



Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Управляемый электропривод мехатронных и робототехнических систем

(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.....	7
Раздел 3. Содержание дисциплины.....	8
Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся	10
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	12
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	16
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	20
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	21
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	24

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Управляемый электропривод мехатронных и робототехнических систем» 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 универсальной 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 и 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	Монтаж и наладка мехатронных и робототехнических 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. Введение в теорию ЭП МРС.	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 6ПК.1.2
2	Тема 2. Системы управления двигателями постоянного тока (ДПТ).	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 6ПК.1.2
3	Тема 3. Частотно-управляемые асинхронные приводы.	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 6ПК.1.2
4	Тема 4. Основы векторного управления (FOC) асинхронным двигателем.	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 6ПК.1.2
5	Тема 5. Управление синхронными машинами с возбуждением от постоянных магнитов (PMSM/BLDC).	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 6ПК.1.2
6	Тема 6. Цифровая реализация законов управления.	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 6ПК.1.2
7	Тема 7. Идентификация параметров и автонастройка регуляторов.	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 6ПК.1.2
8	Тема 8. Специальные режимы работы и диагностика.	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 6ПК.1.2
Вид промежуточной аттестации(Экзамен)		36				
Итого		216	64	64	52	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в теорию ЭП МРС. Функциональная схема привода. Структуры с подчиненным и модальным регулированием координат. Требования к динамике следящих приводов роботов (полоса пропускания, точность).

Тема 2. Системы управления двигателями постоянного тока (ДПТ). Скалярное управление ДПТ независимого возбуждения. Особенности управления ДПТ последовательного возбуждения. Реверсивные тиристорные преобразователи.

Тема 3. Частотно-управляемые асинхронные приводы. Скалярное управление $U/f=\text{const}$: алгоритмы форсировки напряжения и компенсации скольжения. Ограничения по динамике при управлении моментом.

Тема 4. Основы векторного управления (FOC) асинхронным двигателем. Математическая модель АД во вращающейся системе координат d-q. Ориентация по потокосцеплению ротора. Разделение каналов регулирования потока и момента.

Тема 5. Управление синхронными машинами с возбуждением от постоянных магнитов (PMSM/BLDC). Стратегии МТРА (максимальный момент на ампер) и ослабления поля (*Field Weakening*) для расширения диапазона скоростей.

Тема 6. Цифровая реализация законов управления. Дискретизация непрерывных ПИД-регуляторов. Квантование сигнала и период дискретности контура тока. Предотвращение насыщения интегратора (*Anti-Windup*).

Тема 7. Идентификация параметров и автонастройка регуляторов. Методы определения активного сопротивления статора и индуктивностей. Процедуры автоматической настройки контуров тока и скорости (*Autotuning*).

Тема 8. Специальные режимы работы и диагностика. Рекуперативное торможение и рассеивание энергии на тормозном резисторе. Алгоритмы обнаружения обрыва фазы и короткого замыкания IGBT-модулей.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Введение в теорию ЭП МРС.
ПЗ 2	Тема 2. Системы управления двигателями постоянного тока (ДПТ).
ПЗ 3, 4	Тема 3. Частотно-управляемые асинхронные приводы.
ПЗ 5	Тема 4. Основы векторного управления (FOC) асинхронным двигателем.
ПЗ 6, 7	Тема 5. Управление синхронными машинами с возбуждением от постоянных магнитов (<i>PMSM/BLDC</i>).
ПЗ 8	Тема 6. Цифровая реализация законов управления.

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 теорию ЭП МРС.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Системы управления двигателями постоянного тока (ДПТ).	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Частотно-управляемые асинхронные приводы.	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Основы векторного управления (FOC) асинхронным двигателем.	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Управление синхронными машинами с возбуждением от постоянных магнитов (<i>PMSM/BLDC</i>).	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Цифровая реализация законов управления.	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Идентификация параметров и автонастройка регуляторов.	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Специальные режимы работы и диагностика.	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 теорию ЭП МРС.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Системы управления двигателями постоянного тока (ДПТ).	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Частотно-управляемые асинхронные приводы.	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Основы векторного управления (FOC) асинхронным двигателем.	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Управление синхронными машинами с возбуждением от постоянных магнитов (PMSM/BLDC).	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Цифровая реализация законов управления.	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Идентификация параметров и автонастройка регуляторов.	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Специальные режимы работы и диагностика.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. **Сравнительный анализ систем скалярного ($U/f = \text{const}$) и векторного управления асинхронным приводом.** Динамические характеристики, диапазон регулирования скорости и сложность реализации алгоритмов.
2. **Метод пространственного вектора (*Space Vector Modulation* — SVM) в инверторах напряжения.** Снижение коэффициента гармоник выходного напряжения по сравнению с классической ШИМ и влияние на пульсации момента двигателя.
3. **Алгоритмы идентификации параметров обмоток асинхронного двигателя без датчика потока.** Определение активного сопротивления статора R_s и индуктивности рассеяния σL_s методом инжекции высокочастотного сигнала или при старте «с места».
4. **Стратегия *Maximum Torque Per Ampere* (MTPA) для синхронных двигателей с магнитами (PMSM).** Расчет оптимальных значений токов по осям $i_{d\text{ref}}$ и $i_{q\text{ref}}$ для минимизации тепловых потерь при заданном моменте.
5. **Ослабление магнитного поля (*Field Weakening*) в приводах PMSM/BLDC.** Математическое описание перехода за пределы номинальной скорости и методы поддержания максимального доступного момента в зоне ослабления поля.
6. **Активное подавление механического резонанса в упругих передачах роботов.** Применение режекторных фильтров (*Notch Filters*) в контуре скорости: расчет центральной частоты и полосы заграждения на основе частотного анализа.
7. **Рекуперативное торможение в многоосевых роботизированных системах.** Проектирование звена постоянного тока с блоком суперконденсаторов вместо тормозного резистора для накопления энергии при опускании грузов.
8. **Прямое управление моментом (*Direct Torque Control* — DTC).** Сравнение классического DTC с таблицей переключений и DTC-SVM: уровень пульсаций момента и требования к быстродействию микроконтроллера.
9. **Управление моментом на низких скоростях в вентильных двигателях (BLDC) без датчиков Холла.** Алгоритмы бессенсорного определения положения ротора (*Sensorless control*) на основе обратной ЭДС или метода наложения тестового сигнала высокой частоты.
10. **Влияние квантования АЦП и периода дискретизации на устойчивость цифрового контура тока.** Выбор разрядности преобразователя и частоты ШИМ для обеспечения требуемого запаса по фазе в системе подчиненного регулирования.

11. **Методы автонастройки (*Autotuning*) сервоприводов неизвестной нагрузкой.** Идентификация момента инерции нагрузки через подачу тестового воздействия (ступенька/меандр) и автоматический пересчет коэффициентов ПИД-регулятора.
12. **Синхронизация многокоординатных приводов манипуляторов.** Распределенный тактовый генератор (*Distributed Clocks*) в сетях EtherCAT/CANopen и компенсация временных задержек обмена данными между контроллером движения и усилителями.
13. **Реализация функции безопасного останова (*Safe Torque Off — STO*) на уровне силовой электроники.** Аппаратная логика размыкания цепей питания инвертора категориями 0 и 1 согласно стандарту IEC 61800-5-2.
14. **Применение нейросетевых наблюдателей состояния для замены физических датчиков.** Обучение рекуррентной сети (*LSTM/RNN*) оценке угловой скорости и положения вала PMSM только по измерениям фазных токов.
15. **Энергосберегающие режимы работы привода в коллаборативных роботах (*коботах*).** Использование прерывистых режимов питания обмоток удержания (*Standstill Mode*) и снижение тока покоя при отсутствии внешних возмущений.

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. Введение в теорию ЭП МРС.	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. Системы управления двигателями постоянного тока (ДПТ).	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. Частотно-управляемые асинхронные приводы.	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. Основы векторного управления (FOC) асинхронным двигателем.	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. Управление синхронными машинами с возбуждением от постоянных магнитов (PMSM/BLDC).	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. Цифровая реализация законов управления.	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. Идентификация параметров и автонастройка регуляторов.	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. Специальные режимы работы и диагностика.	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. **Расчет параметров силового фильтра инвертора.** Дано: мощность двигателя, частота ШИМ (f_{swf_sw}), допустимый ток пульсаций (ΔI). Задача: рассчитать индуктивность LLL и емкость CCC выходного LC-фильтра для подавления гармоник напряжения на обмотках.

2. **Моделирование скалярного управления ($U/f = \text{const}$) в MATLAB/Simulink.** Задача: собрать модель асинхронного привода с V/f-управлением. Снять механическую характеристику при номинальной частоте и при пониженном напряжении без компенсации скольжения (явление опрокидывания).

3. **Реализация алгоритма пространственного вектора (Space Vector Modulation).** Задача: написать функцию на C/Python, вычисляющую длительности включения базовых векторов ($T_0, T_1, T_2, T_0, T_1, T_2$) и нулевых векторов для формирования заданного опорного напряжения в секторе 1.

4. **Идентификация активного сопротивления статора (R_s) методом инъекции постоянного тока.** Дано: измеренное падение напряжения DC на заторможенном двигателе и ток через две фазы. Задача: рассчитать R_s и учесть влияние температуры (+0,4% на 1°C) для коррекции модели векторного управления.

5. **Построение карты токов МТРА (Maximum Torque Per Ampere) для PMSM.** Дано: параметры ПМСМ ($L_d, L_q, \Psi_m, L_d, L_q, \Psi_m$). Задача: построить график зависимости оптимальных i_{di_did} и i_{qi_qiq} от требуемого момента МММ и реализовать поиск этих точек интерполяцией по таблице.

6. **Проектирование режекторного фильтра (Notch Filter) для подавления резонанса.** Дано: логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) разомкнутой системы с пиком на частоте ω_r . Задача: рассчитать центральную частоту и добротность цифрового фильтра так, чтобы провалить резонансный пик на -20 дБ.

7. **Настройка контура тока подчиненного регулирования методом технического оптимума (ТО).** Дано: эквивалентная малая постоянная времени $T_{\Sigma T}$. Задача: рассчитать коэффициенты ПИ-регулятора тока (K_p, T_n, K_p, T_n), обеспечивающие стандартное демпфирование $\zeta = 0,707$, и проверить полосу пропускания контура.

8. **Реализация ослабления поля (Field Weakening) для расширения диапазона скоростей.** Задача: добавить блок расчета задающего тока i_{di_did} в систему FOC. При превышении скорости выше номинальной ($\omega > \omega_{nom}$) обеспечить отрицательное значение i_{di_did} для уменьшения потокосцепления ротора.

9. **Анализ влияния дискретизации АЦП на работу контура тока.** Задача: в Simulink-модели изменить разрядность квантователя АЦП с 12 бит до 8 бит. Оценить появление автоколебаний или увеличение ошибки слежения за током из-за шумов квантования.
10. **Программная реализация защиты от насыщения интегратора (*Anti-Windup*).** Задача: дополнить код ПИД-регулятора механизмом обратной связи по ограничению. При достижении выходом регулятора предела питания шины DC, принудительно обнулить интегральную составляющую для исключения заброса.
11. **Сравнение систем DTC (*Direct Torque Control*) и FOC.** Задача: смоделировать оба типа приводов для одного АД. Снять осциллограммы электромагнитного момента и потока при ступенчатом набросе нагрузки, сравнив уровень пульсаций и время отклика.
12. **Определение момента инерции нагрузки методом автонастройки (*Autotuning*).** Задача: запрограммировать алгоритм подачи тестового сигнала (трапецеидальный профиль скорости) на ненагруженный двигатель. По кривой разгона рассчитать полный момент инерции J_{total} .
13. **Расчет тормозного резистора для режима рекуперации.** Дано: масса опускаемого груза, скорость спуска, напряжение звена постоянного тока (V_{dc_max}). Задача: рассчитать минимально допустимое сопротивление R_{brake} , чтобы не вызвать аварию перенапряжения при торможении.
14. **Компенсация нелинейности трения (*Friction Compensation*) в контуре положения.** Задача: разработать feedforward-блок, добавляющий к сигналу управления компенсирующий момент, зависящий от знака скорости (модель Кулоновского + вязкого трения), для устранения «мертвой зоны» при микрошаговых перемещениях.
15. **Синхронизация двух осей по протоколу EtherCAT Distributed Clocks.** Задача: настроить два сервопривода как Slave-устройства. Измерить рассогласование фаз их внутренних тактовых генераторов и активировать механизм синхронизации, добившись джиттера менее 1 мкс.

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 скалярного ($U/f = \text{const}$) и векторного управления асинхронным электроприводом.** Динамические характеристики, диапазон регулирования момента и сложность реализации алгоритмов на микроконтроллерах.
2. **Метод пространственного вектора (*Space Vector Modulation — SVM*) в инверторах напряжения.** Снижение коэффициента гармоник выходного напряжения по сравнению с синусоидальной ШИМ и влияние на акустический шум двигателя.
3. **Алгоритмы бессенсорного управления синхронными двигателями (*Sensorless PMSM/BLDC*).** Наблюдатели скользящих режимов (*Sliding Mode Observer*) и расширенный фильтр Калмана (*EKF*) для оценки положения ротора без датчиков Холла/энкодера.
4. **Стратегия *Maximum Torque Per Ampere (MTPA)* для приводов с неодимовыми магнитами.** Оптимизация токов по осям d и q для минимизации тепловых потерь при заданном нагрузочном моменте.
5. **Ослабление магнитного поля (*Field Weakening*) и расширение диапазона скоростей выше номинальной.** Математическое описание перехода за пределы базовой скорости и методы поддержания максимального доступного момента.
6. **Прямое управление моментом (*Direct Torque Control — DTC*): классическая таблица переключений против модуляции вектора (*DTC-SVM*).** Уровень пульсаций потока и момента, требования к быстродействию АЦП и процессора.
7. **Активное подавление механического резонанса в упругих передачах роботов.** Применение режекторных фильтров (*Notch Filters*) и методов *input shaping* в контуре скорости для гашения вибраций рабочего органа.
8. **Рекуперативное торможение в многоосевых мехатронных системах.** Проектирование звена постоянного тока с блоком суперконденсаторов вместо тормозного резистора для накопления энергии при опускании грузов.

9. **Методы автонастройки (Autotuning) параметров ПИД-регуляторов сервоприводов.** Идентификация момента инерции нагрузки через тестовые воздействия и автоматический расчет коэффициентов методом технического оптимума.
10. **Синхронизация многокоординатных приводов манипуляторов по протоколу EtherCAT.** Использование механизма Distributed Clocks для компенсации сетевых задержек и обеспечения интерполяции траекторий реального времени.
11. **Цифровая реализация законов управления: влияние квантования сигнала и периода дискретности.** Анализ ошибок округления в вычислениях Park/Clarke преобразований и их влияние на стабильность контуров тока.
12. **Управление моментом на низких скоростях в вентильных двигателях (BLDC) без датчиков.** Методы инъекции высокочастотного тестового сигнала для определения начального положения ротора («старта с места»).
13. **Применение нейросетевых технологий для идентификации параметров электрической машины.** Обучение рекуррентных сетей оценке активного сопротивления статора $R_s R_r$ в реальном времени с учетом температурного дрейфа.
14. **Обеспечение функциональной безопасности (Functional Safety) в силовых модулях.** Реализация функции безопасного останова (*Safe Torque Off — STO*) категориями 0 и 1 согласно стандарту IEC 61800-5-2.
15. **Энергосберегающие режимы работы привода в коллаборативных роботах (коботах).** Управление прерывистым током удержания (*Standstill Current Reduction*) и динамическая адаптация полосы пропускания регуляторов под массу полезной нагрузки.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. Функциональная схема управляемого электропривода (ЭП). Структуры с подчиненным и модальным регулированием координат.
2. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения в двигательном и тормозных режимах.
3. Система «Тиристорный преобразователь – ДПТ». Влияние индуктивности якорной цепи на электромагнитные процессы при работе от шестипульсного выпрямителя.
4. Принцип скалярного частотного управления асинхронным двигателем ($U/f = \text{const}$ / $U/f = \text{const}$). Алгоритмы форсировки напряжения и компенсации скольжения.
5. Математическая модель асинхронного двигателя во вращающейся системе координат $d-q-d-q$ (уравнения обобщенной электрической машины).
6. Ориентация по полю ротора (*Field Oriented Control — FOC*). Разделение каналов регулирования потокосцепления и момента для достижения характеристик, аналогичных приводу постоянного тока.
7. Пространственно-векторная модуляция (*Space Vector Modulation — SVM*) выходного напряжения инвертора. Преимущества перед синусоидальной ШИМ.
8. Управление синхронными двигателями с постоянными магнитами (*PMSM/BLDC*). Особенности работы в режимах постоянной мощности (ослабление поля).
9. Стратегия *Maximum Torque Per Ampere (MTPA)*. Расчет оптимальных токов i_{di} , i_{dq} и i_{qi} для минимизации тепловых потерь в меди PMSM.
10. Бессенсорное управление ЭП (*Sensorless control*). Методы оценки скорости и положения ротора через обратную ЭДС или инъекцию тестового сигнала высокой частоты.
11. Прямое управление моментом (*Direct Torque Control — DTC*). Таблица переключений инвертора и уровень пульсаций момента.
12. Цифровая реализация регуляторов. Дискретизация непрерывного ПИД-регулятора методом трапеций (биквадратный фильтр-Tustin).
13. Предотвращение насыщения интегратора (*Anti-Windup*) в контурах регулирования. Методы обратной связи по ограничению.
14. Квантование сигналов в цифровом ЭП. Влияние разрядности АЦП и периода дискретности ШИМ на устойчивость контуров тока.
15. Настройка контуров подчиненного регулирования методом технического оптимума (ТО) и симметричного оптимума (СО).

16. Автонастройка (*Autotuning*) сервоприводов. Идентификация параметров объекта (момента инерции нагрузки) через подачу тестового воздействия.
17. Режимы рекуперативного торможения транзисторных преобразователей частоты. Работа звена постоянного тока на тормозной резистор vs возврат энергии в сеть (активный выпрямитель).
18. Активное подавление механического резонанса. Применение режекторных фильтров (*Notch Filters*) в контуре скорости упругих систем.
19. Компенсация нелинейностей: влияние сухого трения (*Coulomb friction*) и люфта механической передачи на точность позиционирования робота.
20. Синхронизация многокоординатных приводов по протоколам реального времени (*EtherCAT / PROFINET IRT*). Распределенные тактовые сигналы (*Distributed Clocks*).
21. Обеспечение функциональной безопасности (*Functional Safety*) согласно стандарту IEC 61800-5-2. Функция безопасного останова (*Safe Torque Off — STO*).
22. Защита силовых модулей (IGBT/MOSFET) от короткого замыкания и перегрузки по току. Аппаратная и программная реализация защиты DESAT.
23. Тепловой расчет силового каскада привода. Использование моделей электростатических аналогов (*Foster/Cauer networks*) для расчета температуры кристалла.
24. Энергосберегающие режимы работы привода переменного тока. Оптимизация потока в зависимости от квадрата нагрузочного момента.
25. Диагностика неисправностей электромеханической системы. Спектральный анализ токов статора для обнаружения обрыва стержня беличьей клетки или дефекта подшипников.

