину, и, наконец, попадают на выравнивающее устройство, которое придает пластине гладкую поверхность.

На рис.(б) изображена структурная схема системы управления валками, обеспечивающими заданную толщину пластин. Объект управления имеет непрерывную передаточную функцию; время дискретизации  $T_s = 10$  мс.

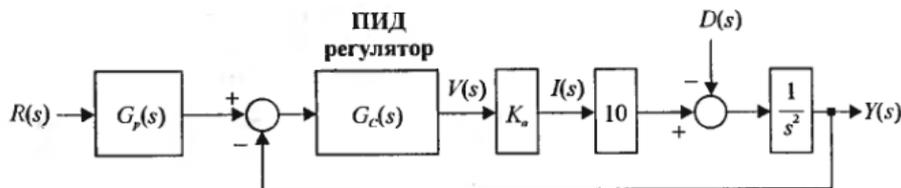
$$G(s) = \frac{1}{s(s^2 + 4s + 5)}$$

Передаточная функция ПИД-регулятора  $C_c(s)$  имеет два одинаковых вещественных нуля. (а) Выберите нули и коэффициенты ПИД-регулятора так, чтобы характеристическое уравнение замкнутой системы имело две пары одинаковых корней.

(б) Считая, что предшествующий фильтр отсутствует, т. е.  $C_p(s) = 1$ , получите переходную характеристику системы, синтезированной в п. (а).

9. На рис. изображена система управления, в состав которой входят двигатель и нагрузка с пренебрежимо малым трением, а также преобразователь напряжения в ток с коэффициентом  $K_a$ . Инженер решил использовать в этой системе цифровой ПИД-регулятор со временем дискретизации  $T_s = 10$  мс.

$$G_c(s) = 5 + \frac{500}{s} + 0.0475s,$$

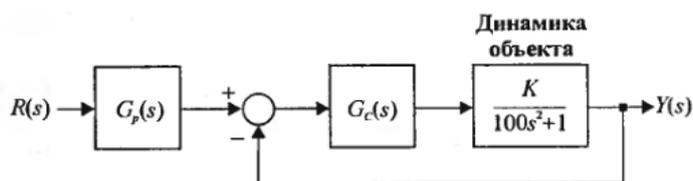


(а) Определите значение  $K_0$  при котором запас по фазе в системе будет равен  $42^\circ$ .

(б) Постройте корневой годограф системы и определите положение корней, соответствующее коэффициенту  $K_0$  найденному в п. (а),

(в) Определите реакцию системы на ступенчатый входной сигнал  $R(t)$  при наличии и при отсутствии предшествующего фильтра.

10. Чтобы минимизировать влияние вибраций на положение телескопа, используется магнитная подвеска. Благодаря этому также исключается трение в системе управления азимутальной ориентацией. Фотодатчики этой системы вместе с электрическими соединениями можно смоделировать в виде пружины, имеющей коэффициент упругости 1 кг/м. Масса телескопа равна 100 кг. Структурная схема системы приведена на рис. Синтезируйте цифровой ПИД-регулятор со временем дискретизации  $T_s = 10$  мс так, чтобы коэффициент ошибки по скорости  $K_v$  был равен 100, а максимальное перерегулирование при ступенчатом входном сигнале не превышало 5 %.



### 7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Цифровые сигналы и системы	ПК-2, УК-1	Тест
2	Экстраполяция, реали-зуюемость, устойчи-вость, стабилизируе-мость	ПК-2, УК-1	защита лабораторных работ; работающая модель
3	Дискретизация непрерывных процессов. Качество переходных процессов.	ПК-2, УК-1	защита лабораторных работ; работающая модель
4	Синтез цифровых регуляторов	ПК-2, УК-1	защита лабораторных работ; работающая модель
5	Управление с помощью ЭВМ.	ПК-2, УК-1	защита лабораторных работ, работающая модель
6	Программирование на Си	ПК-2, УК-1	защита лабораторных работ, работающая модель

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно

методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Шапкарина, Г. Г. Основы цифрового управления. Основные понятия и описание цифровых систем управления. Часть 1: учебное пособие / Г. Г. Шапкарина. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2009. — 63 с. — ISBN 2227- 8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/56100.html>

2. Рыбак, Л. А. Теория автоматического управления. Часть II. Дискретные системы: учебное пособие / Л. А. Рыбак. — Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. — 65 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/28401.html>

3. Григорьев В.В. Цифровые системы управления: учебное пособие / В. В. Григорьев, С. В. Быстров, В. В. Бойков [и др.]. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2011. — 133 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/71514.html> 4. Фурсов В.Б. Моделирование в системе SIMULINK: учебное пособие. – Воронеж. гос. техн. ун-т; 2004. 56 с.

