

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Первый проректор

  
(подпись)

« 31 » 03



20.03.2023 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.03 Цифровые системы управления роботами**  
(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки: 15.04.06 «Мехатроника и робототехника»  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность (профиль): Системы управления робототехническими комплексами  
(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа: магистратура  
(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения: очная  
(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения:	Очная
Семестр (ы)	1, 2
Общая трудоёмкость в ЗЕТ/часах	4,5/162
Контактная работа (час.)	57
лекции (час.)	17
практические (семинарские) занятия (час.)	-
лабораторные работы (час.)	34
Самостоятельная работа (час.), в том числе	69
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	2/27
Контроль (экзамен, час./зачёт)	экзамен, 36

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Цифровые системы управления роботами» составлена в соответствии с учебным планом по направлению подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника», направленность (профиль) – «Системы управления робототехническими комплексами» для 2023 года приёма по очной форме обучения.

Составитель:

Доцент кафедры электропривода и автоматизации  
промышленных установок, к.т.н., доцент,

\_\_\_\_\_  
(подпись) **Мирошник Д.Н.**  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок».

Протокол от «07» 03 2023 года № 9.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) **Розкаряка П.И.**  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника».

Протокол от «16» 03 2023 года № 4

Председатель \_\_\_\_\_  
(подпись) **Гусев В.В.**  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок.

Протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок.

Протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок.

Протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

## 1. ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает вопросы *расчета и программирования типовых цифровых систем управления, применяющихся в электромеханических системах.*

Цель дисциплины: ознакомление с теорией и практикой цифровых систем управления и цифрового регулирования в электромеханических системах, а также овладение навыками синтеза цифровых систем для решения задач управления координатами электроприводов.

Задачи дисциплины: научить студента выполнять исследовательские и расчетные работы по созданию и внедрению в эксплуатацию цифровых систем регулирования с широким использованием средств современной вычислительной техники.

В результате освоения дисциплины студент должен

*знать:*

- основные принципы и схемы цифрового автоматического регулирования координат электропривода, их математическое описание;

- фундаментальные математические основы анализа процессов в цифровых линейных системах;

- программные и аппаратные возможности современных плат отладки;

- основные методы постановки технических заданий, разработки и использования средств автоматизации при проектировании цифровых электромеханических систем;

- современные требования к энергосбережению и меры по их повышению;

*уметь:*

- проектировать и осуществлять наладку систем цифрового регулирования координат электропривода;

- читать принципиальные схемы цифровых систем регулирования;

- работать с дискретными датчиками; работать с современными микропроцессорными платами отладки;

- работать с преобразовательными устройствами для управления двигателем;

- подбирать необходимые методы постановки технических заданий, разработки и использования средств автоматизации при проектировании цифровых электромеханических систем;

*владеть:*

- навыками практической постановки технических заданий, разработки и использования средств автоматизации при проектировании цифровых электромеханических систем.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК-3 - способностью эксплуатировать и проводить ремонт мехатронных и робототехнических систем и их элементов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: теория электропривода, теория автоматического управления, системы управления электроприводами, электроника и микросхемотехника, микропроцессорные устройства, элементы систем автоматизированного электропривода, электрические машины.

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при изучении следующих дисциплин: программная реализация микропроцессорных систем; системы программного управления робототехническими комплексами; а также

при выполнении научно-исследовательской работы и выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

№ те- мы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная / заочная форма)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Практ. (Семина.)	Лабор.	СРС
1	<i>Введение</i>	1	1			-
2	<i>Отладочная плата STM32F4Discovery</i>	14	2		10	2
3	<i>Цифровое регулирование в электромеханических системах</i>	8	2			6
4	<i>Универсальный асинхронный приемопередатчик</i>	8	2		4	2
5	<i>Широтно-импульсная модуляция при управлении двигателями</i>	14	2		6	6
6	<i>Работа с дискретными датчиками.</i>	8	2		4	2
7	<i>Особенности работы с АЦП и ЦАП</i>	14	2		4	8
8	<i>Работа с аналоговыми датчиками</i>	12	2			10
9	<i>Режим замкнутой системы «Hardware-in the loop»</i>	14	2		6	6
Курсовая работа		27	-		-	27
Контактная работа (дополнительная)		6				
Итого по видам занятий		126	17		34	69
Контроль		36				
Итого:		<b>162</b>				

#### Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на выработку компетенции
ПКЗ	Темы 1-9, курсовая работа

