



**Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»**

Рабочая программа учебной дисциплины

Цифровые системы управления в мехатронике

(Наименование дисциплины)

15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»

(Направление подготовки / Профиль)

Бакалавр

(Квалификация)

Кафедра разработчик

Естественных наук и профессиональных коммуникаций

Год набора

2027

Вид учебной деятельности	Трудоемкость (объем) дисциплины
	Очная форма
	д
Зачетные единицы	6
Общее количество часов	216
Аудиторные часы контактной работы обучающегося с преподавателями:	128
– Лекционные (Л)	64
– Практические (ПЗ)	64
– Лабораторные (ЛЗ)	
– Семинарские (СЗ)	
Самостоятельная работа обучающихся (СРО)	52
К (Р-Г) Р (П) (+;-)	
Тестирование (+;-)	
ДКР (+;-)	
Зачет (+;-)	
Зачет с оценкой (+;- (Кол-во часов))	
Экзамен (+;- (Кол-во часов))	+ (36)

Волгоград 2026

Содержание

Раздел 1. Организационно-методический раздел	3
Раздел 2. Тематический план.....	6
Раздел 3. Содержание дисциплины.....	7
Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся	9
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	11
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	15
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	18
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	19
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	22

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «**Цифровые системы управления в мехатронике**» входит в «часть, формируемую участниками образовательных отношений» подготовки обучающихся по направлению подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»**

Целью дисциплины является формирование **компетенций** (в соответствии с ФГОС ВО и требованиями к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО)):

ОПК-11. Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем

Дескрипторы компетенции:

ОПК-11.1. Способен разрабатывать алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем.

ОПК-11.2. Способен применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, применять цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем.

Перечисленные компетенции формируются в процессе достижения индикаторов компетенций:

Обобщенная трудовая функция/ трудовая функция	Код и наименование дескриптора компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенций (из ПС)
	ОПК-11.1. Способен разрабатывать алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые	Знает: ИД 1 ОПК-11.1 Основные типы стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики и измерительной техники, их элементов и способы их применения в рамках гибких производственных систем (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 2 ОПК-11.2 Методы алгоритмизации и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем (без привязки к профессиональному стандарту).

	алгоритмы и программы управления робототехнических систем. ОПК-11.2. Способен применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, применять цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем.	Умеет: ИД 3 ОПК-11.1 Применять в рамках гибких производственных систем и робототехнических изделий основные типы стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики и измерительной техники, их элементов (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 4 ОПК-11.2 Применять методы алгоритмизации и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем (без привязки к профессиональному стандарту). Имеет навыки: ИД 5 ОПК-11.1 Применения в рамках гибких производственных систем и робототехнических изделий основные типы стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики и измерительной техники, их элементов (без привязки к профессиональному стандарту); ИД 6 ОПК-11.2 Применения методов алгоритмизации и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем (без привязки к профессиональному стандарту).
--	---	---

**1.2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО
направления подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль)
«Мехатроника»**

№	Предшествующие дисциплины (дисциплины, изучаемые параллельно)	Последующие дисциплины
1	2	3
1.	Информационные технологии	Цифровая техника и электроника
2.		Цифровая обработка сенсорной информации

1.3. Нормативная документация

Рабочая программа учебной дисциплины составлена на основе:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»**;
- Учебного плана направления подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»** 2027 года набора;
- Образца рабочей программы учебной дисциплины (приказ № 113-О от 01.09.2021 г.).

**Раздел 2. Тематический план
Очная форма обучения (полный срок)**

№	Тема дисциплины	Трудоемкость				
		Все го	Аудиторные занятия		СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
			Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1. Введение в цифровые системы управления: квантование по времени и уровню, z-преобразование.	24	8	8	8	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
2	Тема 2. Математические модели цифровых систем: разностные уравнения и дискретные передаточные функции.	24	8	8	8	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
3	Тема 3. Цифровые регуляторы (ПИД): методы синтеза (метод размещения полюсов, билинейное преобразование).	22	8	8	6	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
4	Тема 4. Микроконтроллеры и сигнальные процессоры (DSP) как база систем реального времени.	22	8	8	6	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
5	Тема 5. Периферийные интерфейсы встраиваемых систем: АЦП, ЦАП, энкодеры и ШИМ-контроллеры.	22	8	8	6	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
6	Тема 6. Системы подчиненного регулирования координат электропривода робота (контуры тока, скорости, положения).	22	8	8	6	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
7	Тема 7. Управление движением многозвенных манипуляторов: планирование траекторий и синхронизация осей.	22	8	8	6	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
8	Тема 8. Промышленные сети передачи данных (Fieldbus): протоколы CAN, Modbus, EtherCAT в робототехнике.	22	8	8	6	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
Вид промежуточной аттестации(Экзамен)		36				
Итого		216	64	64	52	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в цифровые системы управления: квантование по времени и уровню, z-преобразование Понятие непрерывного и дискретного сигналов. Процесс аналого-цифрового преобразования (АЦП): выборка (*sampling*) с периодом T , эффект наложения частот (алиасинг) и теорема Котельникова (Найквиста-Шеннона). Квантование по уровню и ошибки округления. Математический аппарат: переход от преобразования Лапласа к z-преобразованию. Основные свойства z-преобразования и его использование для анализа устойчивости цифровых систем.

Тема 2. Математические модели цифровых систем: разностные уравнения и дискретные передаточные функции Описание поведения импульсной системы через линейные разностные уравнения. Дискретная передаточная функция $W(z)$. Структурные схемы цифровых систем: экстраполяторы нулевого порядка (*Zero-Order Hold — ZOH*), формирующие звенья. Понятие фиксатора. Переход от дифференциальных уравнений непрерывной части к разностным уравнениям эквивалентной цифровой системы.

