



Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Автоматизированный электропривод

(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	5
Общее количество часов	180
Аудиторные часы контактной работы обучающегося с преподавателями:	64
– Лекционные (Л)	32
– Практические (ПЗ)	32
– Лабораторные (ЛЗ)	
– Семинарские (СЗ)	
Самостоятельная работа обучающихся (СРО)	62
К (Р-Г) Р (П) (+;-)	
Тестирование (+;-)	
ДКР (+;-)	
Зачет (+;-)	
Зачет с оценкой (+;- (Кол-во часов))	
Экзамен (+;- (Кол-во часов))	+ (54)

Волгоград 2026

Содержание

Раздел 1. Организационно-методический раздел	3
Раздел 2. Тематический план.....	6
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	19
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	20
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	23

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Автоматизированный электропривод» входит в «Обязательная часть» 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	Электротехника и электроника
2.	Введение в инженерную деятельность	

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. Механика электропривода: уравнение движения, приведение моментов и моментов инерции к валу двигателя.	16	4	4	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. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока независимого возбуждения (<i>ДПТ НВ</i>): естественные и искусственные характеристики.	16	4	4	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. Асинхронные двигатели (<i>АД</i>): схема замещения, механическая характеристика, способы регулирования скорости вращения.	16	4	4	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
4	Тема 4. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (<i>СДПМ/PM SM</i>): векторное управление (<i>FOC</i>) для сервоприводов манипуляторов.	16	4	4	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
5	Тема 5. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (<i>BLDC</i>): трапецеидальная коммутация и методы определения положения ротора (сенсорные и бессенсорные).	16	4	4	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
6	Тема 6. Полупроводниковые преобразователи: широтно-импульсная модуляция (<i>ШИМ/PWM</i>) и автономные инверторы напряжения (<i>АИН/VSI</i>).	16	4	4	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
7	Тема 7. Замкнутые системы автоматического управления (<i>САУ</i>) приводом: ПИД-регуляторы контура тока, скорости и положения.	16	4	4	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
8	Тема 8. Планирование траекторий и интерполяция движений робота: S-кривые разгона-торможения и синхронизация работы группы осей.	14	4	4	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)		54				
Итого		180	32	32	62	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Механика электропривода: уравнение движения, приведение моментов и моментов инерции к валу двигателя Уравнение механического равновесия (динамическое уравнение) привода: $M - M_c = J d\omega/dt$ - $M_c = J \frac{d\omega}{dt}$ $M - M_c = J dt d\omega$. Понятие статической (M_c) и динамической ($M_{дин}$) нагрузки. Метод эквивалентных величин: приведение всех масс механизма и сил сопротивления к расчетной скорости вала двигателя с помощью передаточного отношения редуктора ($\omega_{мех} = \omega_{дв}/i$, $\omega_{мех} = \omega_{дв}/i$). Расчет времени пуска и торможения манипулятора.

Тема 2. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ): естественные и искусственные характеристики Принцип действия ДПТ. Уравнения цепи якоря и обмотки возбуждения. Естественная механическая характеристика $n(M)$. Искусственные характеристики при изменении напряжения якоря, добавочного сопротивления в цепи якоря и магнитного потока. Применение широтно-импульсного регулирования (ШИМ) для управления двигателями малых сервисных роботов.

Тема 3. Асинхронные двигатели (АД): схема замещения, механическая характеристика, способы регулирования скорости Схема замещения фазы асинхронного двигателя. Скольжение (s), критический момент ($M_{кр}$) и синхронная скорость. Формула Клосса для расчета механической характеристики. Законы частотного регулирования: закон Костенко (поддержание потока), вентиляторный закон ($U/f^2 = \text{const}$, $U/f^2 = \text{const}$) и закон компенсации скольжения для приводов колесных платформ.

Тема 4. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ/PMSM): векторное управление (FOC) для сервоприводов манипуляторов Устройство PMSM. Математическая модель во вращающейся системе координат ($d-q$). Принцип ориентирования по полю (Field-Oriented Control — FOC). Разделение каналов управления: канал намагничивания (ось d) и канал момента (ось q). Обеспечение высокого быстродействия и точности позиционирования промышленных роботов-манипуляторов.

Тема 5. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (BLDC): трапецеидальная коммутация и методы определения положения ротора Отличие конструкции от PMSM (трапецеидальное распределение магнитного поля). Электронный коммутатор (инвертор) и логика переключения фаз (6-шаговая коммутация). Методы определения текущего электрического угла: датчики Холла против алгоритмов оценки ЭДС свободной фазы (бессенсорное управление) для снижения стоимости дронов.

Тема 6. Полупроводниковые преобразователи: широтно-импульсная модуляция (ШИМ/PWM) и автономные инверторы напряжения (АИН/VSI) Принцип формирования выходного напряжения инвертора с помощью высокочастотной ШИМ. Трехфазный мост на IGBT или SiC-транзисторах. Способы модуляции: синусоидальная (SPWM) и пространственно-векторная (SVPWM) для улучшения использования звена постоянного тока. Dead-time (мертвое время) и защита силовых ключей драйвера.

Тема 7. Замкнутые системы автоматического управления (САУ) приводом: ПИД-регуляторы контура тока, скорости и положения Каскадная структура подчиненного регулирования. Внутренний контур тока (самый быстрый), средний контур скорости и внешний контур положения. Настройка параметров ПИ/ПИД-регуляторов методом технического оптимума (модульный оптимум) и симметричного оптимума для исключения перерегулирования стрелы крана-робота.

Тема 8. Планирование траекторий и интерполяция движений робота: S-кривые разгона-торможения и синхронизация работы группы осей Профили движения: треугольный и трапецеидальный графики скорости. Переход от ступенчатых изменений ускорения (L -профиль) к плавным (S -кривые/Jerk-limited profile) для предотвращения раскачивания груза. Линейная и круговая интерполяция. Геометрическое планирование пути рабочего органа (TCP) при одновременном движении нескольких суставов антропоморфной руки.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Механика электропривода: уравнение движения, приведение моментов и моментов инерции к валу двигателя.
ПЗ 2	Тема 2. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока независимого возбуждения (<i>ДПТ НВ</i>): естественные и искусственные характеристики.
ПЗ 3, 4	Тема 3. Асинхронные двигатели (<i>АД</i>): схема замещения, механическая характеристика, способы регулирования скорости вращения.
ПЗ 5	Тема 4. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (<i>СДПМ/PMSM</i>): векторное управление (<i>FOC</i>) для сервоприводов манипуляторов.
ПЗ 6, 7	Тема 5. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (<i>BLDC</i>): трапецеидальная коммутация и методы определения положения ротора (сенсорные и бессенсорные).
ПЗ 8	Тема 6. Полупроводниковые преобразователи: широтно-импульсная модуляция (<i>ШИМ/PWM</i>) и автономные инверторы напряжения (<i>АИН/VSI</i>).

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. Механика электропривода: уравнение движения, приведение моментов и моментов инерции к валу двигателя.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока независимого возбуждения (<i>ДПТ НВ</i>): естественные и искусственные характеристики.	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Асинхронные двигатели (<i>АД</i>): схема замещения, механическая характеристика, способы регулирования скорости вращения.	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (<i>СДПМ/PMSM</i>): векторное управление (<i>FOC</i>) для сервоприводов манипуляторов.	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (<i>BLDC</i>): трапецеидальная коммутация и методы определения положения ротора (сенсорные и бессенсорные).	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Полупроводниковые преобразователи: широтно-импульсная модуляция (<i>ШИМ/PWM</i>) и автономные инверторы напряжения (<i>АИН/VSI</i>).	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Замкнутые системы автоматического управления (<i>САУ</i>) приводом: ПИД-регуляторы контура тока, скорости и положения.	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Планирование траекторий и интерполяция движений робота: S-кривые разгона-торможения и синхронизация	ПЗ	Деловая игра	75

	работы группы осей.			
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. Механика электропривода: уравнение движения, приведение моментов и моментов инерции к валу двигателя.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока независимого возбуждения (<i>ДПТ НВ</i>): естественные и искусственные характеристики.	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Асинхронные двигатели (<i>АД</i>): схема замещения, механическая характеристика, способы регулирования скорости вращения.	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (<i>СДПМ/PM SM</i>): векторное управление (<i>FOC</i>) для сервоприводов манипуляторов.	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (<i>BLDC</i>): трапецеидальная коммутация и методы определения положения ротора (сенсорные и бессенсорные).	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Полупроводниковые преобразователи: широтно-импульсная модуляция (<i>ШИМ/PWM</i>) и автономные инверторы напряжения (<i>АИН/VSI</i>).	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Замкнутые системы автоматического управления (<i>САУ</i>) приводом: ПИД-регуляторы контура тока, скорости и положения.	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Планирование траекторий и интерполяция движений робота: S-кривые разгона-торможения и синхронизация работы группы осей.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. Сравнительный анализ систем векторного управления (*FOC*) и прямого управления моментом (*DTC*) для синхронных двигателей с постоянными магнитами в осях коллаборативных роботов.
2. Методы бессенсорного управления скоростью асинхронных приводов: алгоритмы наблюдателей состояния (Luenberger, Extended Kalman Filter) для оценки потокосцепления ротора.
3. Применение нейросетевых моделей для адаптивной настройки коэффициентов *ПИД*-регуляторов сервоприводов в условиях изменяющейся полезной нагрузки манипулятора.
4. Энергосберегающие режимы работы частотно-регулируемого привода насосной станции мобильного робота-пожарного: использование закона $U/f^2 = \text{const}$ $U/f^2 = \text{const}$ $U/f^2 = \text{const}$ и автоматический поиск точки максимальной мощности.
5. Анализ влияния «мертвого времени» (*Dead-time*) инвертора высших гармоник напряжения на пульсации момента и акустический шум бесколлекторных двигателей (*BLDC*) малых дронов.
6. Тормозные режимы электропривода: реостатное торможение против рекуперативного возврата энергии в звено постоянного тока при спуске груза краном-манипулятором.
7. Синхронизация движения шести степеней свободы промышленного робота методом Look-ahead планирования траектории для обеспечения непрерывности подачи инструмента при высокоскоростной обработке.

8. Моделирование упругих механических связей (гибких валов, ремней) в структуре автоматизированного электропривода и методы активного подавления механических резонансов.
9. Особенности проектирования безредукторных электроприводов прямой передачи момента (*Direct Drive*): влияние зубцовых пульсаций (*cogging torque*) и способы их компенсации программным способом.
10. Использование матричной (*Matrix Converter*) топологии преобразователей частоты вместо автономного инвертора с *ШИМ* для создания компактных интеллектуальных серводвигателей.
11. Диагностика неисправностей обмоток статора асинхронного двигателя в реальном времени по спектру токов питания (*MCSA — Motor Current Signature Analysis*) без установки дополнительных датчиков вибрации.
12. Управление многодвигательными приводами конвейерных линий роботизированного склада: распределение тягового усилия и компенсация провисания ленты между секциями.
13. Тепловая модель силового модуля инвертора (*IGBT/SiC*): построение эквивалентной тепловой схемы «кристалл-корпус-радиатор» для расчета циклической перегрузочной способности драйвера колеса электромобиля.
14. Синтез дискретных законов управления цифровым электроприводом: переход от непрерывной передаточной функции регулятора к разностному уравнению методами Эйлера или Тустена (Билинейное преобразование).
15. Применение генетических алгоритмов для глобальной оптимизации энергоэффективности цикла движения антропоморфного робота-гуманоида «от шага до жеста».

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

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

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

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

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

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Механика электропривода: уравнение движения, приведение моментов и моментов инерции к валу двигателя.	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. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ): естественные и искусственные характеристики.	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. Асинхронные двигатели (АД): схема замещения, механическая характеристика, способы регулирования скорости вращения.	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. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ/PMSM): векторное управление (FOC) для сервоприводов манипуляторов.	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. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (BLDC): трапецеидальная коммутация и методы определения положения ротора (сенсорные и бессенсорные).	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. Полупроводниковые преобразователи: широтно-импульсная модуляция (ШИМ/PWM) и автономные инверторы напряжения (АИН/VSI).	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. Замкнутые системы автоматического управления (САУ) приводом: ПИД-регуляторы контура тока, скорости и положения.	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 6ПК.1.2
8	Тема 8. Планирование траекторий и интерполяция движений робота: S-кривые разгона-торможения и синхронизация работы группы осей.	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 6ПК.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 времени пуска привода.** Для манипулятора с моментом инерции $J=0,5J = 0\{, \}5J=0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и нагрузкой $M_c=10M_c = 10M_c=10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ используется двигатель постоянного тока с линейной механической характеристикой ($M_{\text{пуск}}=30M_{\text{пуск}} = 30M_{\text{пуск}}=30 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $M_{\text{ном}}=20M_{\text{ном}} = 20M_{\text{ном}}=20 \text{ Н}\cdot\text{м}$). Определите время разгона до номинальной скорости $\omega_{\text{ном}}=100\omega_{\text{ном}} = 100\omega_{\text{ном}}=100 \text{ рад/с}$.

2. **Приведение моментов к валу двигателя.** Редуктор робота имеет передаточное отношение $i=50i = 50i=50$ и КПД $\eta=0,8\eta = 0\{, \}8\eta=0,8$. Момент нагрузки на исполнительном органе составляет $M_{\text{нагр}}=400M_{\text{нагр}} = 400M_{\text{нагр}}=400 \text{ Н}\cdot\text{м}$ при скорости $\omega_{\text{нагр}}=2\omega_{\text{нагр}} = 2\omega_{\text{нагр}}=2 \text{ рад/с}$. Рассчитайте эквивалентный момент и мощность, приведенные к валу электродвигателя.

3. **Построение естественной характеристики ДПТ.** Для двигателя параллельного возбуждения заданы паспортные данные: $R_{\text{ном}}=1,5R_{\text{ном}} = 1\{, \}5R_{\text{ном}}=1,5 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}}=220U_{\text{ном}} = 220U_{\text{ном}}=220 \text{ В}$, $n_{\text{ном}}=1500n_{\text{ном}} = 1500n_{\text{ном}}=1500 \text{ об/мин}$, КПД $\eta=0,78\eta = 0\{, \}78\eta=0,78$. Начертите естественную механическую характеристику $n(M)n(M)n(M)$, рассчитав точки холостого хода и короткого замыкания (пренебрегая реакцией якоря).

4. **Расчет добавочного сопротивления для ограничения тока.** При прямом пуске асинхронного двигателя ток превышает номинальный в 6 раз. Рассчитайте величину активного сопротивления, которое необходимо включить в цепь ротора (фазный ротор), чтобы ограничить пусковой ток двойным номинальным значением.

5. **Анализ работы автономного инвертора напряжения (АИН).** На вход трехфазного мостового инвертора подано напряжение звена постоянного тока $U_{dc}=540U_{\text{dc}} = 540U_{dc}=540 \text{ В}$. Используя метод пространственно-векторной модуляции (SVPWM), определите максимальное действующее значение линейного выходного напряжения первой гармоники.

6. **Настройка ПИ-регулятора контура тока.** Передаточная функция объекта «преобразователь-двигатель» по цепи тока аппроксимирована апериодическим звеном $W(p)=10,01p+1W(p) = \frac{1}{0\{, \}01p + 1}W(p)=0,01p+11$. Настройте ПИ-регулятор методом технического оптимума так, чтобы компенсировать большую постоянную времени.

7. **Определение параметров S-кривой разгона.** Для оси вращения сервопривода задана максимальная скорость $V_{\text{max}}=200V_{\text{max}} = 200V_{\text{max}}=200 \text{ град/с}$ и максимальное ускорение $a_{\text{max}}=400a_{\text{max}} = 400a_{\text{max}}=400 \text{ град/с}^2$. Рассчитайте время плавного разгона по S-профилю (при условии симметричного изменения ускорения — jerk-limited profile).

8. ***Моделирование системы векторного управления (FOC).** Напишите систему дифференциальных уравнений синхронного двигателя с магнитами в осях d-q. Укажите, какие именно составляющие вектора потокосцепления (Ψ_d, Ψ_q ; Ψ_{sd}, Ψ_{sq}) отвечают за создание полезного момента, а какие — за намагничивание машины.

9. **Расчет потерь мощности в приводе.** Асинхронный привод мощностью 5 кВт работает со скоростью 1400 об/мин от сети 50 Гц при нагрузке 70% от номинала. Если суммарные потери при номинальной нагрузке составляют 8%, оцените КПД установки в данной точке, пренебрегая изменением механических потерь.

10. **Выбор частотного преобразователя по перегрузочной способности.** Механизм подъемника требует пикового момента $M_{\max}=150M_{\text{ном}} = 150M_{\text{ном}}=150 \text{ Н}\cdot\text{м}$ в течение 5 секунд при пуске. Номинальный момент двигателя $M_{\text{ном}}=50M_{\text{ном}} = 50M_{\text{ном}}=50 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Выберите класс перегрузочной способности стандартного частотного преобразователя (например, 150% за 60 сек или 200% за 3 сек).

11. **Бессенсорное управление BLDC.** Опишите алгоритм определения текущего сектора коммутации обмоток бесколлекторного двигателя без датчиков Холла путем измерения ЭДС свободной фазы. Нарисуйте временную диаграмму напряжений на фазах относительно средней точки звезды.

12. ***Синтез задатчика интенсивности.** Разработайте блок-схему алгоритма задатчика интенсивности, который ограничивает не только скорость и ускорение, но и производную ускорения (*jerk*) для предотвращения резонансных колебаний гибкой стрелы робота-манипулятора.

13. **Рекуперативное торможение.** Автомобильный тяговый электропривод замедляется с 100 км/ч до 20 км/ч за 4 секунды. Суммарный момент инерции, приведенный к двигателю, равен 2 кг·м². Средняя тормозная сила составляет 2000 Н. Рассчитайте среднюю мощность, возвращаемую в аккумулятор (КПД цепей возврата принять 85%).

14. **Тепловой расчет IGBT-модуля.** Потери в силовом ключе драйвера колеса составляют 150 Вт. Тепловое сопротивление кристалл-корпус $R_{thj-c}=0,2R_{thj-c} = 0\{, \}2R_{thj-c} = 0,2 \text{ К/Вт}$, корпус-радиатор $R_{thc-h}=0,1R_{thc-h} = 0\{, \}1R_{thc-h}=0,1 \text{ К/Вт}$, радиатор-воздух $R_{thh-a}=0,4R_{thh-a} = 0\{, \}4R_{thh-a}=0,4 \text{ К/Вт}$. Температура окружающего воздуха 40°C. Проверьте, не превысит ли температура перехода максимально допустимую 125°C.

15. **Синхронизация двух двигателей.** Два одинаковых двигателя приводят во вращение общий вал через муфты с жесткостью c_{1c_1c1} и c_{2c_2c2} . Возникли крутильные колебания из-за разницы в параметрах двигателей. Предложите структуру системы управления выравновыванием упругих моментов в трансмиссии (компенсация люфта и демпфирование).

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 векторного управления (*Field-Oriented Control*) и прямого управления моментом (*Direct Torque Control*) для синхронных приводов промышленных роботов-манипуляторов.

2. Методы бессенсорного управления скоростью асинхронных двигателей: алгоритмы наблюдателей состояния (Luenberger, *Extended Kalman Filter*) для оценки потокосцепления ротора.

3. Применение нейросетевых технологий для адаптивной настройки параметров ПИД-регуляторов в системах подчиненного регулирования электроприводов с изменяющейся нагрузкой.

4. Энергосберегающие режимы работы частотно-регулируемого привода насосных и вентиляторных установок мобильных робототехнических комплексов.

5. Анализ влияния «мертвого времени» (*Dead-time*) инвертора высших гармоник напряжения на пульсации момента и акустический шум бесколлекторных двигателей (*BLDC*).

6. Рекуперативное торможение тяговых электроприводов электромобилей и тяжелых колесных роботов: схемотехника возврата энергии в звено постоянного тока.

7. Синхронизация движения многокоординатных станков и манипуляционных роботов методом Look-ahead планирования траектории для обеспечения непрерывности подачи инструмента.
8. Моделирование упругих механических связей в структуре автоматизированного электропривода и методы активного подавления механических резонансов (механических колебаний).
9. Особенности проектирования безредукторных электроприводов прямой передачи момента (*Direct Drive*): влияние зубцовых пульсаций (*cogging torque*) и способы их компенсации.
10. Матричные преобразователи частоты (*Matrix Converters*) как альтернатива автономным инверторам напряжения в компактных интеллектуальных серводвигателях.
11. Диагностика неисправностей обмоток статора асинхронного двигателя в реальном времени по спектру токов питания (*MCSA — Motor Current Signature Analysis*) без установки дополнительных датчиков вибрации.
12. Управление многодвигательными электроприводами конвейерных линий роботизированных складов: распределение тягового усилия и синхронизация секций.
13. Тепловое моделирование силовых полупроводниковых модулей (*IGBT/SiC*) частотных преобразователей: построение эквивалентных тепловых схем Цермело.
14. Синтез дискретных законов управления цифровым электроприводом: переход от непрерывной передаточной функции регулятора к разностному уравнению методами аппроксимации.
15. Применение генетических алгоритмов и методов роевого интеллекта для глобальной оптимизации энергоэффективности цикла движения антропоморфного робота.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. Основные понятия автоматизированного электропривода (АЭП). Структурная схема и классификация АЭП по виду движения, передаваемой мощности и способу управления.
2. Уравнение движения электропривода. Приведение моментов статических сопротивлений и моментов инерции к валу двигателя.
3. Механические характеристики электродвигателей. Понятие жесткости механической характеристики. Графическое изображение естественных характеристик ДПТ и АД.
4. Регулирование координат электропривода: основные показатели качества (диапазон, плавность, стабильность, экономичность).
5. Двигатели постоянного тока независимого возбуждения (*ДПТ НВ*): устройство, принцип действия, уравнения электрического равновесия якорной цепи.
6. Естественная механическая характеристика *ДПТ НВ*. Влияние изменения напряжения якоря и добавочного сопротивления на вид искусственных характеристик.
7. Система «Тиристорный преобразователь — двигатель» (*ТП-ДПТ*): принцип работы двухкомплектного реверсивного выпрямителя, зоны прерывистого и непрерывного тока.
8. Широтно-импульсные преобразователи (*ШИП/PWM*) для управления двигателями постоянного тока: спектральный состав выходного напряжения, потери на переключение.
9. Асинхронные двигатели (*АД*): устройство вращающегося магнитного поля, скольжение, эквивалентная схема замещения фазы.
10. Формула Клосса. Анализ механической характеристики асинхронного двигателя в точках максимального (критического) момента и пуска.
11. Частотное регулирование скорости асинхронного привода. Законы частотного управления: $U/f = \text{const}$, $U/f^2 = \text{const}$, вентиляторный закон ($U/f^2 = \text{const}$) и оптимизация потока.
12. Автономные инверторы напряжения (*АИН/VSI*) с широтно-импульсной модуляцией: алгоритм формирования синусоидального напряжения, понятие коэффициента модуляции.
13. Синхронные двигатели с постоянными магнитами (*СДПМ/PMSM*): математическая модель во вращающейся системе координат ($d-q-d-q$).
14. Принцип векторного управления (*Field-Oriented Control — FOC*) синхронным приводом. Разделение каналов регулирования потокосцепления (ось d) и момента (ось q).

15. Прямое управление моментом (*Direct Torque Control — DTC*): таблица переключений инвертора, гистерезисные регуляторы потока и момента.
16. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (*BLDC*): трапецеидальная форма ЭДС, 6-шаговая коммутация, логическая таблица состояний ключей инвертора.
17. Методы определения положения ротора в бессенсорных *BLDC*-приводах: анализ противо-ЭДС свободной фазы и методы инъекции высокочастотного сигнала.
18. Замкнутые системы автоматического управления (*САУ*) электроприводом. Подчиненное регулирование координат: структура контуров тока, скорости и положения.
19. Синтез регуляторов методом технического оптимума (*ТО*) для контура тока с апериодическим объектом первого порядка.
20. Синтез регуляторов методом симметричного оптимума (*СО*) для контуров скорости при наличии большой некомпенсируемой постоянной времени.
21. ПИД-регуляторы в системах позиционирования роботов: влияние пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих на точность и быстродействие.
22. Задатчики интенсивности (*ЗИ*): формирование линейных и S-образных профилей скорости для ограничения рывка (*jerk*) в мехатронных осях.
23. Тормозные режимы электропривода: рекуперативное торможение (возврат энергии в сеть), динамическое торможение (на тормозной резистор) и противовключение.
24. Потери энергии в установившемся режиме работы привода. Метод эквивалентных величин (тока, момента, мощности) для проверки двигателя по нагреву (метод средних потерь).
25. Электромагнитная совместимость (*ЭМС*) силовых электронных преобразователей: источники помех, сетевые фильтры (*EMI*) и требования к экранированию кабелей двигателей энкодеров.

Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами)

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

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Как называется отношение разности между синхронной скоростью магнитного поля и частотой вращения ротора к синхронной скорости асинхронного двигателя? а) Коэффициент мощности; б) Скольжение; в) Жесткость характеристики; г) Перерегулирование. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какой закон частотного управления (U/f или f/U) применяется для обеспечения постоянства максимального момента асинхронного привода при регулировании скорости вниз от номинальной? а) $U/f^2 = \text{const}$ или $f^2/U = \text{const}$; б) $U/f = \text{const}$ или $f/U = \text{const}$; в) $U \cdot f = \text{const}$ или $f \cdot U = \text{const}$; г) $U = \text{const}$ или $f = \text{const}$. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. В какой системе координат реализуется векторное управление (*FOC*) синхронным двигателем для разделения каналов потока и момента? а) Стационарная неподвижная (α, β); б) Вращающаяся синхронная (d, q); в) Фазная трехфазная (a, b, c); г) Полярная система. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какой элемент структурной схемы подчиненного регулирования АЭП является самым быстродействующим (внутренним контуром)? а) Контур положения; б) Контур скорости; в) Контур тока (момента); г) Задатчик интенсивности. **Правильный ответ: в)**

Прочитайте текст и выберите один правильный выход. Какой режим работы ДПП НВ характеризуется тем, что ЭДС якоря превышает приложенное напряжение, а ток меняет направление на противоположное? а) Двигательный вперед; б) Рекуперативное торможение; в) Динамическое торможение; г) Противовключение. **Правильный ответ: б)**

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

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие из перечисленных методов относятся к бессенсорному управлению положением или скоростью вала электродвигателя? а) Использование абсолютного энкодера; б) Наблюдатель состояния (*Luenberger/Kalman Filter*); в)

Алгоритм определения ЭДС свободной фазы (*Back-EMF*); г) Резольвер на валу. **Правильный ответ: б), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. При каких условиях наступает динамическое торможение двигателя постоянного тока независимого возбуждения? а) Якорь закорочен на сопротивление при отключенной обмотке возбуждения; б) Обмотка возбуждения отключена от сети; в) Напряжение якоря изменено полярностью на обратную; г) Якорь отключен от источника питания и замкнут на резистор при включенном возбуждении. **Правильный ответ: а), г)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие параметры входят в уравнение движения электропривода $M - M_c = J d\omega/dt$ $M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$? а) Электромагнитный момент двигателя (МММ); б) Коэффициент трансформации трансформатора; в) Статический момент сопротивления ($M_{сМ_сМс}$); г) Линейное напряжение сети. **Правильный ответ: а), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие элементы входят в состав автономного инвертора напряжения (*АИИ/VSI*) для трехфазного привода? а) Шесть силовых ключей (IGBT/MOSFET) с антипараллельными диодами; б) Выпрямительный мост на тиристорах; в) Конденсатор звена постоянного тока; г) Синхронный компенсатор. **Правильный ответ: а), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие показатели качества характеризуют систему позиционирования сервопривода робота? а) Статическая ошибка по положению; б) Цвет корпуса двигателя; в) Время установления (быстродействие); г) Масса фундамента станка. **Правильный ответ: а), в)**

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность этапов метода технического оптимума при настройке контура тока:

1. Определение некомпенсируемой малой постоянной времени $T_{\mu} T_{\Sigma}$;
2. Принятие передаточной функции разомкнутого контура вида $W(p) = \frac{1}{1 + T_{\Sigma} p}$ $W(p) = \frac{1}{1 + T_{\Sigma} p}$;
3. Сокращение большой постоянной времени объекта регулятором;
4. Получение настройки на технический оптимум (перерегулирование $\sigma \approx 4,3\%$ $\sigma \approx 4,3\%$). **Правильный ответ: 1-3-2-4**

Укажите правильную последовательность процесса коммутации фаз бесколлекторного двигателя (*BLDC*) за один электрический оборот (6 шагов):

1. Активны ключи верхней фазы А и нижней фазы В;
2. Активны ключи верхней фазы В и нижней фазы С;
3. Активны ключи верхней фазы С и нижней фазы А;
4. Переход к следующему сектору Холла. **Правильный ответ: 1-4-2-4-3-4**

Укажите правильную последовательность прохождения сигнала в каскадной системе управления скоростью:

1. Регулятор скорости выдает задание на ток;
2. Датчик обратной связи по скорости сравнивается с заданием;
3. Выход регулятора тока подается на модулятор *ШИМ*;
4. Регулятор тока формирует ошибку по току. **Правильный ответ: 2-1-4-3**

Укажите правильную последовательность физических процессов при пуске асинхронного двигателя прямым включением в сеть:

1. Возникновение тока ротора;
2. Появление вращающегося магнитного поля статора;
3. Протекание пускового тока, превышающего номинал в 5-7 раз;
4. Создание электромагнитного момента. **Правильный ответ: 2-3-1-4**

Укажите правильную последовательность действий задатчика интенсивности (*ЗИ*) при команде «Стоп»:

1. Замедление с постоянным ускорением до нуля;
2. Ограничение рывка (*jerk*) на входе в зону торможения;
3. Остановка привода;
4. Линейное снижение скорости (трапеция). **Правильный ответ: 2-1-4-3**

4. На установление соответствия (5 вопросов)

Установите соответствие между типом механической характеристики и ее физическим смыслом:

А) Абсолютно жесткая	1) Скорость падает пропорционально моменту (линейная)
Б) Естественная ДПТ НВ	2) Скорость остается неизменной независимо от нагрузки
В) Мягкая	3) Большое падение скорости при малом изменении момента
Г) Неустойчивая	4) Склонность привода к самоторможению или разгону без контроля

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

Установите соответствие между видом модуляции инвертора и качеством выходного напряжения:

А) Синусоидальная ШИМ (SPWM)	1) Максимальная амплитуда первой гармоники при минимальных потерях
Б) Пространственно-векторная (SVPWM)	2) Простота реализации, наличие гармоник кратных частоте несущей
В) Трапецеидальная (для BLDC)	3) Формирование прямоугольных импульсов тока в фазах
Г) Выбор таблицы векторов (DTC)	4) Прямое воздействие на поток и момент без промежуточных регуляторов

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

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

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Отношение приращения момента к приращению скорости ($dM/d\omega$ или $dM/d\omega$) называется **жесткость** (или коэффициент жесткости) механической характеристики.

Правильный ответ: жесткость

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Устройство, предназначенное для ограничения скорости нарастания управляющего сигнала (скорости, ускорения) на входе привода, называется **задатчик интенсивности**.

Правильный ответ: задатчик интенсивности

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

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию электромеханическая постоянная времени — это ... **Правильный ответ:** параметр привода, характеризующий скорость протекания механических переходных процессов; она равна отношению приведенного момента инерции к коэффициенту наклона механической характеристики двигателя вблизи рабочей точки.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию широтно-импульсная модуляция — это ... **Правильный ответ:** способ цифрового управления мощностью, заключающийся в изменении длительности импульсов при постоянной частоте их следования для формирования среднего значения напряжения на нагрузке.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию наблюдатель состояния (State Observer) — это ... **Правильный ответ:** математический алгоритм (программный блок), который позволяет оценить неизмеряемые внутренние переменные системы (например, скорость или потокосцепление) на основе измеряемых выходных сигналов (ток, напряжение) и известной математической модели объекта.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Бурков, А. Ф. Основы теории и эксплуатации судовых электроприводов : учебник для вузов / А. Ф. Бурков. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Издательство Лань, 2024. — 340 с. — ISBN 978-5-507-50132-8. — Текст : непосредственный.
2. Епифанов, А. П. Основы электропривода : учебное пособие для СПО / А. П. Епифанов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Издательство Лань, 2025. — 192 с. — ISBN 978-5-507-50591-3. — Текст : непосредственный.

7.2. Дополнительная литература

3. Шичков, Л. П. Электрический привод : учебник и практикум для вузов / Л. П. Шичков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 355 с. — ISBN 978-5-534-17665-0. — Текст : непосредственный.
4. Епифанов, А. П. Электропривод : учебник для СПО / А. П. Епифанов, Н. В. Васильев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Издательство Лань, 2025. — 332 с. — ISBN 978-5-507-52596-6. — Текст : непосредственный.
5. Фролов, Ю. М. Электропривод : учебное пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. — Санкт-Петербург : Издательство Лань, 2024. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

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

Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии

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

Учебная аудитория оборудована:

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

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

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

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

Специализированная мебель и технические средства обучения:

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

Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины «**Автоматизированный электропривод**» можно построить в соответствии со списком вопросов для подготовки к экзамену. Для эффективного изучения курса Безопасности жизнедеятельности 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

Автоматизированный электропривод

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Николаев Юрий николаевич

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)