### 3.2. Лекции

#### Тема 1. **ВВЕДЕНИЕ.**

Содержание темы 1: *Дисциплина „ Цифровое регулирование в электромеханических системах”. Задачи курса. Взаимосвязь с дисциплинами электроника и микросхемотехника, микропроцессорные системы, теория автоматического управления и др. Понятие о цифровом регулировании электроприводом и элементной базе.*

Литература к теме 1: [[1](#), [2](#), [4](#)]

#### Тема 2. **Микропроцессорная отладочная плата STM32F4Discovery.**

Содержание темы 2: *Описание отладочной платы и контроллера STM32F407VGT6 с ядром Cortex-M4F. Архитектура ARM и 32-разрядных микроконтроллеров STM.*

Литература к теме 2: [[1](#), [2](#), [4](#), [5](#), [6](#), [7](#)]

#### Тема 3. **Цифровое регулирование в электромеханических системах**

Содержание темы 3: *Z-преобразование и цифровые передаточные функции. Примеры цифровой фильтрации данных и реализации счетчиков. Взаимосвязь программного обеспечения и реализация базовых принципов цифрового регулирования при помощи Z-преобразования.*

Литература к теме 3: [[1](#), [2](#), [4](#)]

#### Тема 4. **Универсальный асинхронный приемо-передатчик.**

Содержание темы 4: *Описание интерфейса RS-232. Достоинства и недостатки UART, временные диаграммы работы, особенности работы в асинхронном и синхронном режиме. Особенности работы и настройки модулей UART платы STM32F4. Примеры: КОМПЬЮТЕР-ПЛАТА, СМАРТФОН-ПЛАТА.*

Литература к теме 4: [[1](#), [3](#)]

#### Тема 5. **Широтно-импульсная модуляция при управлении двигателями**

Содержание темы 5: *Описание возможностей работы ШИМ-генераторов платы. Характеристика простейших маломощных драйверов управления двигателями. Подключение платы к драйверу и двигателю. Программирование генератора ШИМ.*

Литература к теме 5: [[1](#), [3](#)]

#### Тема 6. **Работа с дискретными датчиками.**

Содержание темы 6: *Описание интерфейсов SPI и I2C. Принципы работы с акселерометрами, гироскопами, магнитометрами.*

*Описание особенностей работы датчика приближения.*

*Дискретные датчики угла поворота. Использование квадратурного алгоритма.*

Литература к теме 6: [[1](#), [3](#)]

#### Тема 7. **Особенности работы с АЦП и ЦАП**

Содержание темы 7: *Описание периферийных модулей АЦП и ЦАП. Особенности подключения к ним внешних устройств. Примеры программирования.*

Литература к теме 7: [[1](#), [3](#)]

#### Тема 8. **Работа с аналоговыми датчиками**

Содержание темы 8: *Датчики тока и напряжения, их классификация, особенности подключения к микроконтроллеру. Примеры схем подключения и расчета коэффициента передачи и инерционности.*

Литература к теме 8: [[1](#), [3](#)]

#### Тема 9. **Режим замкнутой системы «Hardware-in the loop».**

Содержание темы 9: *Описание различных режимов работы микропроцессорных систем охваченных обратными связями. Примеры построения таких режимов с использованием платы.*

Литература к теме 9: [[1](#), [2](#), [4](#), [5](#), [6](#), [7](#)]

### 3.3. Практические (семинарские) занятия не предусмотрены

### 3.4. Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час.	Литера- тура
1	Лабораторная работа №1-1. Программирование цифровых выходов.	4	[1, 3, 5, 6, 7]
2	Лабораторная работа №1-2. Программирование цифровых входов.	6	[1, 3, 5, 6, 7]
3	Лабораторная работа №1-3. Программирование модуля UART	4	[1, 3, 5, 6, 7]
4	Лабораторная работа 1-4. Управление двигателем постоянного тока в разомкнутой системе.	6	[1, 2, 4, 7]
5	Лабораторная работа 1-5. Изучение принципов подключения цифровых датчиков	4	[1, 2, 4, 5, 6, 7]
6	Лабораторная работа №1.6. Изучение принципов подключения аналоговых датчиков	4	[1, 2, 4, 5, 6, 7]
7	Лабораторная работа №1-7. Настройка системы управления в режиме «close loop»	6	[1, 2, 4, 5, 6, 7]
Итого:		34	

### 3.5. Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час.
1	Изучение лекционного материала	22
2	Подготовка к лабораторным работам	20
3	Выполнение индивидуальной работы	-
4	Выполнение курсовой работы	27
Итого:		69

### 3.6. Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Курсовая работа [5] по дисциплине предусмотрена учебным планом во втором семестре. Тематика курсовой работы связана с разработкой цифровой системы управления механических координат электропривода постоянного тока, расчетом и выбором оборудования системы управления, синтезом регуляторов системы автоматического регулирования, исследованием системы методом математического моделирования, разработкой принципиальной схемы соединений.

