



Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Системы управления электроприводов

(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	8
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	10
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	14
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 «Системы управления электроприводов» входит в «Часть, формируемая 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)):

ПК-1 Способен осуществлять проектирование и конструирование изделий робототехники

Дескрипторы компетенции:

ПК-1.1 Способен выполнять разработку схмотехнического решения и проведение расчетов изделий робототехники;

ПК-1.2 Способен осуществлять разработку рабочей проектно-конструкторской и эксплуатационной документации изделий робототехники в соответствии с требованиями нормативной документации.

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)
Профстандарт: 29.003 Специалист по проектированию детской образовательной робототехники	ПК-1.1 Способен выполнять разработку схмотехнического решения и проведение расчетов изделий робототехники; ПК-1.2 Способен осуществлять разработку рабочей проектно-конструкторской и эксплуатационной документации изделий робототехники в соответствии с требованиями нормативной документации.	Знает: ИД 1 ПК.1.1 Основы схмотехники изделий робототехники, современную элементную базу изделий робототехники, современные отечественные и зарубежные пакеты программ для решения схмотехнических задач, методики построения и расчета монтажных и принципиальных схем, методики расчета электрических цепей для определения параметров компонентов монтируемых схем, основные принципы конструкции робототехнических систем ПС 29.003 В/01.6; ИД 2 ПК.1.2 Национальные и отраслевые стандарты, технические регламенты, правила, требования и нормы единой системы конструкторской документации, типовые конструкции и конструктивные решения изделий робототехники, принципы работы проектируемых конструкций изделий робототехники ПС 29.003 В/02.6. Умеет: ИД 3 ПК.1.1 Анализировать принципы работы и условия

		эксплуатации проектируемых изделий робототехники, создавать и применять математические модели систем робототехники, использовать специализированные автоматизированные программы для выполнения кинематических и прочностных расчетов изделий робототехники, производить построение монтажных и принципиальных схем изделий робототехники, осуществлять расчет электрических цепей для определения параметров компонентов монтируемых схем изделий робототехники, использовать системы автоматизированного проектирования, разрабатывать макеты информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных и микропроцессорных модулей мехатронных и робототехнических систем ПС 29.003 В/01.6; ИД 4 ПК.1.2 Проектировать робототехнические системы изделий робототехники с использованием систем автоматизированного проектирования, разрабатывать конструкцию изделия робототехники в соответствии с требованиями стандартов организации, национальных стандартов и технических регламентов, требованиями заказчика, применять современные технологии изготовления изделий робототехники ПС 29.003 В/02.6. Имеет навыки: ИД 5 ПК.1.1 Анализа принципов работы и условий эксплуатации проектируемых изделий робототехники, создания и применения математических моделей систем робототехники, использования специализированных автоматизированных программ для выполнения кинематических и прочностных расчетов изделий робототехники, построения монтажных и принципиальных
--	--	--

		схем изделий робототехники, осуществления расчета электрических цепей для определения параметров компонентов монтируемых схем изделий робототехники, использования системы автоматизированного проектирования, разработки макетов информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных и микропроцессорных модулей мехатронных и робототехнических систем ПС 29.003 В/01.6; ИД 6ПК.1.2 Проектирования робототехнических систем изделий робототехники с использованием систем автоматизированного проектирования, разработки конструкций изделий робототехники в соответствии с требованиями стандартов организации, национальных стандартов и технических регламентов, требованиями заказчика, применения современных технологий изготовления изделий робототехники ПС 29.003 В/02.6.
--	--	---

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.	Физика	Проектирование мехатронных и робототехнических систем
2.	Введение в инженерную деятельность	Проектирование мехатронных систем