Тема 3. Цифровые регуляторы (ПИД): методы синтеза (метод размещения полюсов, билинейное преобразование) Структура цифрового ПИД-регулятора. Прямой синтез алгоритма управления методом размещения корней характеристического уравнения на z-плоскости для обеспечения желаемого быстродействия. Метод билинейного (*tustin*) преобразования для перехода от настроек аналогового PID к коэффициентам цифрового ($s \rightarrow \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1}$ и $s \rightarrow Tz + 1z - 1$). Проблема интегрального насыщения (*anti-windup*) и способы её решения.

Тема 4. Микроконтроллеры и сигнальные процессоры (DSP) как база систем реального времени Архитектура микроконтроллеров (*STM32, Arduino*) и их отличие от универсальных ЭВМ. Гарвардская архитектура. Конвейер команд. Тактирование встраиваемых систем. Сигнальные процессоры (*DSP*): специализированные инструкции для операций умножения-накопления (*MAC*) и кольцевых буферов, необходимые для реализации быстрых фильтров в реальном времени.

Тема 5. Периферийные интерфейсы встраиваемых систем: АЦП, ЦАП, энкодеры и ШИМ-контроллеры Блоки периферии контроллера. Аналого-цифровой преобразователь: время преобразования, разрядность, режимы запуска (по таймеру/прерыванию). Широтно-импульсная модуляция (*ШИМ/PWM*): генерация сигнала для драйверов двигателей, *dead-time*. Счетчики импульсов (*Timer in Encoder Mode*) для обработки данных с квадратурных датчиков положения вала без участия центрального процессора.

Тема 6. Системы подчиненного регулирования координат электропривода робота (контуры тока, скорости, положения) Каскадная структура управления сервоприводом. Внутренний контур тока (самый быстрый), средний контур скорости и внешний контур положения. Настройка контуров методами технического и симметричного оптимума. Перекрестные связи в векторном управлении (*Field-Oriented Control — FOC*) синхронными двигателями: разделение каналов потокосцепления (ось d) и момента (ось q).

Тема 7. Управление движением многозвенных манипуляторов: планирование траекторий и синхронизация осей Пространство обобщенных координат и пространство задач (*Task Space*). Методы планирования траектории: точечное движение (*Point-to-Point*) и движение через промежуточные точки. Профили изменения скорости: трапецеидальный и S-образный (ограничение рывка/*jerk*). Задача интерполяции движения нескольких осей для обеспечения движения инструмента (*TCP*) по прямой линии или дуге.

Тема 8. Промышленные сети передачи данных (Fieldbus): протоколы CAN, Modbus, EtherCAT в робототехнике Уровни промышленной связи. Физический уровень и детерминизм. Протокол *Modbus RTU/TCP*: простота и широкое применение для опроса датчиков. Протокол *CAN/SJA1000*: арбитраж шины, надежность в автомобильной мехатронике и мобильных роботах. Протокол *EtherCAT*: обработка пакетов «на лету» (*on-the-fly*), микросинхронизация приводов для реализации электронных редукторов и сложных кинематических связей.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Введение в цифровые системы управления: квантование по времени и уровню, z-преобразование.
ПЗ 2	Тема 2. Математические модели цифровых систем: разностные уравнения и дискретные передаточные функции.
ПЗ 3, 4	Тема 3. Цифровые регуляторы (<i>ПИД</i>): методы синтеза (метод размещения полюсов, билинейное преобразование).
ПЗ 5	Тема 4. Микроконтроллеры и сигнальные процессоры (<i>DSP</i>) как база систем реального времени.
ПЗ 6, 7	Тема 5. Периферийные интерфейсы встраиваемых систем: <i>АЦП</i> , <i>ЦАП</i> , энкодеры и ШИМ-контроллеры.
ПЗ 8	Тема 6. Системы подчиненного регулирования координат электропривода робота (контуры тока, скорости, положения).

3.3. Образовательные технологии

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема занятия	Вид учебного занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	% учебного времени
1	2	3	4	5
1	Тема 1. Введение в цифровые системы управления: квантование по времени и уровню, z-преобразование.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Математические модели цифровых систем: разностные уравнения и дискретные передаточные функции.	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Цифровые регуляторы (<i>ПИД</i>): методы синтеза (метод размещения полюсов, билинейное преобразование).	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Микроконтроллеры и сигнальные процессоры (<i>DSP</i>) как база систем реального времени.	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Периферийные интерфейсы встраиваемых систем: <i>АЦП</i> , <i>ЦАП</i> , энкодеры и ШИМ-контроллеры.	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Системы подчиненного регулирования координат электропривода робота (контуры тока, скорости, положения).	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Управление движением многозвенных манипуляторов: планирование траекторий и синхронизация осей.	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Промышленные сети передачи данных (<i>Fieldbus</i>): протоколы <i>CAN</i> , <i>Modbus</i> , <i>EtherCAT</i> в робототехнике.	ПЗ	Деловая игра	75
Итого				29,68%

Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся

4.1. Организация самостоятельной работы обучающихся

№	Тема дисциплины	№ вопросов	№ рекомендуемой литературы
1	2	3	4
1	Тема 1. Введение в цифровые системы управления: квантование по времени и уровню, z-преобразование.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Математические модели цифровых систем: разностные уравнения и дискретные передаточные функции.	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Цифровые регуляторы (<i>ПИД</i>): методы синтеза (метод размещения полюсов, билинейное преобразование).	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Микроконтроллеры и сигнальные процессоры (<i>DSP</i>) как база систем реального времени.	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Периферийные интерфейсы встраиваемых систем: <i>АЦП</i> , <i>ЦАП</i> , энкодеры и ШИМ-контроллеры.	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Системы подчиненного регулирования координат электропривода робота (контуры тока, скорости, положения).	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Управление движением многозвенных манипуляторов: планирование траекторий и синхронизация осей.	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Промышленные сети передачи данных (<i>Fieldbus</i>): протоколы <i>CAN</i> , <i>Modbus</i> , <i>EtherCAT</i> в робототехнике.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. Сравнительный анализ методов аппроксимации при переходе от непрерывной модели к дискретной: метод Эйлера вперед/назад против билинейного преобразования (*Tustin*) и их влияние на точность фазочастотной характеристики.
2. Явление предельного цикла в цифровых системах управления с квантованием по уровню: математическое описание автоколебаний низкой амплитуды в контуре положения сервопривода.
3. Методы борьбы с интегральным насыщением (*Anti-Windup*) в ПИД-регуляторах мехатронных систем: алгоритмы сброса интегратора при ограничении управляющего сигнала *ШИМ*.
4. Реализация быстрых фильтров скользящего среднего и фильтра Калмана на базе сигнальных процессоров (*DSP*) для очистки сигналов токовых датчиков приводов роботов от высокочастотного шума переключения инвертора.
5. Бездатчиковое управление (*Sensorless Control*) синхронными двигателями: алгоритмы оценки углового положения ротора на основе расширенного фильтра Калмана (*EKF*) или анализа противо-ЭДС.
6. Адаптивное управление манипулятором при переменной полезной нагрузке: применение эталонной модели (*MRAC*) для автоматической перенастройки коэффициентов регуляторов контуров скорости.
7. Планирование траекторий во времени с учетом ограничений рывка (*Jerk-Limited Trajectory Planning*): использование полиномов пятой степени (*quintic splines*) для обеспечения плавности хода коллаборативных роботов.
8. Синхронизация нескольких осей движения по протоколу *EtherCAT*: архитектура распределенных часов (*DC — Distributed Clocks*) и компенсация временных задержек в кабельной сети робота-станка.

9. Применение нечеткой логики (*Fuzzy Logic*) для настройки параметров ПИД-регулятора «на лету» в условиях сильных нелинейностей, например, при управлении пневматическим захватом.

10. Кибербезопасность промышленных протоколов (*Modbus TCP, PROFINET*): уязвимости открытых сетей управления роботизированными ячейками и методы шифрования трафика без потери детерминизма.

11. Управление многозвенными экзоскелетами: обработка данных с нейроинтерфейсов (*ЭЭГ/ЭМГ*) и преобразование намерений оператора в управляющие сигналы моментов суставов в реальном времени.

12. Использование прогнозирующего управления (*MPC — Model Predictive Control*) для предотвращения столкновений мобильного робота с динамическими препятствиями в неизвестной среде.

13. Дискретное управление жесткостью и податливостью актуаторов с переменным механическим импедансом (*VSA*): реализация пассивных безопасных режимов взаимодействия с человеком.

14. Анализ чувствительности цифровой системы управления к потере вычислительной точности: эффекты округления при реализации разностных уравнений высоких порядков на 16-битных микроконтроллерах.

15. Интеграция систем технического зрения (*Machine Vision*) в контур управления приводом: задержки обработки видеопотока как дополнительная транспортная задержка и способы компенсации фазового сдвига.

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

1. Указаниями в рабочей программе по дисциплине (п.4.1.)
2. Лекционные материалы в составе УМК по дисциплине
3. Заданиями и методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы обучающихся в составе УМК по дисциплине.
4. Глоссарием по дисциплине в составе УМК по дисциплине.

Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся

Фонд оценочных средств по дисциплине представляет собой совокупность контролирующих материалов, предназначенных для измерения уровня достижения обучающимися установленных результатов образовательной программы. ФОС по дисциплине используется при проведении оперативного контроля и промежуточной аттестации обучающихся. Требования к структуре и содержанию ФОС дисциплины регламентируются Положением о фонде оценочных материалов по программам высшего образования – программам бакалавриата, магистратуры.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств Очная форма обучения (полный срок)

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Введение в цифровые системы управления: квантование по времени и уровню, z-преобразование.	УО		ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
2	Тема 2. Математические модели цифровых систем: разностные уравнения и дискретные передаточные функции.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
3	Тема 3. Цифровые регуляторы (ПИД): методы синтеза (метод размещения полюсов, билинейное преобразование).	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
4	Тема 4. Микроконтроллеры и сигнальные процессоры (DSP) как база систем реального времени.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
5	Тема 5. Периферийные интерфейсы встраиваемых систем: АЦП, ЦАП, энкодеры и ШИМ-контроллеры.	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
6	Тема 6. Системы подчиненного регулирования координат электропривода робота (контуры тока, скорости, положения).	УО		ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2
7	Тема 7. Управление движением многосвязных манипуляторов: планирование траекторий и синхронизация осей.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1

					ИД 6 ОПК-11.2
8	Тема 8. Промышленные сети передачи данных (<i>Fieldbus</i>): протоколы <i>CAN</i> , <i>Modbus</i> , <i>EtherCAT</i> в робототехнике.	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ОПК-11.1 ИД 2 ОПК-11.2 ИД 3 ОПК-11.1 ИД 4 ОПК-11.2 ИД 5 ОПК-11.1 ИД 6 ОПК-11.2

Условные обозначения оценочных средств (Столбцы 3, 4, 5):

УО – устный (фронтальный, индивидуальный, комбинированный) опрос;

ПРВ – проверка рефератов, отчетов, рецензий, аннотаций, конспектов, графического материала, эссе, переводов, решений заданий, выполненных заданий в электронном виде и т.д.;

МШ – Метод мозгового штурма;

КМ – Кейс-метод;

ДИ – Деловая игра;

ЛС – Лекция-ситуация.