Объем учебной нагрузки при выполнении курсовой работы – 36 часов.

Объем курсовой работы – не более 40 страниц сброшюрованных рукописного или ма-

пинописного текста. Студент обязан оформить работу в соответствии с установленными требованиями.

Индивидуальное задание предусмотрено учебными планами для студентов заочной формы обучения. Оно связано с выполнением расчетно-графической работы, которая направлена на закрепление знаний, полученных во время лекционных занятий и связано с расчетом параметров схемы двигателя постоянного тока и созданием для него модели цифровой системы управления.

Объем учебной нагрузки при выполнении индивидуального задания – 9 часов.

Рекомендуемый объем пояснительной записки по индивидуальному заданию – не более 6 страниц формата А4 (210×297 мм).

## 4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

#### *Составляющая компетенции – полнота знаний*

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

#### *Составляющая компетенции – умения*

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;
- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу;
- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой производственный опыт.

#### *Составляющая компетенции – владение навыками*

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;
- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;
- средний уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;
- высокий уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

#### *Обобщенная оценка сформированности компетенций*

- нулевой уровень: на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- минимальный уровень: на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- пороговый уровень: на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- средний уровень: на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- продвинутый уровень: на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;
- высокий уровень: на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

### **4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета**

1. Какие достоинства цифровых систем регулирования электромеханических систем?
2. Приведите примеры цифроаналоговых преобразователей?
3. Что такое периферийное устройство? Какие известны примеры периферийных устройств?
4. Зачем нужен драйвер? Чем отличается драйвер на ввод и на вывод?
5. Дайте расшифровку ARM?
6. Какие возможности платы STM32F4?
7. Какие функции Waijung Blockset и stm32f4target?
8. Зачем преобразовывать непрерывные функции в дискретные?
9. Какие известны способы преобразования непрерывных функций (точные и приближенные)?
10. Какие особенности реализации дискретных интеграторов?
11. Как выполнить ограничение выходного сигнала пропорционально-интегрального регулятора?
12. Что значит USART? Чем он отличается от UART?
13. Какие достоинства и недостатки USART?
14. Что такое стартовый/стоповый бит? Как определить что началась/закончилась передача/получение данных?



15. Что такое бит четности, нужно ли его использовать?
16. Сколько модулей USART содержит плата STM32F4?
17. Что значит программа TARGET и HOST?
18. Какие настройки модуля USART нужно использовать для передачи/получения данных в TARGET. Какие блоки нужно использовать в модели HOST для передачи/получения данных и какие на какие параметры нужно обратить внимание для корректной работы?
19. Какие форматы данных можно передавать по USART, и какие и почему рекомендуется использовать?
20. Чем отличается биполярная ШИМ от униполярной?
21. Чем отличается блок advanced PWM от обычного PWM? На какие настройки необходимо обратить внимание?
22. В каких случаях на драйвере необходимо устанавливать 4 обратных диода, в каких – достаточно 2?
23. Что такое комплементарное управление и как оно реализовано в блоках ШИМ?
24. Чем отличается режим push-pull от open-drain?
25. С какими входными данными работает блок ШИМ?
26. Сколько блоков ШИМ можно использовать в микропроцессоре? Как таймеры отличаются по функциональности?
27. Как работает захват ШИМ и область его применения?
28. Область применения, достоинства и недостатки интерфейсов SPI и I2C?
29. Можно ли использовать датчик приближения без согласования уровней напряжения с цифровыми входами и выходами STM32F4?
30. Какие регистры цифрового компаса или акселерометра необходимо прописывать в программе?
31. Из каких частей состоит инкрементальный датчик угла поворота? Что такое импульсы в форме меандра?
32. Как работает квадратурный алгоритм Encoder read при вычислении угла поворота? Как его настроить?
33. Какие способы вычисления скорости наиболее предпочтительны? Как определить граничную частоту измерения скорости для разных способов вычисления? Как определить инерционность датчика скорости, угла поворота?
34. Перечислите число возможных подключений/выводов аналоговых сигналов в микропроцессоре?
35. С какими форматами данных работают АЦП и ЦАП в микропроцессоре?
36. Как влияет разрядность АЦП на его точность?
37. В каких случаях и с какой целью используется операционный усилитель при подключении аналоговых сигналов с датчиков тока и напряжения?
38. Как определить коэффициент передачи и инерционность датчиков тока (напряжения) на эффекте Холла компенсационного типа?
39. Как определить измерительное сопротивление в датчике тока на эффекте Холла компенсационного типа?
40. Какие особенности нужно учитывать при настройке системы управления в режиме «Hardware-in the loop»?
41. Опишите последовательность настройки системы управления в режиме «Hardware-in the loop»?