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. Математическое описание электроприводов.	24	8	8	8	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
2	Тема 2. Преобразователи энергии для управления приводами.	24	8	8	8	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
3	Тема 3. Системы подчиненного регулирования координат.	22	8	8	6	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
4	Тема 4. Векторное управление синхронными двигателями (<i>Field-Oriented Control — FOC</i>).	22	8	8	6	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
5	Тема 5. Прямое управление моментом (<i>Direct Torque Control — DTC</i>).	22	8	8	6	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
6	Тема 6. Цифровое микропроцессорное управление.	22	8	8	6	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
7	Тема 7. Наблюдатели состояния и бессенсорное управление.	22	8	8	6	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
8	Тема 8. Энергетические режимы работы привода.	22	8	8	6	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
Вид промежуточной аттестации(Экзамен)		36				
Итого		216	64	64	52	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Математическое описание электроприводов. Модели двигателей постоянного тока (ДПТ), синхронных (*PMSM*) и асинхронных машин. Уравнения электрического равновесия.

Тема 2. Преобразователи энергии для управления приводами. Топологии инверторов напряжения (АИН). Принципы формирования ШИМ-сигналов, управление ключами *IGBT/MOSFET*.

Тема 3. Системы подчиненного регулирования координат. Классическая структура контуров тока, скорости и положения. Настройка на технический оптимум.

Тема 4. Векторное управление синхронными двигателями (*Field-Oriented Control — FOC*). Преобразования Кларка и Парка (*dqdq*). Независимое управление моментом и потоком.

Тема 5. Прямое управление моментом (*Direct Torque Control — DTC*). Таблица переключений, оценка потокосцепления без датчиков Холла.

Тема 6. Цифровое микропроцессорное управление. Реализация алгоритмов на STM32. Квантование сигналов АЦП/ЦАП и период дискретизации контура тока.

Тема 7. Наблюдатели состояния и бессенсорное управление. Оценка скорости ротора по противо-ЭДС или токам статора при отсутствии энкодера.

Тема 8. Энергетические режимы работы привода. Рекуперативное торможение, динамическое торможение на резистор и работа в четырех квадрантах механической характеристики.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Математическое описание электроприводов.
ПЗ 2	Тема 2. Преобразователи энергии для управления приводами.
ПЗ 3, 4	Тема 3. Системы подчиненного регулирования координат.
ПЗ 5	Тема 4. Векторное управление синхронными двигателями (<i>Field-Oriented Control — FOC</i>).
ПЗ 6, 7	Тема 5. Прямое управление моментом (<i>Direct Torque Control — DTC</i>).
ПЗ 8	Тема 6. Цифровое микропроцессорное управление.

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. Математическое описание электроприводов.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Преобразователи энергии для управления приводами.	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Системы подчиненного регулирования координат.	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Векторное управление синхронными двигателями (<i>Field-Oriented Control — FOC</i>).	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Прямое управление моментом (<i>Direct Torque Control — DTC</i>).	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Цифровое	ПЗ	Метод кейсов	75

	микропроцессорное управление.			
7	Тема 7. Наблюдатели состояния и бессенсорное управление.	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Энергетические режимы работы привода.	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. Математическое описание электроприводов.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Преобразователи энергии для управления приводами.	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Системы подчиненного регулирования координат.	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Векторное управление синхронными двигателями (<i>Field-Oriented Control — FOC</i>).	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Прямое управление моментом (<i>Direct Torque Control — DTC</i>).	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Цифровое микропроцессорное управление.	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Наблюдатели состояния и бессенсорное управление.	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Энергетические режимы работы привода.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

- Синтез модального управления для многозвенного манипулятора.** Размещение желаемых полюсов замкнутой системы на комплексной плоскости для обеспечения заданного демпфирования осей.
- *Применение расширенного фильтра Калмана (EKF) в бездатчиковом векторном управлении.* Оценка положения и скорости ротора синхронного двигателя по измерениям токов статора.
- Активное подавление механического резонанса в двухмассовой системе «двигатель — нагрузка».** Использование режекторных фильтров (*Notch Filter*) или алгоритмов компенсации упругих колебаний вала волнового редуктора.
- Адаптивное управление приводом с переменным моментом инерции.** Алгоритмы подстройки параметров ПИД-регулятора при изменении массы полезной нагрузки в схвате робота (MIT-правило).
- Управление по возмущению (*Feedforward Control*).** Компенсация периодической помехи от сил резания в сервоприводах станков с ЧПУ методом внутренней модели (*Internal Model Principle*).
- *Оптимальное по времени управление («банг-банг»).* Синтез переключающих линий релейного регулятора для перевода оси из точки А в точку Б за минимальное время с учетом ограничения по току.
- Робастное H-бесконечность (*H-infinity*) управление электроприводом.** Обеспечение устойчивости системы при разбросе параметров механической передачи до $\pm 50\%$ от номинала.
- Синхронизация движения нескольких приводов портального робота.** Метод перекрестных связей (*Cross-coupling control*) для минимизации ошибки рассогласования контуров X и Y.

9. **Нелинейное управление скользящими режимами (*Sliding Mode Control* — *SMC*).** Достижение нечувствительности привода к изменению момента сухого трения и внешним возмущениям.
10. ***Прогнозирующее управление моделями (*Model Predictive Control* — *MPC*).** Решение задачи оптимизации управляющих воздействий в реальном времени для многостепенных кинематических систем.
11. **Импедансное управление (*Impedance Control*) коллаборативными роботами.** Реализация виртуальной пружины-демпфера между схватом и неизвестной средой для безопасного взаимодействия с человеком.
12. **Управление неголономными мобильными платформами.** Алгоритм *Pure Pursuit* или следование криволинейной траектории для дифференциального привода с учетом ограничений на радиус поворота.
13. **Цифровая фильтрация шумов квантования датчиков обратной связи.** Влияние разрядности АЦП (NNN бит) на устойчивость контура позиционирования и возникновение предельных циклов.
14. **Идентификация параметров объекта управления в режиме реального времени.** Применение метода инструментальных переменных или рекурсивного МНК для определения постоянной времени нагрева привода.
15. ***Энергосберегающее планирование траекторий во времени (*Time-optimal path parameterization, TOPP*).** Минимизация интеграла квадрата потребляемого тока при перемещении звена вдоль заданного геометрического пути.

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 контролируемых 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. Математическое описание электроприводов.	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
2	Тема 2. Преобразователи энергии для управления приводами.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
3	Тема 3. Системы подчиненного регулирования координат.	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
4	Тема 4. Векторное управление синхронными двигателями (<i>Field-Oriented Control — FOC</i>).	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
5	Тема 5. Прямое управление моментом (<i>Direct Torque Control — DTC</i>).	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
6	Тема 6. Цифровое микропроцессорное управление.	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
7	Тема 7. Наблюдатели состояния и бессенсорное управление.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2

8	Тема 8. Энергетические режимы работы привода.	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
---	---	----	----	-----	--

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. **Построение структурной схемы ДПТ НВ.** Составление системы дифференциальных уравнений якорной цепи и механической части, вывод передаточной функции $W(s)=\omega(s)/U(s)$.

2. **Исследование устойчивости на корневом годографе.** Построение в MATLAB/SciLab траекторий корней замкнутой системы при варьировании коэффициента усиления П-регулятора скорости.

3. **Синтез ПИ-регулятора методом технического оптимума.** Расчет параметров регулятора контура тока сервопривода по заданной малой некомпенсируемой постоянной времени T_{μ} .

4. **Цифровое моделирование ПИД-регулятора с фиксированной запятой.** Реализация алгоритма на C/Python с учетом разрядности 16 бит и эффекта насыщения интегратора (*anti-windup*).

5. **Настройка компенсатора в частотной области (метод ЛАЧХ).** Синтез последовательного корректирующего звена для обеспечения запасов устойчивости: $\Delta L > 6$ дБ, $\Delta \varphi > 30^\circ$.

6. **Моделирование наблюдателя состояния Луенбергера.** Оценка угловой скорости вала двигателя без тахогенератора по измерениям тока и напряжения в среде Simulink.

7. **Реализация векторного управления (FOC) PMSM-двигателем.** Программное выполнение преобразований Кларка ($\alpha\beta$) и Парка (dq) для ориентации вектора тока.

8. **Планирование траектории полиномами 5-й степени.** Расчет коэффициентов квинтичного сплайна для перемещения оси робота из точки А в точку Б за время ТТТ при нулевых граничных скоростях/ускорениях.

9. **Решение обратной задачи кинематики аналитическим методом.** Вычисление углов суставов плоского манипулятора 2R для достижения целевой координаты (x,y) через арктангенс.

10. **Импедансное управление виртуальной средой.** Моделирование взаимодействия схвата с поверхностью: расчет управляющего момента исходя из закона пружины-демпфера ($F = -k\Delta x - d\Delta \dot{x}$).

11. **Анализ влияния нелинейности «люфт».** Исследование в Simulink возникновения автоколебаний в системе позиционирования с редуктором, имеющим зону нечувствительности 2 градуса.

12. **Синхронизация двух приводов портального станка.** Настройка перекрестных связей (*Cross-coupling control*) для минимизации ошибки рассогласования осей X и Y при движении по диагонали.

13. **Оптимальное по времени («банг-банг») управление инерционной нагрузкой.** Расчет моментов переключения релейного сигнала для перевода массы на минимальное расстояние с ограничением по току.

14. **Идентификация параметров объекта методом наименьших квадратов (МНК).** Обработка экспериментального графика разгона привода для определения электромеханической постоянной времени $T_m T_{\text{mTm}}$.

15. **Управление неголономным колесным роботом.** Программная реализация алгоритма *Pure Pursuit* для следования криволинейной траектории в симуляторе ROS/Gazebo.

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 систем подчиненного регулирования и модального управления.** Достоинства, недостатки и области применения в сервоприводах робототехнических комплексов.

2. **Методы бессенсорного векторного управления (Sensorless FOC).** Алгоритмы оценки положения ротора по противо-ЭДС или расширенному фильтру Калмана (*EKF*) для синхронных двигателей.

3. **Активное подавление механического резонанса в упругих передачах.** Применение режекторных фильтров (*Notch Filter*) и алгоритмов компенсации колебаний вала волнового редуктора.

4. **Адаптивное управление электроприводом с переменными параметрами.** Методы подстройки коэффициентов регулятора при изменении момента инерции нагрузки (сервороботы-манипуляторы).

5. **Робастное Н-бесконечность (*H-infinity*) управление приводами.** Обеспечение грубости системы к разбросу параметров механической части и изменению температуры обмоток.

6. **Управление по возмущению (*Feedforward Control*).** Компенсация периодических помех от сил резания в станках с ЧПУ методом внутренней модели (*Internal Model Principle*).

7. ***Прогнозирующее управление моделями (*Model Predictive Control — MPC*).** Решение задачи оптимизации управляющих воздействий в реальном времени для многостепенных роботов.

8. **Нелинейное управление скользящими режимами (*Sliding Mode Control — SMC*).** Достижение нечувствительности привода к изменению момента сухого трения и внешним нагрузкам.

9. **Импедансное управление (*Impedance Control*) коллаборативными роботами.** Реализация виртуальной пружины-демпфера между схватом и неизвестной средой для безопасного взаимодействия с человеком.

10. ***Оптимальное по времени управление («банг-банг»)** Синтез переключающих линий релейного регулятора для перевода оси из точки А в точку Б за минимальное время.

11. **Синхронизация движения многоканальных приводов порталных машин.** Метод перекрестных связей (*Cross-coupling control*) для минимизации ошибки рассогласования контуров X и Y.

12. **Цифровая реализация алгоритмов управления на микроконтроллерах STM32.** Влияние периода квантования ($T_s T_{\text{sTs}}$) и эффектов насыщения интегратора (*anti-windup*) на динамику контура тока.

13. ***Энергосберегающее планирование траекторий во времени (*Time-optimal path parameterization, TOPP*).** Минимизация интеграла квадрата потребляемого тока при перемещении звена манипулятора.

14. **Наблюдатели состояния: фильтр Калмана против наблюдателя Луенбергера.** Сравнение точности оценки скорости и устойчивости к шумам измерений датчиков тока/напряжения.

15. **Каскадные системы управления моментом и силой.* Иерархия контуров низкого уровня (токи) и высокого уровня (силовое взаимодействие) в экзоскелетах и промышленных манипуляторах.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. **Математическое описание двигателей постоянного тока.** Уравнения электрического равновесия якоря и механического равновесия вала. Естественные механические характеристики.
2. **Системы импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорными преобразователями.** Принцип вертикального управления, уравнение регулировочной характеристики $\alpha(U_{\text{упр}}) \sim \alpha(U_{\text{упр}})$.
3. **Широтно-импульсные преобразователи (ШИП/Chopper).** Регулирование напряжения на якоре ДПТ изменением скважности. Реверсивные схемы четырехквadrантного привода.
4. **Механические характеристики двигателя постоянного тока при обратной связи по скорости.** Жесткость характеристик в замкнутой системе подчиненного регулирования.
5. **Структурная схема системы подчиненного регулирования координат.** Вложенные контуры тока, скорости и положения. Оптимизация каждого контура отдельно.
6. **Настройка контура тока на технический оптимум (Schnitt).** Расчет параметров ПИ-регулятора тока по известной малой некомпенсируемой постоянной времени $T_{\mu T_{\text{м}}}$.
7. **Настройка контура скорости на симметричный оптимум (Betragsoptimum).** Особенности переходного процесса (перерегулирование тока) и способы их компенсации задатчиком интенсивности.
8. **Цифровые системы управления электроприводами.** Z-преобразование. Влияние периода квантования (T_s) на устойчивость цифрового контура.
9. **Дискретные алгоритмы ПИД-регулирования.** Позиционная и скоростная формы записи разностного уравнения. Проблема насыщения интегратора (*Anti-windup*) и методы её решения.
10. **Математическая модель синхронного двигателя с постоянными магнитами (PMSM).** Преобразования Кларка ($\alpha \rightarrow \beta$) и Парка ($d \rightarrow q$). Понятие вращающейся системы координат.
11. **Векторное управление (Field-Oriented Control — FOC).** Принцип поддержания ортогональности векторов потокосцепления ротора и намагничивающей составляющей тока статора.
12. **Прямое управление моментом (Direct Torque Control — DTC).** Таблица переключений инвертора, оценка потокосцепления без датчиков Холла.
13. **Моделирование асинхронного двигателя во вращающейся системе координат.* Уравнения обобщенной электрической машины (ГОЭМ) в осях d и q .
14. **Ослабление поля (Field Weakening) в приводах переменного тока.** Работа двигателя выше номинальной скорости за счет введения отрицательной составляющей тока по оси d .
15. **Бессенсорное управление (Sensorless Control).** Методы оценки скорости ротора по противо-ЭДС или анализу высокочастотных составляющих тока.
16. **Наблюдатели состояния: фильтр Калмана (EKF) и наблюдатель Луенбергера.** Применение для оценки неизмеряемых координат (скорости, возмущающего момента).
17. **Анализ устойчивости линейных систем автоматического управления.** Алгебраический критерий Гурвица и частотный критерий Найквиста применительно к контуру скорости.
18. **Качество переходных процессов в САУ ЭП.** Прямые показатели качества: время нарастания, перерегулирование, время установления.
19. **Управление моментом в зоне ослабления поля.** Ограничение напряжений инвертора и формирование траектории токов $I_d(I_q)$ на гиперболической границе мощности.

20. **Компенсация сухого трения и люфта в механических передачах.** Математические модели нелинейностей и методы их программного подавления (алгоритм «дребезга», компенсация мертвой зоны).

21. **Синхронизация движения нескольких приводов.** Метод перекрестных связей (*Cross-coupling control*) для прецизионной обработки сложных профилей портальными системами.

22. **Импедансное управление (*Impedance Control*) манипуляторами.** Реализация виртуальной пружины-демпфера для безопасного физического взаимодействия робота с человеком.

23. **Энергетические режимы работы электропривода.** Рекуперативное торможение (возврат энергии в сеть), динамическое торможение (рассеивание на резисторе) и противовключение.

24. **Активные выпрямители (Active Front End — AFE).* Принципы коррекции коэффициента мощности (*PFC*) и возврата энергии рекуперации через IGBT-инвертор, работающий в режиме выпрямителя.

25. **Робастное управление (*H-infinity, SMC*).** Обеспечение грубости системы управления к изменению параметров нагрузки (момента инерции) и внешним возмущениям.

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. **Вопрос 1.** Какое устройство в структуре электропривода преобразует переменное напряжение сети в постоянное для питания якорной цепи двигателя постоянного тока? а) Сервоусилитель; б) Тиристорный управляемый выпрямитель; в) Частотный преобразователь; г) ШИМ-контроллер. **Правильный ответ:** б)

Вопрос 2. Какой параметр является выходной координатой электромеханического преобразователя энергии, непосредственно определяющей движение исполнительного органа робота? а) Напряжение на якоре; б) Электромагнитный момент; в) Магнитный поток; г) Ток возбуждения. **Правильный ответ:** б)

Вопрос 3. В системе подчиненного регулирования координат электропривода какой контур настраивается самым быстродействующим (имеет наименьшую постоянную времени)? а) Контур скорости; б) Контур положения; в) Контур тока (момента); г) Контур ЭДС. **Правильный ответ:** в)

Вопрос 4. Какая обратная связь обеспечивает астатизм системы управления по задающему воздействию (нулевую статическую ошибку по положению)? а) Положительная обратная связь по току; б) Отрицательная обратная связь по скорости; в) Обратная связь по напряжению; г) Обратная связь по положению. **Правильный ответ:** г)

Вопрос 5. Что физически ограничивает максимальное ускорение ротора электродвигателя при пуске? а) Номинальное напряжение источника питания; б) Момент инерции механической части привода и допустимый перегрузочный момент двигателя; в) Коэффициент полезного действия редуктора; г) Индуктивность обмотки якоря. **Правильный ответ:** б)

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

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. **Вопрос 6.** Укажите основные преимущества векторного управления асинхронным двигателем перед скалярным: а) Простота реализации аппаратной части; б) Возможность независимого управления магнитным потоком и моментом; в) Высокое быстродействие контура момента; г) Отсутствие датчиков на валу двигателя. **Правильный ответ:** б), в)

Вопрос 7. Какие элементы входят в состав силового канала современного сервопривода промышленного робота? а) Промышленный контроллер (ПЛК); б) Силовой полупроводниковый преобразователь; в) Кабель обратной связи (энкодерный); г) Электродвигатель. **Правильный ответ:** б), г)

Вопрос 8. Выберите методы линеаризации нелинейных характеристик вентильного электропривода вблизи рабочей точки: а) Метод фазовой плоскости; б) Разложение в ряд Тейлора; в) Замена переменных состояния; г) Гармоническая линеаризация. **Правильный ответ:** б), в)

Вопрос 9. Какие параметры необходимо знать для расчета настройки классического ПИ-регулятора тока методом технического оптимума? а) Суммарную малую некомпенсируемую постоянную времени контуров; б) Статический коэффициент передачи объекта; в) Передаточное число редуктора; г) Температуру окружающей среды. **Правильный ответ:** а), б)

Вопрос 10. Для чего применяются датчики Холла в бесколлекторных двигателях постоянного тока (BLDC)? а) Для измерения абсолютного угла поворота вала; б) Для определения текущего сектора коммутации обмоток; в) Для компенсации пульсаций момента; г) Для стабилизации напряжения звена постоянного тока. **Правильный ответ:** а), б)

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность действий или процессов. **Вопрос 11.** Расположите в правильной логической последовательности этапы синтеза цифровой системы управления положением манипулятора:

1. Программирование траектории движения в пространстве обобщенных координат;
2. Формирование сигнала ошибки рассогласования $\epsilon(t) = \theta_{\text{зад}}(t) - \theta_{\text{факт}}(t)$ $\epsilon(t) = \theta_{\text{зад}}(t) - \theta_{\text{факт}}(t)$;
3. Вычисление управляющего воздействия $u(t)$ регулятором;
4. Исполнение перемещения исполнительным механизмом под действием момента.

Правильный ответ: 1-2-3-4

Вопрос 12. Расположите в порядке возрастания частоты среза типовые контуры системы подчиненного регулирования:

1. Контур тока;
2. Контур скорости;
3. Контур положения. **Правильный ответ:** 1-2-3

Вопрос 13. Установите порядок физических процессов при динамическом торможении двигателя постоянного тока независимого возбуждения:

1. Замыкание якорной цепи на тормозное сопротивление;
2. Исчезновение напряжения возбуждения;
3. Преобразование кинетической энергии вращающихся масс в тепловую;
4. Возникновение тормозного электромагнитного момента. **Правильный ответ:** 2-1-4-

3

Вопрос 14. Расположите компоненты информационной цепи датчика обратной связи по углу от механики к вычислителю:

1. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
2. Кодированный диск (шкала);
3. Фотодатчики (оптопара);
4. Буферные регистры интерфейса. **Правильный ответ:** 2-3-1-4

Вопрос 15. Установите иерархию уровней управления в архитектуре роботизированного комплекса (от нижнего к верхнему):

1. Уровень планирования задач (Task Planning);
2. Уровень локального сервоуправления осями (Servo Level);
3. Уровень интерполяции траекторий (Interpolation). **Правильный ответ:** 2-3-1

4. На установление соответствия (4 вопроса)

Установите соответствие между понятием и его определением/формулой. **Вопрос 16.** Установите соответствие между типом регулятора и его непрерывной передаточной функцией:

Тип регулятора	Передаточная функция
А) Пропорциональный (П)	1) $W(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$ $W(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$
Б) Интегральный (И)	2) $W(p) = \frac{K_p}{p}$ $W(p) = \frac{K_p}{p}$
В) Пропорционально-интегральный (ПИ)	3) $W(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$ $W(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$
Правильный ответ: А – 2, Б – 3, В – 1	

Вопрос 17. Установите соответствие между законом частотного управления асинхронным двигателем и физическим смыслом поддержания параметров:

Закон управления	Физический смысл
А) Скалярный закон $U/f = \text{const}$	1) Поддержание постоянной перегрузочной способности во всем диапазоне скоростей
Б) Закон оптимального потока	2) Обеспечение максимального КПД на частичных нагрузках за счет ослабления поля
В) Закон постоянства магнитного потока	3) Упрощенный закон для общего технологического применения без высоких требований к динамике
Правильный ответ: А – 3, Б – 2, В – 1	

Вопрос 18. Установите соответствие между элементом мехатронного модуля и выполняемой им системной функцией:

Элемент	Функция
А) Драйвер затвора (Gate Driver)	1) Измерение мгновенного значения тока в силовой шине
Б) Датчик тока (Shunt / LEM)	2) Согласование уровней сигналов микроконтроллера и силовых транзисторов
В) Абсолютный энкодер	3) Определение точного углового положения ротора без процедуры инициализации
Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3	

Вопрос 19. Установите соответствие между критерием качества переходного процесса и его математическим описанием:

Критерий	Описание
А) Перерегулирование (σ)	1) Время достижения регулируемой величиной первого максимума
Б) Время нарастания (t_{pt_ptp})	2) Время входа кривой в зону $\pm 5\%$ от установившегося значения
В) Время регулирования (t_{pt_ptp})	3) Относительное превышение первого максимума над установившимся значением
Правильный ответ: А – 3, Б – 1, В – 2	

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

Запишите пропущенный термин. **Вопрос 20.** Устройство, предназначенное для преобразования управляющих импульсов малой мощности в мощные сигналы для коммутации силовых ключей (IGBT/MOSFET), называется драйвером _____. **Правильный ответ:** затвора

Вопрос 21. Явление возникновения незатухающих колебаний рабочего органа робота вокруг заданной точки позиционирования вследствие избыточного коэффициента усиления регулятора называется потерей _____. **Правильный ответ:** устойчивости

6. Открытого типа с определением понятия (расширенный ответ) (2 вопроса)

Дайте развернутое определение. **Вопрос 22.** Дайте определение понятию «модальный синтез» применительно к проектированию систем управления многомерными электроприводами. Опишите физический смысл размещения полюсов. **Правильный ответ:** модальный метод синтеза — это аналитический способ формирования матрицы коэффициентов обратных связей по состоянию, обеспечивающий размещение корней характеристического уравнения (полюсов замкнутой системы) в заранее заданных точках комплексной плоскости. Физический смысл заключается в принудительном назначении желаемых показателей качества: расположения полюсов левее определяет быстродействие (динамику), а их удаление от мнимой оси уменьшает время затухания переходных процессов и перерегулирование.

Вопрос 23. Раскройте сущность принципа ориентации вектора потокосцепления ротора (Field Oriented Control) в системах векторного управления асинхронным приводом. Почему он

позволяет рассматривать асинхронный двигатель как коллекторный? **Правильный ответ:** сущность метода ФОС заключается в переводе уравнений динамики асинхронной машины из неподвижной трехфазной системы координат во вращающуюся систему d-q, ось 'd' которой всегда совпадает с направлением вектора потокосцепления ротора. Это позволяет математически разделить взаимосвязанные потоки возбуждения и создаваемый момент. В результате проекция тока на ось 'q' начинает управлять моментом аналогично току якоря двигателя постоянного тока, а проекция на ось 'd' — магнитным потоком аналогично току возбуждения, что делает возможным применение простых линейных ПИД-регуляторов для сложнокоординатной нелинейной машины.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Москаленко, В. В. Системы автоматизированного управления электропривода : учебник / В. В. Москаленко. — Москва : ИНФРА-М, 2026. — 208 с. — URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2263013>.
2. Ямщиков, А. В. Основы теории систем управления автоматизированных электроприводов : учебное пособие / А. В. Ямщиков. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 236 с. — URL: <https://lanbook.com/catalog/discipline/sistemy-upravleniya-elektroprivodami/>.

7.2. Дополнительная литература

3. Шандриков, А. С. Основы электропривода : учебное пособие / А. С. Шандриков. — Минск : РИПО, 2024. — 200 с. — URL: <https://profbiblioteka.by/viewer/?bookinfo=83174>.
4. Герман-Галкин, С. Г. Моделирование систем управляемого электропривода в среде MATLAB-Simulink : учебное пособие / С. Г. Герман-Галкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 384 с. — URL: <https://lanbook.com/catalog/discipline/sistemy-upravleniya-elektroprivodami/>.
5. Колганов, А. Р. Проектирование систем управления автоматизированных электроприводов : учебное пособие для вузов / А. Р. Колганов, С. К. Лебедев. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2025. — 188 с. — URL: <https://urait.ru/>.

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 «BETAFPV» - 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 BETAFPV 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 «Bauck 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 «Bauck 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 «Системы управления электроприводов» 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

Системы управления электроприводов

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Николаев Юрий Николаевич

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)