4. Гаврилов, Е. Б. Цифровые системы управления. Сборник задач для индивидуальных заданий: учебное пособие / Е. Б. Гаврилов, Г. В. Саблина. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 44 с. — ISBN 978-5-7782-1435-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/45454.html>

5. Программное обеспечение встроенных вычислительных систем / А. О. Ключев, П. В. Кустарев, Д. Р. Ковязина, Е. В. Петров. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2009. — 212 с. — ISBN 2227-8397. — Текст :

электронный // Электроннобиблиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/68693.html>

6. Федосенков, Б. А. Теория автоматического управления: современные разделы теории управления: Учебное пособие / Б. А. Федосенков. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. — 153 с. — ISBN 978-5-89289-863-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/61292.html>

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

1. LibreOffice;
2. Microsoft Office Word 2013/2007;
3. Microsoft Office Excel 2013/2007;
4. Microsoft Office Power Point 2013/2007;
5. Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academi;c
6. ABBYY FineReader 9.0.
7. FEMM 4.2;
8. SciLab
9. MATLAB Classroom
10. Simulink Classroom

### **Отечественное ПО**

1. «Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ»».
2. Модуль «Программный комплекс поиска текстовых заимствований в открытых источниках сети интернет «Антиплагиат-интернет»».
3. Модуль обеспечения поиска текстовых заимствований по коллекции диссертаций и авторефератов Российской государственной библиотеки (РГБ).
4. Модуль поиска текстовых заимствований по коллекции научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

### **Ресурс информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

<http://www.edu.ru/>

Образовательный портал ВГТУ

## **Информационная справочная система**

1. <http://window.edu.ru>
2. <https://wiki.cchgeu.ru/>

## **Современные профессиональные базы данных**

1. Электротехника. Сайт об электротехнике  
Адрес ресурса: <https://electrono.ru>
2. Электротехнический портал  
<http://электротехнический-портал.рф/>
3. Силовая электроника для любителей и профессионалов  
<http://www.multikonelectronics.com/>
4. Электроцентр  
Адрес ресурса: <http://electrocentr.info/>
5. Netelectro  
Новости электротехники, оборудование и средства автоматизации. Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления  
Адрес ресурса: <https://netelectro.ru/>
6. Marketelectro  
Отраслевой электротехнический портал. Представлены новости отрасли и компаний, объявления, статьи, информация о мероприятиях, фотогалерея, видеоматериалы, нормативы и стандарты, библиотека, электромаркетинг  
Адрес ресурса: <https://marketelectro.ru/>
4. Электромеханика  
Адрес ресурса: <https://www.electromechanics.ru/>
7. Electrical 4U  
Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник»  
Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>
8. All about circuits  
Одно из самых крупных онлайн-сообществ в области электротехники. На сайте размещены статьи, форум, учебные материалы (учебные пособия, видеолекции, разработки, вебинары) и другая информация  
Адрес ресурса: <https://www.allaboutcircuits.com>
9. Библиотека ООО «Электропоставка»  
Адрес ресурса: <https://elektropostavka.ru/library>
10. Электрик  
Адрес ресурса: <http://www.electrik.org/>
11. Чертижи.ru  
Адрес ресурса: <https://chertezhi.ru/>
12. Электроспец  
Адрес ресурса: <http://www.elektrospets.ru/index.php>
13. Библиотека  
Адрес ресурса: WWER <http://lib.wwer.ru/>

## 9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Дисплейный класс.

### 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Дискретные системы программного управления»

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков моделирования систем управления электроприводов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.

Самостоятельная работа	<p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>