**Пример экзаменационного билета****Пример экзаменационного билета:**

ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Программа подготовки: магистратура

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Магистерская программа: Электромеханические системы автоматизации и электропривод

Семестр: 1

Учебная дисциплина: Цифровое регулирование в электромеханических системах

**БИЛЕТ № 1**

1. Составить 2 модели HOST и TARGET (Z-преобразования), причем первая описывается дифференциальным уравнением объекта регулирования, а вторая выполняет роль регулятора и программируется в плату STM32f4. Общий контур регулирования имеет настройку на модульный оптимум, малая некомпенсируемая инерционность равна шагу дискретности системы 1 мс.

Дано:  $E = L \frac{dI}{dt} + RI$ , регулируется ток.  $L = 0.001$  Гн;  $R = 0.1$  Ом;  $E = 10$  В. Заданное значение тока 10 А.

Роль преобразователей энергии выполняет преобразователь USB-UART.

Начертить схему соединения компьютера, платы, преобразователя.

Зав. кафедрой

Розкаряка П.И.

Экзаменатор

Мирошник Д.Н.

**КРИТЕРИИ****оценивания экзаменационной работы**

по дисциплине «Цифровое регулирование в электромеханических системах» для обучающихся по специальности 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (специализация – Электромеханические системы автоматизации и электропривод)

Экзамен проводится письменно по билетам. Билет содержит 1 вопрос, включающий теоретические положения и практические навыки в виде рисования схем, получения передаточных функций объекта, регулятора в цифровом виде, понимания функций микроконтроллера в отдельности и в системе управления в целом. При необходимости отвечающий должен сопроводить написанное поясняющей схемой (рисунком).

Вопросы охватывают теоретическую часть курса, а также требуют демонстрации практических навыков, полученных студентом в ходе лабораторных работ.

Правильный ответ на вопрос оценивается в 100 баллов. Если ответ не снабжен достаточной иллюстративностью снимается 20 баллов. За ошибки в формулах снимается 20 баллов. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос обучающийся получает ноль баллов. Полученные баллы за ответы на вопросы билета суммируются и с учётом результатов текущего контроля работы студента выводится итоговая оценка по 100-балльной шкале.

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS.

Утверждено на заседании кафедры электропривода и автоматизации  
промышленных установок, протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_.20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Розкаряка П.И.

**4.3 Критерии оценивания**

Оценивание уровня освоения студентом учебного материала дисциплины «Цифровое регулирование в электромеханических системах» производится в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации (семестрового контроля).

Текущий контроль знаний студента очной и заочной форм обучения осуществляется по результатам выполненных лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ с защитой отчёта, выполнение курсового проекта, предусмотренных рабочей программой дис-

циплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Распределение баллов текущего контроля работы студента на протяжении семестра приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение баллов текущего контроля

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
Для студентов очной и заочной форм обучения		
Отчёт по лабораторной работе	6	Задание выполнено правильно, полученные результаты обоснованы, приведен анализ полученного результата
	3	Задание выполнено в целом правильно, полученные результаты не всегда обоснованы, возникли трудности в объяснении полученных результатов
<b>Итого по лабораторным работам (максимально возможное)</b>	<b>42</b>	Из расчёта проведения семи лабораторных работ. Оцениваются результаты каждой лабораторной работы.
<b>ИТОГО</b>	<b>42</b>	Максимально возможное

**Промежуточная аттестация** по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена. Форма проведения экзамена – письменная. Экзаменационный билет включает в себя 1 теоретическое задание, состоящее из формирования функциональной и структурной схем системы управления и ее трансформацией к цифровой системе управления. При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 2.

Максимальное количество баллов за ответ на вопрос экзаменационного билета засчитывается студенту в случае, если ответ подтверждает владение студентом знаниями в полном объеме учебной программы, материал изложен в логической последовательности с выделением главного, содержит точные формулировки, сопровождается иллюстрирующими схемами и рисунками (при необходимости).