5.2. Оценочные средства текущего контроля

Перечень практических (семинарских) заданий

Задачи

1. **Расчет периода дискретизации.** Для системы управления скоростью двигателя, где максимальная частота в спектре сигнала составляет 50 Гц, определите минимально допустимый период квантования ТТТ согласно теореме Котельникова и выберите стандартное значение $T=1/T=1$ мс или $T=5T=5T=5$ мс для реализации на микроконтроллере.

2. **Преобразование Лапласа в z-преобразование.** Дана непрерывная передаточная функция апериодического звена $W(s)=10.1s+1$ $W(s) = \frac{1}{0.1s + 1}$ $W(s)=0.1s+11$. Используя билинейное преобразование (Tustin) при периоде $T=0.01T=0.01T=0.01$ с, получите эквивалентную дискретную передаточную функцию $W(z)W(z)W(z)$.

3. **Анализ устойчивости по корням.** Характеристическое уравнение замкнутой цифровой системы имеет вид $z^2-1.4z+0.7=0$ $z^2 - 1.4z + 0.7 = 0$ $z^2-1.4z+0.7=0$. Найдите корни уравнения и определите, является ли система устойчивой (проверка нахождения корней внутри единичной окружности на z-плоскости).

4. **Реализация разностного уравнения ПИ-регулятора.** Напишите фрагмент кода на языке Си для микроконтроллера STM32, реализующий алгоритм регулятора: $u[k]=u[k-1]+K_p(e[k]-e[k-1](1-\alpha))+K_iT e[k]$ $u[k] = u[k-1] + K_p(e[k] - e[k-1](1-\alpha)) + K_i T e[k]$ $u[k]=u[k-1]+K_p(e[k]-e[k-1](1-\alpha))+K_iT e[k]$, где α — коэффициент фильтра обратной связи.

5. **Настройка ШИМ для драйвера мотора.** Рассчитайте значения регистра периода (ARR) и регистра заполнения (CCR) таймера *TIM1* микроконтроллера STM32 для генерации ШИМ-сигнала частотой 20 кГц при тактовой частоте ядра 100 МГц и требуемом коэффициенте заполнения 65%.

6. **Квантование АЦП и погрешность.** Микроконтроллерный АЦП имеет разрядность 12 бит и опорное напряжение 3.3 В. Рассчитайте шаг квантования (QQQ) и абсолютную ошибку квантования. Определите минимальное изменение тока датчика (чувствительность 0.1 В/А), которое сможет зафиксировать контроллер.

7. **Планирование траектории движения.** Сформируйте таблицу значений скорости и положения оси робота для перемещения на угол 90 градусов за время 1 секунду по S-образному профилю (трапеция ускорения), разбив движение на фазы разгона, равномерного хода и торможения.

8. **Прямое цифровое проектирование (Direct Digital Design).** Методом размещения полюсов синтезируйте параметры цифрового ПИД-регулятора так, чтобы характеристическое уравнение имело желаемые корни $z_{1,2}=0.5\pm j0.2$ $z_{1,2} = 0.5 \pm j0.2$ $z_{1,2}=0.5\pm j0.2$ и $z_3=0$ $z_3 = 0$ $z_3=0$.

9. **Фильтрация шума датчиков.** Спроектируйте простой рекурсивный фильтр Баттерворта низких частот первого порядка в виде $y[k]=a\cdot y[k-1]+b\cdot x[k]$ $y[k] = a \cdot y[k-1] + b$

$\dot{x}[k]y[k]=a\cdot y[k-1]+b\cdot x[k]$ для сглаживания сигнала энкодера, задав частоту среза 10 Гц при $T=0.001$ с.

10. **Обработка квадратурного энкодера.** Опишите логику работы прерывания (*Interrupt Service Routine*) по изменению состояния каналов А и В инкрементального энкодера для определения направления вращения (вперед/назад) и инкремента переменной позиции.

11. **Борьба с интегральным насыщением (Anti-Windup).** Модифицируйте алгоритм из задания №4 так, чтобы при достижении выходным сигналом $u[k]$ предела питания инвертора (например, 100%), накопление ошибки в интегральной составляющей прекращалось.

12. **Моделирование задержки вычислителя.** Исследуйте влияние времени чистого запаздывания (эквивалент одного такта ЦП) на запас устойчивости системы. Постройте годограф разомкнутой системы с учетом множителя e^{-Ts} (или его аппроксимации Паде).

13. **Синхронизация двух осей по CANopen.** Составьте структуру сообщения (PDO) протокола CAN для одновременной передачи целевых положений для двух сервоприводов манипулятора. Рассчитайте теоретическое время доставки сообщения при скорости шины 1 Мбит/с и длине данных 8 байт.

14. **Билинейное искажение частоты (Warping).** При проектировании цифрового фильтра была задана аналоговая частота среза 100 Гц. Покажите, что при использовании метода Эйлера вперед реальная частота среза «уедет» вниз, и рассчитайте пре-враппинг (pre-warping) частоты для коррекции.

15. **Отладка алгоритма в Simulink/Scilab.** Соберите модель контура тока двигателя постоянного тока с учетом эффекта квантования АЦП и задержек Широтно-Импульсной Модуляции. Проведите симуляцию пуска и снимите график управляющего воздействия на предмет возникновения автоколебаний («зубчатость»).

5.3. Тематика письменных работ обучающихся

Рефераты по выбранным темам выполняются в письменной форме обучающимися всех форм обучения. Учебно-методические материалы, необходимые для выполнения работ, а также примерная тематика рефератов содержатся в УМК по дисциплине.

1. Сравнительный анализ методов аппроксимации при дискретизации непрерывных систем: влияние метода Эйлера (вперед/назад) и билинейного преобразования (*Tustin*) на точность воспроизведения фазочастотной характеристики цифрового регулятора.

2. Явление предельного цикла (*Limit Cycles*) в цифровых системах управления с квантованием по уровню: математическое описание автоколебаний низкой амплитуды в контуре положения сервопривода и методы их подавления.

3. Реализация алгоритмов борьбы с интегральным насыщением (*Anti-Windup*) в ПИД-регуляторах мехатронных систем: схемы сброса интегратора при ограничении управляющего сигнала *ШИМ*.

4. Применение прогнозирующего управления (*MPC — Model Predictive Control*) для предотвращения столкновений мобильного робота с динамическими препятствиями в реальном времени.

5. Бездатчиковое управление (*Sensorless Control*) синхронными двигателями: сравнительный анализ алгоритмов оценки углового положения ротора на основе расширенного фильтра Калмана (*EKF*) и анализа противо-ЭДС высокой частоты.

6. Адаптивное управление манипулятором при переменной полезной нагрузке: применение схем с эталонной моделью (*MRAC*) для автоматической перенастройки коэффициентов регуляторов контуров скорости.

7. Планирование траекторий во времени с учетом ограничений рывка (*Jerk-Limited Trajectory Planning*): использование полиномов пятой степени (*quintic splines*) для обеспечения плавности хода коллаборативных роботов (*cobots*).

8. Синхронизация распределенных приводов по протоколу *EtherCAT*: архитектура распределенных часов (*DC — Distributed Clocks*) и компенсация джиттера в кабельной сети роботизированной ячейки.

9. Кибербезопасность промышленных протоколов (*Modbus TCP, PROFINET IO*): уязвимости открытых сетей управления роботами и методы шифрования трафика без нарушения жесткого детерминизма реального времени.

10. Управление многозвенными экзоскелетами: обработка данных с нейроинтерфейсов (ЭЭГ/ЭМГ) и преобразование намерений оператора в управляющие сигналы моментов суставов актуаторов.
11. Дискретное управление механическим импедансом актуаторов с переменной жесткостью (VSA — *Variable Stiffness Actuators*): реализация пассивных безопасных режимов взаимодействия «человек-робот».
12. Анализ чувствительности цифровой системы управления к потере вычислительной точности: эффекты округления и переполнения разрядной сетки при реализации разностных уравнений высоких порядков на 16-битных микроконтроллерах.
13. Интеграция систем технического зрения (*Machine Vision*) в контур управления движением: моделирование задержек обработки видеопотока как дополнительной транспортной задержки и способы компенсации фазового сдвига.
14. Методы идентификации параметров цифровых моделей электродвигателей в режиме реального времени: рекурсивный метод наименьших квадратов (RLS) для подстройки наблюдателя состояния привода.
15. Синтез нелинейных цифровых регуляторов на базе нечеткой логики (*Fuzzy Logic*) для объектов с существенными перекрестными связями, где классические линейные ПИД-регуляторы неэффективны.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. Дискретизация непрерывных сигналов: теорема Котельникова (Найквиста-Шеннона), выбор частоты дискретизации и ошибки наложения (*aliasing*).
2. Квантование по уровню в цифровых системах: математическое описание шума квантования АЦП и его влияние на точность регулирования.
3. z-преобразование: определение, основные свойства (линейность, сдвиг) и таблица соответствия для типовых функций времени.
4. Передаточная функция цифрового устройства: связь между разностными уравнениями и передаточной функцией $W(z)W(z)W(z)$.
5. Экстраполятор нулевого порядка (ZOH — *Zero-Order Hold*): передаточная функция и её роль при восстановлении непрерывного сигнала из цифрового.
6. Методы перехода от аналогового регулятора к цифровому: методы Эйлера (вперед/назад) и билинейное преобразование (Tustin). Явление частотного искажения (*warping*).
7. Прямой синтез цифрового регулятора методом размещения полюсов характеристического уравнения на z-плоскости.
8. Структура цифрового ПИД-регулятора: позиционная и скоростная алгоритмические формы. Вывод коэффициентов через параметры непрерывного PID.
9. Проблема интегрального насыщения (*Integral Windup*) в цифровых системах: причины возникновения и методы борьбы (алгоритмы *Anti-Windup*).
10. Анализ устойчивости цифровых систем управления: необходимое и достаточное условие устойчивости (расположение корней внутри единичной окружности).
11. Критерии устойчивости цифровых систем: применение критерия Шура-Кона и билинейного преобразования критериев Гурвица или Михайлова.
12. Частотные характеристики цифровых систем: псевдочастота $\omega^*\omega^*\omega^*$ и использование диаграмм Боде и Николса для анализа запасов устойчивости.
13. Микроконтроллеры в контурах управления реального времени: структура ядра (ARM Cortex-M), прерывания и детерминизм выполнения кода.
14. Периферийные интерфейсы МК: принцип работы широтно-импульсной модуляции (ШИМ/PWM) для формирования аналогового напряжения на нагрузке.
15. Периферийные интерфейсы МК: архитектура аналого-цифрового преобразователя (АЦП/SAR ADC), время преобразования и запуск по таймеру.
16. Обработка сигналов инкрементального энкодера микроконтроллером: квадратурные сигналы (A/B), определение направления вращения и подсчет позиции.
17. Системы подчиненного регулирования электропривода: структура каскадных контуров тока, скорости и положения.

18. Настройка контуров системы подчиненного регулирования: метод технического оптимума (ТО) и симметричного оптимума (СО).
19. Цифровое управление синхронным двигателем (*PMSM*): переход к вращающейся системе координат ($d-qd-qd-q$) и принцип ориентирования по полю (*FOC*).
20. Моделирование транспортных запаздываний в цифровой системе: аппроксимация звена чистого запаздывания $e^{-Tse^{-Ts}}e^{-Ts}$ с помощью ряда Паде.
21. Планирование траекторий движения роботов во времени: профили изменения скорости (трапецеидальный и S-образный профиль) и ограничение рывка (*jerk*).
22. Синхронизация многокоординатных приводов: понятие электронной передачи (*Electronic Gearbox*) и реализация интерполяции движения осей.
23. Промышленные сети (*Fieldbus*): протокол CAN — арбитраж шины, формат кадра и надежность доставки сообщений в реальном времени.
24. Высокоскоростные промышленные сети: протокол EtherCAT — принцип обработки пакетов «на лету» (*on-the-fly*) и синхронизация распределенных часов (*DC*).
25. Идентификация параметров объектов управления: рекурсивный метод наименьших квадратов (*RLS*) для подстройки модели привода в режиме онлайн.

Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами)

1. Закрытого типа с одним верным вариантом ответа (5 вопросов)

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Как называется математическое преобразование, используемое для анализа дискретных систем управления, которое сопоставляет последовательности чисел $f[k]$ функции комплексной переменной $F(z)$? а) Преобразование Лапласа; б) Z-преобразование; в) Преобразование Фурье; г) Векторное управление. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какой периферийный блок микроконтроллера отвечает за генерацию аналогового управляющего сигнала для драйвера двигателя путем изменения длительности импульсов при постоянной частоте? а) АЦП (*ADC*); б) UART; в) ШИМ-контроллер (*PWM Timer*); г) Сторожевой таймер (*Watchdog*). **Правильный ответ: в)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Что происходит с устойчивостью цифровой системы, если хотя бы один корень её характеристического уравнения на z-плоскости выходит за пределы единичной окружности? а) Система остается устойчивой; б) Система становится неустойчивой; в) Система переходит в автоколебательный режим с постоянной амплитудой; г) Корни уходят в бесконечность. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный выход. Какой метод перехода от непрерывной передаточной функции $W(s)$ к дискретной $W(z)$ лучше всего сохраняет частотные характеристики (избегает частотного искажения)? а) Метод Эйлера вперед; б) Метод Эйлера назад; в) Билинейное преобразование (*Tustin*) с предварительной коррекцией частоты (*pre-warping*); г) Метод подбора коэффициентов. **Правильный ответ: в)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. В структуре подчиненного регулирования электропривода какой контур настраивается на самое высокое быстродействие (имеет самую большую полосу пропускания)? а) Контур положения; б) Контур скорости; в) Контур тока (момента); г) Задатчик интенсивности. **Правильный ответ: в)**

2. Закрытого типа с двумя верными вариантами ответа (5 вопросов)

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие из перечисленных факторов вносят задержку в замкнутый цифровой контур управления приводом робота? а) Время выборки и удержания (*Sample and Hold*) АЦП; б) Коэффициент усиления ПИД-регулятора; в) Транспортное запаздывание вычислений процессора (T_{calc}); г) Масса подвижной части манипулятора. **Правильный ответ: а), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие условия должны выполняться для физической реализуемости цифрового регулятора $W(z) = B(z)A(z)W(z) = \frac{B(z)}{A(z)}$? а) Степень числителя должна быть больше степени знаменателя; б) Степень числителя не должна превышать степень знаменателя; в) Все полюса (корни

$A(z)A(z)A(z)$) должны лежать внутри единичного круга; г) Коэффициенты должны быть только целыми числами. **Правильный ответ: б), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие методы относятся к способам борьбы с интегральным насыщением (*Anti-Windup*) в цифровых ПИД-регуляторах? а) Ограничение выхода интегратора «back-calculation» (расчет ошибки возврата); б) Увеличение периода дискретизации ТТТ; в) Условная интеграция (остановка накопления ошибки при достижении упора); г) Отключение пропорциональной составляющей. **Правильный ответ: а), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. При обработке сигналов квадратурного энкодера какие данные позволяет получить счетчик таймера в режиме Encoder Interface? а) Только направление вращения; б) Абсолютное положение вала (при наличии индекса); в) Скорость вращения (через измерение периода или частоты); г) Температуру обмоток двигателя. **Правильный ответ: б), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. В чем заключается преимущество протокола *EtherCAT* перед стандартным *Modbus TCP* в задачах синхронизации сервоприводов? а) Использование более дешевого кабеля; б) Аппаратная обработка пакетов «на лету», обеспечивающая микросекундный детерминизм; в) Поддержка топологии «шина» без коммутаторов; г) Распределенные часы (*Distributed Clocks*) для аппаратной синхронизации времени приводов. **Правильный ответ: б), г)**

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность этапов аналого-цифрового преобразования физического сигнала датчика:

1. Квантование по уровню (округление до ближайшего кода);
2. Фильтрация антиалиасинга (аналоговый фильтр НЧ);
3. Выборка мгновенного значения (фиксация напряжения);
4. Кодирование результата в двоичный формат. **Правильный ответ: 2-3-1-4**

Укажите правильную последовательность действий алгоритма цифрового ПИД-регулятора в каждом такте прерываний:

1. Вычисление ошибки $e[k]=r[k]-y[k]$ $e[k]=r[k]-y[k]$;
2. Чтение текущего значения процесса $y[k]$ с АЦП;
3. Формирование управляющего воздействия $u[k]$ и вывод его через ШИМ;
4. Расчет составляющих закона (пропорциональной, интегральной, дифференциальной). **Правильный ответ: 2-1-4-3**

Укажите правильную последовательность операций при синтезе цифрового фильтра методом билинейного преобразования:

1. Переход в z-область заменой s на выражение через z ;
2. Определение требований к АЧХ (частота среза);
3. Дизайн аналогового прототипа $W_a(s)W_a(s)$;
4. Предискажение (*pre-warping*) критических частот. **Правильный ответ: 2-4-3-1**

Укажите правильную последовательность фаз выполнения команды перемещения оси робота контроллером движения:

1. Линейная интерполяция траектории (выдача точек каждые ТТТ мс);
2. Прием команды верхнего уровня (G-code или сетевой пакет);
3. Кинематическое планирование профиля скорости/ускорения;
4. Замыкание локальных контуров тока и положения. **Правильный ответ: 2-3-1-4**

Укажите правильную последовательность настройки каскадной системы привода методом технического оптимума:

1. Настройка контура скорости (используя некомпенсированную малую постоянную τ);
2. Идентификация параметров объекта (электромеханическая постоянная);
3. Настройка самого внутреннего контура тока;
4. Настройка внешнего контура положения. **Правильный ответ: 2-3-1-4**

4. На установление соответствия (5 вопросов)

Установите соответствие между типом квантования и возникающим эффектом:

А) Квантование по времени	1) Ошибка округления выходной величины регулятора
Б) Квантование по уровню (АЦП)	2) Эффект наложения частот (Aliasing)

В) Квантование ЦАП	3) Ступенчатый характер восстановленного сигнала
Г) Длина слова (Word Length)	4) Погрешность измерения входной величины

Правильный ответ: А – 2, Б – 4, В – 3, Г – 1

5. Открытого типа с одним-двумя словами (2 вопроса)

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Математическая модель связи между входом и выходом цифровой системы во временной области, использующая оператор сдвига назад $q^{-1}q^{-1}$, называется **разностное уравнение**.

Правильный ответ: разностное уравнение

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Явление ложного воспроизведения низкочастотного сигнала при недостаточной частоте дискретизации высокочастотного сигнала называется **алиасинг**. **Правильный ответ:** алиасинг

6. Открытого типа с определением понятия (расширенный ответ) (3 вопроса)

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию система реального времени (rtos) — это ... **Правильный ответ:** операционная система, гарантирующая выполнение критичных по времени задач в строго определенные дедлайны (жесткое реальное время) или с минимизацией отклонений (мягкое реальное время).

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию наблюдатель состояния (state observer/luenberger observer) — это ... **Правильный ответ:** программный алгоритм, который оценивает неизмеряемые внутренние переменные системы (например, скорость ротора) на основе измеряемых выходов (ток, напряжение) и известной математической модели объекта.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию синхронная передача данных (synchronous communication) — это ... **Правильный ответ:** способ обмена данными, при котором моменты передачи битов привязаны к общему сигналу синхронизации (тактовому генератору), что исключает накопление ошибок рассогласования скоростей.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Крамарь, В. А. Цифровые системы управления : учебное пособие / В. А. Крамарь [и др.]. – Москва : Центркаталог, 2024. – 168 с. – ISBN 978-5-903268-95-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/417251> (дата обращения: 07.08.2026).

2. Сырякин, В. И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике : учебное пособие. – 4-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 532 с. – ISBN 978-5-507-49447-7. – Текст : непосредственный.

7.2. Дополнительная литература

3. Иванов, В. К. Управление, моделирование и датчики мехатронных систем. ЭБС Лань.

4. Веригин, А. Н. Мехатроника. Инженерный подход : учебное пособие / А. Н. Веригин [и др.]. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 644 с. – ISBN 978-5-507-52181-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/439847> (дата обращения: 07.08.2026).

5. Вегера, Ж. Г. Основы теории проектирования информационно-измерительных и управляющих систем коптеров. ЭБС Лань.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронно-библиотечная система -Цифровой образовательный ресурс IPR SMART – электронная библиотека по всем отраслям знаний [Электронный ресурс]. – URL:
2. <http://www.iprbookshop.ru>
3. Справочник математических формул <http://www.pm298.ru/>
4. Каталог ГОСТов - <https://snip.ruscable.ru/>
5. <http://www.consultant.ru/>— Консультант Плюс
6. <http://www.garant.ru/>— Гарант
7. Программное обеспечение для организации конференции.

Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии

8.1. Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся всех направлений подготовки).

Учебная аудитория оборудована:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютер для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся
- Симулятор БПЛА «AgroTechSim»
на 10 рабочих мест
- Симулятор БПЛА «DJI Simulator» на 20 рабочих мест
- Симулятор «FlightGear»
на 20 рабочих мест
- Симулятор «AirSim» на 20 рабочих мест
- Пульт дистанционного управления «RadioMaster TX12 MK2 ELRS» – 10 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI MR1SD25» – 10 шт.
- Пульт дистанционного управления «FLYSKY SM001» - 2 шт.
- Пульт дистанционного управления «BETA FPV» - 13 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI RC-N1 от DJI MAVIC MINI 2» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 2 от DJI AVATA» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 3 от DJI NEO» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI RC1B от DJI MAVIC 2 PRO» - 1 шт.
- Пульт дистанционного управления «DJI GL300L от DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL»
- 1 шт.
- VR FPV шлем «LS008D 5,8G» – 5 шт.
- VR FPV шлем «DMKR 008D PRO 5,8G» – 5 шт.
- Очки VR FPV DJI Googles N3 - 1 шт.
- Очки VR FPV DJI Googles 2 - 1 шт.
- Шлем VR BETA FPV - 10 шт.
- Видеоадаптер HDMI to AV, HDMI кабель (для подключения очков к симулятору) – 10 шт.
- Квадрокоптер DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт
- Квадрокоптер DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- БПЛА смешанного типа «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- БПЛА смешанного типа «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- БПЛА самолетного типа «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- БПЛА самолетного типа «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.
- Учебный Квадрокоптер ручного управления Happy Model Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.
- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.

- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.
- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 3 шт.:
 1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»
 2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»
 3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»
 4. FPV камера «Caddx Ratel 2»
 5. Радиоприемник «Bayck ELRS 2.4»
 6. Складной пропеллер «DALPROP 7inch»
 7. Комплект электромоторов (4шт.) «iFlight XING 2806.5 1800KV»
- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 2 шт.:
 1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»;
 2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»;
 3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»;
 4. FPV камера «Caddx Ratel 2»;
 5. Радиоприемник «Bayck ELRS 2.4»;
 6. Комплект Складных пропеллеров (4шт.) «DALPROP 7inch»;
 7. Комплект электромоторов (4шт.) «Brotherhobby 2806.5 1920KV»
- Комплект средств и инструментов для технического обслуживания БАС - (10 шт.):
 1. Термостойкий коврик для пайки и ремонта электроники
 2. Паяльный набор инструментов (паяльник, набор наконечников, губка для чистки жала, проволока для пайки, пинцет, нож для снятия изоляции, припой, экстрактор припоя, подставка под паяльник, гель флюс, мультиметр, средство сухой очистки жала, средство влажной очистки жала, кусачки)
 3. Набор инструментов для ремонта электроники (набор лопаток 8 шт., нож, набор магнитных отверток 8 шт., пинцет, присоска, медиатор 5 шт.)
 4. Лампа настольная
 5. Вентилятор настольный
 6. Очки защитные
- Комплект запасных частей для - DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт
- Комплект запасных частей для DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Комплект запасных частей для DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.
- Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.
- Комплект запасных частей для управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.
- Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.
- Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.
- Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.
- Комплект запасных частей для самосборного FPV 7-дюймового квадрокоптера – 5 шт.
- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- Комплект запасных частей для «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.
- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- Комплект запасных частей для «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.
- Программное обеспечение для обработки полётной информации):
 1. DJI FLY на 20 рабочих мест

2. DJI GO4 на 20 рабочих мест
3. DJI PILOT на 20 рабочих мест
4. DJI GS PRO на 20 рабочих мест
5. DJI TERRA на 20 рабочих мест
6. DJI LIGHTCUT на 20 рабочих мест
- IMAGE COMPOSITE EDITOR на 20 рабочих мест
- WEB OPEN DRONE MAP на 20 рабочих мест
- ARDUPILOT MISSION PLANNER на 20 рабочих мест
- PIX4D CAPTURE на 20 рабочих мест
- PIX4DMATIC на 20 рабочих мест
- INAV на 20 рабочих мест
- BETAFLIGHT на 20 рабочих мест
- АВИАТОР+ на 20 рабочих мест
- СППИ на 20 рабочих мест
- НЕБОСВОД на 20 рабочих мест
- Набор круглых подвесных колец (ворот) (50см) «LDARC» для тренировок и соревнований на FPV квадрокоптерах - 10 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiPo 380 Mah - 30 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 850 Mah - 5 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 650 Mah - 2 шт.
- Аккумулятор Lipo 6S 6500Mah 60C XT60 «Youme» - 5 шт.
- Аккумулятор BETA FPV 1S LiPo 450 Mah - 12 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiHv 660 Mah - 10 шт.
- Зарядное устройство (67W, Type C - 2 выхода, USB-A- 2 выхода) - 10 шт.
- Зарядное устройство для 1S LiPo «ViFLY WHOOPSTAR v3» - 5 шт.
- Зарядное устройство для 2S-6S литиевых аккумуляторов «HTRC C240» - 1 шт.
- Полезная нагрузка (система сброса) для DJI MAVIC 2 PRO -1 шт.
- Смартфон SAMSUNG GALAXY A7 - 1 шт.
- Планшет IPAD MINI 7 - 1 шт.
- Монитор FPV MONITOR 5.8G - 1 шт.
- Взлётно-посадочная площадка – 2шт.

8.2. Помещение для самостоятельной работы обучающихся (помещение общего пользования с подключением к системам телекоммуникации и с обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (доступ в сеть Интернет, Wi-Fi, глобальные поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Специализированная мебель и технические средства обучения:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютеры для преподавателя с выходом в интернет
- Компьютеры для обучающихся выходом в интернет
- ПО: MS Office, Яндекс браузер
- Цифровой образовательный ресурс IPR SMART
- доступ в ЭИОС.

Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины «**Цифровые системы управления в мехатронике**» можно построить в соответствии со списком вопросов для подготовки к экзамену. Для эффективного изучения курса рекомендуется следующий порядок:

Сначала изучаются теоретические вопросы по соответствующей теме с проработкой как конспектов лекций, так и учебников. **Лекции** дают систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, концентрируют внимание на наиболее сложных узловых вопросах. Особое внимание следует обратить на **понимание смысла** основных понятий, определений. Затем нужно самостоятельно **подробно разобрать типовые примеры**, выясняя в деталях **практическое значение выученного теоретического материала**.

Добросовестное изучение всего материала, заключённого в лекциях, практических занятиях и домашних заданиях, гарантирует каждому обучающемуся успешные результаты на экзаменах. Для подготовки к экзамену необходимо, прежде всего, по лекциям и учебникам повторить и систематизировать весь теоретический материал, изученный в семестре.

При ответе на теоретические вопросы на экзамене следует привести необходимые определения, формулировку и примеры. Решение задач (если они есть в билете) следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения.

Во время экзамена требуется иметь калькулятор для выполнения расчетных заданий.

Не забудьте обратить внимание на применение рассматриваемых вопросов и задач в будущей профессиональной деятельности. Понимание необходимости и возможности такого применения оценивается на экзамене очень высоко.

Учебно-методическое издание

Рабочая программа учебной дисциплины

Цифровые системы управления в мехатронике

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Скоробогатченко Дмитрий Анатольевич

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)