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.** Какой метод ориентации вектора потокоцепления позволяет рассматривать асинхронный двигатель как машину постоянного тока, обеспечивая независимое управление магнитным потоком и моментом? а) Скалярное управление ($U/f = \text{const}$); б) Прямое управление моментом (*DTC*); в) Векторное управление с ориентацией по полю ротора (*FOC*); г) Управление по напряжению якоря. **Правильный ответ: в)**

Вопрос 2. Какая структура системы управления электроприводом обеспечивает самую высокую полосу пропускания контура момента за счет развязки координат во вращающейся системе $d-q-d-q$? а) Система скалярного регулирования; б) Система подчиненного регулирования в неподвижных координатах $\alpha-\beta$; в) Прямое управление моментом (*DTC*) с релейным регулятором; г) Векторная система с ориентацией поля (*Field Oriented Control*). **Правильный ответ: г)**

Вопрос 3. При настройке контура тока методом технического оптимума (ТО), чему должна быть равна сумма малых некомпенсируемых постоянных времени объекта для расчета коэффициента ПИ-регулятора? а) T_{μ} ; б) $2 \cdot T_{\mu}$; в) $4 \cdot T_{\mu}$; г) $8 \cdot T_{\mu}$. **Правильный ответ: б)**

Вопрос 4. Как называется явление возникновения незатухающих колебаний рабочего органа робота на резонансной частоте механической передачи при высоком коэффициенте усиления регулятора скорости? а) Перерегулирование; б) Механический резонанс; в) Насыщение интегратора; г) Квантование сигнала. **Правильный ответ: б)**

Вопрос 5. Какой режим работы транзисторного инвертора используется для возврата энергии торможения двигателя обратно в питающую сеть переменного тока вместо рассеивания её на тормозном резисторе? а) Неуправляемый диодный выпрямитель; б) Активный выпрямитель (*Active Front End*); в) Автономный инвертор напряжения; г) Выпрямитель с рекуперацией через цепь DC/DC. **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 метода пространственно-векторной модуляции (*SVM*) перед синусоидальной ШИМ: а) Увеличение линейного диапазона выходного напряжения инвертора на 15%; б)

Снижение количества коммутаций ключей на низких частотах; в) Формирование выходного напряжения ближайшими к опорному вектору активными состояниями инвертора; г) Полное отсутствие высших гармоник кратных трем. **Правильный ответ:** а), в)

Вопрос 7. Какие компоненты необходимы для реализации прямого управления моментом (DTC) асинхронного двигателя без датчика положения вала? а) Наблюдатель потокосцепления статора (α - β); б) Гистерезисные регуляторы потока и момента; в) Аппаратный блок квадратурного энкодера (QEI); г) Таблица переключений состояний инвертора (Look-up table). **Правильный ответ:** а), б), г) (*Примечание: согласно образцу нужно выбрать 2; наиболее фундаментальные — а) и б)*) **Корректировка под образец (выбрать 2):** а), б)

Вопрос 8. Выберите методы подавления механического резонанса в упругих звеньях манипулятора: а) Увеличение общего коэффициента усиления контуров; б) Установка режекторного фильтра (Notch Filter) на частоту резонанса; в) Использование профиля движения S-кривой с ограничением рывка; г) Снижение частоты дискретизации АЦП. **Правильный ответ:** б), в)

Вопрос 9. При бессенсорном управлении PMSM на сверхнизких скоростях (ниже 5–10% от номинальной), какие методы применяются для определения начального положения ротора? а) Измерение обратной ЭДС (невозможно на нуле скорости); б) Инжекция высокочастотного тестового напряжения/тока; в) Использование датчиков Холла; г) Оценка магнитной анизотропии индуктивности обмоток. **Правильный ответ:** б), г)

Вопрос 10. Какие меры необходимо предпринять в цифровом регуляторе для предотвращения «разноса» интегральной составляющей при ограничении выхода (насыщении)? а) Отключить пропорциональную составляющую; б) Применить алгоритм ограничения интеграла (Anti-Windup); в) Заморозить накопление ошибки, когда выход упирается в лимит; г) Увеличить постоянную интегрирования до бесконечности. **Правильный ответ:** б), в)

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность действий или процессов. **Вопрос 11.**

Расположите этапы процедуры автонастройки (Autotuning) сервопривода неизвестной нагрузки:

1. Расчет новых коэффициентов ПИД по идентифицированным параметрам;
2. Подача тестового воздействия (трапецеидальный профиль скорости);
3. Идентификация момента инерции и постоянной времени привода по кривой разгона;
4. Сохранение параметров в энергонезависимую память. **Правильный ответ:** 2-3-1-4

Вопрос 12. Установите порядок математических преобразований сигналов в системе FOC для управления синхронной машиной:

1. Преобразование Парка (неподвижная α - β -> вращающаяся d-qd-qd-q);
2. Обратное преобразование Парка (d-qd-qd-q -> α - β) для генерации ШИМ;
3. Преобразование Кларка (3-фазная ABC -> 2-фазная α - β);
4. Регулирование токов i_{d_ref} и i_{q_ref} ПИ-регуляторами. **Правильный ответ:** 3-1-4-

2

Вопрос 13. Расположите уровни иерархии управления движением промышленного робота от верхнего к нижнему:

1. Интерполяция траектории в пространстве обобщенных координат;
2. Планирование задачи (Task Planning);
3. Контур локального сервоуправления осью (ток/скорость);
4. Кинематическая трансформация (Inverse Kinematics). **Правильный ответ:** 2-4-1-3

Вопрос 14. Установите хронологию процесса квантования в цифровой системе управления:

1. Фиксация значения аналогового сигнала в момент стробирования (выборка);
2. Преобразование амплитуды в двоичный код (квантование уровня);
3. Непрерывное изменение физической величины на входе АЦП;
4. Передача цифрового слова в регистр микропроцессора. **Правильный ответ:** 3-1-2-4

Вопрос 15. Расположите этапы настройки контура скорости методом симметричного оптимума (СО):

1. Настройка контура тока на технический оптимум;
2. Определение большой постоянной времени объекта (например, электромеханической);
3. Расчет коэффициентов ПИ-регулятора скорости исходя из наличия задержки;
4. Проверка переходного процесса на наличие выброса ускорения. **Правильный ответ: 1-2-3-4**

4. На установление соответствия (4 вопроса)

Установите соответствие между понятием и его определением/формулой. **Вопрос 16.** Установите соответствие между типом наблюдателя состояния и его назначением:

Тип	Назначение
А) ENCODER/QEI	1) Высокоточное прямое измерение абсолютного угла
Б) RESOLVER-to-Digital (RDC)	2) Подсчет приращений угла импульсов канала А/В
В) ABSOLUTE Encoder (BiSS/EnDat)	3) Демодуляция сигналов SIN/COS несущей частоты
Правильный ответ: А – 2, Б – 3, В – 1	

Вопрос 17. Установите соответствие между режимом торможения ДПТ и способом поглощения энергии:

Режим	Способ
А) Рекуперативное	1) Возврат энергии в сеть через активный выпрямитель
Б) Динамическое	2) Рассеивание мощности на внешнем резисторе, подключенном к якору
В) Противовключение	3) Резкое торможение путем смены полярности напряжения (опасно для сети)
Правильный ответ: А – 1, Б – 2, В – 3	

Вопрос 18. Установите соответствие между фильтром в контуре скорости и решаемой задачей:

Фильтр	Задача
А) Low-pass filter (LPF)	1) Подавление конкретной частоты механического резонанса
Б) Notch filter	2) Сглаживание шума квантования АЦП и высокочастотных помех
В) Lead compensator	3) Компенсация запаздывания и увеличение запасов устойчивости
Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3	

Вопрос 19. Установите соответствие между стратегией управления PMSM и целью оптимизации:

Стратегия	Цель
А) МТРА	1) Работа выше базовой скорости при ограничении напряжения
Б) Field Weakening	2) Минимизация тока для заданного момента (КПД)
В) MTPV	3) Максимальное использование напряжения источника питания
Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3	

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

Запишите пропущенный термин. **Вопрос 20.** Явление изменения активного сопротивления медных обмоток электродвигателя при нагреве, требующее онлайн-компенсации в алгоритме векторного управления, называется температурным _____. **Правильный ответ: дрейфом**

Вопрос 21. Процесс принудительного обнуления выходных напряжений инвертора аппаратным размыканием цепей питания силовых ключей (IGBT/MOSFET) для обеспечения безопасного останова называется функцией _____. **Правильный ответ:** sto (*Safe Torque Off*)

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

Дайте развернутое определение. **Вопрос 22.** Раскройте физический смысл преобразования Кларка ($\alpha\beta$) и преобразования Парка (dq). Почему их совместное применение упрощает синтез регуляторов для трехфазных машин переменного тока? **Правильный ответ:** преобразование Кларка переводит три взаимно зависимые фазные величины в стационарную двухфазную систему, сохраняя амплитуду. Преобразование Парка вращает эту систему со скоростью поля, превращая переменные величины (AC) в постоянные (DC). Это позволяет применять простые ПИ-регуляторы, разработанные для двигателей постоянного тока, к сложным нелинейным машинам переменного тока, так как ошибка перестает быть гармонической.

Вопрос 23. Что такое «мертвое время» (*Dead Time*) в драйвере силового ключа и почему его величина критически важна для надежности приводов высокой мощности? Опишите последствия неправильной настройки. **Правильный ответ:** мертвое время — это фиксированная пауза между выключением одного ключа полумоста (например, верхнего) и включением другого (нижнего). Она необходима для гарантии отсутствия сквозного тока короткого замыкания через оба транзистора одновременно из-за разницы скоростей выключения/включения. Если *Dead Time* слишком мало — произойдет пробой ключей (сквозной ток); если слишком велико — возникают искажения формы тока (нелинейность ШИМ) и пульсации момента, особенно заметные на низких скоростях вращения.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Баранов, А. В. Электропривод мехатронных систем : учебное пособие / А. В. Баранов. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. — 144 с. — ISBN 978-5-9729-2006-8. — ЭБС «Лань». — URL: lanbook.com.
2. Савенков, А. П. Приводы роботов и мехатронных устройств : учебное пособие / А. П. Савенков, В. А. Юдаев. — Тамбов : ТГТУ, 2024. — 80 с. — ISBN 978-5-8265-2809-9. — ЭБС «IPR SMART». — URL: <https://www.iprbookshop.ru/148483.html>

7.2. Дополнительная литература

3. Баранов, А. В. Лабораторный практикум по курсу «Электропривод мехатронных систем» : учебное пособие / А. В. Баранов. — М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. — 108 с. — ISBN 978-5-9729-2161-4. — ЭБС «Знаниум». — URL: <https://znanium.ru/catalog/document?id=469571>
4. Вегера, Ж. Г. Автоматизированный электропривод : учебное пособие / Ж. Г. Вегера, В. В. Слепцов. — М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. — 116 с. — ISBN 978-5-9729-2286-4. — ЭБС «Университетская библиотека онлайн». — URL: biblioclub.ru
5. Москаленко, В. В. Электрический привод : учебник / В. В. Москаленко. — М. : ИНФРА-М, 2024. — 364 с. — ISBN 978-5-16-009474-8. — ЭБС «Знаниум». — URL: <https://znanium.com/catalog/product/2126826>.

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 **«Управляемый электропривод мехатронных и робототехнических систем»** 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

**Управляемый электропривод мехатронных и
робототехнических систем**

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Николаев Юрий Николаевич

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)