В случае, если ответ на вопрос не в полной мере отвечает приведенным требованиям, студенту засчитывается количество баллов, равное 10. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос студент получает 0 баллов.

Таблица 2 – Распределение баллов по семестровому экзамену

Форма контроля		Максимально возможное количество баллов
Ответ на вопросы экзаменационного билета	Правильные функциональная и структурная схемы	20
	Трансформация к цифровой системе управления	20
	Получение передаточной функции регулятора	18
<b>ИТОГО</b>		<b>58</b>

**Итоговая оценка** определяется путем суммирования количества баллов по результатам текущего контроля и количества баллов по результатам семестрового экзамена. **Максимально возможное количество баллов – 100.**

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS:

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	Удовлетворительно
60-69	E	
35-59	FX	Неудовлетворительно
0-34	F*	

\* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

#### 4.4 Курсовая работа

Согласно учебному плану по дисциплине «Цифровое регулирование в электромеханических системах» предусмотрено выполнение курсовой работы на тему «Разработка цифровой системы управления электроприводом постоянного тока».

Тематика курсового проекта связана с расчетом параметров объекта управления, подбором необходимых для системы управления датчиков, моделированием непрерывной и цифровой систем управления, отладкой цифровой системы управления в режиме «процессор в петле» и расчетом времени выполнения программы микроконтроллера.

Курсовая работа ориентирован на освещение и разработку следующих вопросов: создание цифровой системы управления, включая вопросы выбора оборудования и вычисление времени выполнения исполняемого файла.

При оценивании результатов выполнения курсового проекта руководствуются следующим распределением максимально возможного количества баллов по основным разделам работы:

№ п/п	Наименование раздела	Максимально возможное количество баллов
1	Расчет параметров двигателя.	20
2	Подбор оборудования	20
3	Моделирование непрерывной системы управления	20
4	Моделирование цифровой системы управления	20
5	Вычисление времени выполнения исполняемой программы цифровой системы управления.	20
<b>ИТОГО</b>		<b>100</b>

Оценивание раздела производится исходя из следующего:

– правильное и обоснованное (аргументированное) решение с использованием современных технологий и аппаратной базы, грамотное применение методики расчёта – максимально возможное количество баллов;

- правильное решение с замечаниями по обоснованию (изложение материала не всегда логичное), имеются замечания по выбору проектных решений, приведенному расчёту и использованию его результатов – от 1/3 до 2/3 от максимально возможного количества баллов;
- неверное решение, неумение выполнить расчет для принятия решения, получения необходимых результатов – ноль баллов.

Итоговая оценка по курсовой работе определяется суммированием набранных по разделам баллов.

## **5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### ***I Основная литература***

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А.С. Анучин. - 19 Мб. - М. : МЭИ, 2015. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/cd10247.pdf>.

2. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Биомедицинская инженерия" по направлению подготовки дипломированных специалистов "Биомедицинская техника" / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - 33 Мб. - Москва : КНОРУС, 2013. - 1 файл. - Систем. требования: Просмотрщик djvu-файлов.

<http://ed.donntu.org/books/cd5787.djvu>

### ***II Дополнительная литература***

3. Боровский, А. С. Программирование микроконтроллера Arduino в информационно-управляющих системах : учебное пособие / А. С. Боровский, М. Ю. Шрейдер. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 113 с. — ISBN 978-5-7410-1853-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/78913.html> (дата обращения: 09.02.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

4. Цифровые системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : монография / В. Г. Файнштейн, О. С. Воробейчик ; В.Г. Файнштейн, О.С. Воробейчик ; под ред. А.Д. Учителя. - 10 Мб. - Кривой Рог : КНУ, 2014. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/17/cd6771.pdf>

## **6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Учебно-методические издания, разработанные в ДонНТУ:**

5. Методические рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Цифровое регулирование в электромеханических системах» [Электронный ресурс]: для обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» форма обучения очная/заочная / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. Электропривод и автоматизация промышленных установок; сост.: Д. Н. Мирошник. – 3 Мб.— Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/m6042.pdf>.

6. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Цифровое регулирование в электромеханических системах» [Электронный ресурс]: для обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» форма обучения очная/заочная / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. Электропривод и автоматизация промышленных установок; сост.: Д. Н. Мирошник. – 2 Мб.— Донецк: ДОННТУ, 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/m6041.pdf>.

7. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине «Цифровое регулирование в электромеханических системах» [Электронный ресурс]: для обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» форма обучения очная/заочная / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. Электропривод и автоматизация промышленных установок; сост.: Д. Н. Мирошник. –833 Кб.— Донецк: ДОННТУ, 2020. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/m6040.pdf>.

### **Электронно-информационные ресурсы**

ЭБС ДонНТУ – <http://donntu.org/library>

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Лекционные занятия:**

Учебная аудитория №8.303 учебный корпус 8 для проведения занятий лекционного типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование: компьютер Intel Celeron E1200, операционная система Windows XP Professional x86/64 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 4.3.2.2, Google Slides (бесплатная версия), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, столы аудиторные, стулья ученические; демонстрационные стенды и плакаты).

### **7.2 Лабораторные занятия:**

Специализированная лаборатория №8.113, корпус 8 для проведения лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специализированное оборудование: робот-манипулятор Manus; 3Д принтер «Prusa i3 tronXY» (Китай), 3Д принтер, сделанный студентами (ДНР), 3Д принтер «Solidoodle» (США). Стенд 1. Лабораторный стенд для изучения параметрирования ПЧ фирмы Siemens при помощи базовой панели оператора: ПЧ Micromaster 440, 15 кВт, базовая панель оператора, двигатель АО2-51, 7.5 кВт. Стенд 2. Лабораторный стенд для изучения параметрирования ПЧ фирмы Siemens при помощи ПК: ПЧ Micromaster 440, 15 кВт; двигатель АО2-51, 10 кВт, модуль связи с ПК. Стенд 3. Лабораторный стенд для изучения механических характеристик асинхронного двигателя: ПЧ Altivar 5, 4 кВт, двигатель АК 52/6, 2.8 кВт; тиристорный преобразователь ЭТ6, 11 кВт; нагрузочная машина ПНФ-45, 3.6 кВт. Стенд 4. Лабораторный стенд для изучения цифровых систем управления тиристорным электроприводом постоянного тока: тиристорный преобразователь БТУ-3501, плата АЦП/ЦАП 5710 Octagon systems, плата гальванических развязок SCMPB05, двигатель ПБСТ-32, 1,2 кВт. Стенд 5. Лабораторный стенд для исследования одноконтурной системы регулирования скорости системы ТРН-АД: комплектная тиристорная станция управления ТСУР-ИП, двигатель АК60-4 с ф.р., 7 кВт, генератор постоянного тока П-52, 6.5 кВт. Стенд 6. Лабораторный стенд для изучения параметрирования ПЧ фирмы АВВ: ПЧ ACS-550, 4 кВт, двигатель 2АИ80В2ПАУ2, 2.2 кВт. Стенд 7. Лабораторный стенд для исследования системы электропривода с управлением по цепи возбуждения двигателя: исследуемая машина ПБСТ- 22, 0.6 кВт, тиристорный преобразователь возбудителя ЭТ-ЗР, 1 кВт. Стенд 8. Лабораторный стенд для исследования двухконтурной системы подчиненного регулирования: исследуемый двигатель ПБСТ-32, 0.8 кВт, реверсивный тиристорный преобразователь для исследуемой машины БТУ-3601, шкаф «Кедр-84», реверсивный тиристорный преобразователь ЭТ6 питания нагрузочной машины П-31, 0.7 кВт. Стенд 9. Лабораторный стенд для исследования цифровых систем управления на базе микроконтроллера STM32F4.

Приборное обеспечение: паяльная станция Lukey852d, источники питания Masteram MR3003M-2, Atten TPR3003T, Masteram Mr3003, электронный осциллограф SIGLENT SDS1072CML, плата АЦП m-DAQ, датчики напряжения LEM 55p, датчики напряжения CYHVS025A. Компьютерное обеспечение: компьютеры Pentium 4 cpu 3.2ghz, 1gb, 80gb, ОС - Windows XP Professional x86 и Windows 7 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 3.3.0.4 (бесплатная версия), программное обеспечение для работы с ПЧ фирмы АВВ «DriveWindowLight2» (бесплатная версия), программное обеспечение для работы с ПЧ фирмы Siemens «Drive Monitor» (бесплатная версия). Мультимедийный проектор, экран проекционный, специализированная мебель: доска передвижная, столы аудиторные, стулья ученические.

### **7.3 Самостоятельная работа:**

Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2,3 (компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС- Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 - общественная лицензия MPL 2.0, Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3, Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL).