



Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Исполнительные приводы мехатронных 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	3
Общее количество часов	108
Аудиторные часы контактной работы обучающегося с преподавателями:	32
– Лекционные (Л)	16
– Практические (ПЗ)	16
– Лабораторные (ЛЗ)	
– Семинарские (СЗ)	
Самостоятельная работа обучающихся (СРО)	40
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	11
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	13
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	16
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	21
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	22
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	23

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Исполнительные приводы мехатронных 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-3 Способен к разработке и реализации проектов автоматизации, механизации и роботизации технологических производственных процессов

Дескрипторы компетенции:

ПК-3.1 Способен провести анализ технологических производственных процессов с целью выделения операций и процессов, подлежащих автоматизации, механизации и роботизации;

ПК-3.2 Способен осуществлять внедрение и контроль эксплуатации средств автоматизации, механизации и роботизации технологических производственных процессов.

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: 28.003 Специалист автоматизации механизации механосборочного производства	ПК-3.1 Способен провести анализ технологических производственных процессов с целью выделения операций и процессов, подлежащих автоматизации, механизации и роботизации; ПК-3.2 Способен осуществлять внедрение и контроль эксплуатации средств автоматизации, механизации и роботизации технологических производственных процессов	Знает: ИД 1 ПК.3.1 PDM-систем организации: возможностей и порядка просмотра информации о технологических операциях; ЕСМ-систем организации: возможностей и порядка работы в них; методы исследования и измерения трудовых затрат и производительности оборудования; нормативно-технические и руководящие документы по нормированию технологических процессов; принципы выбора, типы и конструктивные особенности, технологические возможности средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций, 28.003 В/01.6; ИД 2 ПК.3.2 Отечественный и зарубежный опыт, методики расчета экономической эффективности эксплуатации и внедрения средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных,

		погрузочно-разгрузочных операций; правила выполнения монтажа, виды контроля и испытаний средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; методы испытаний, правила и условия выполнения работ по наладке средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций 28.003 В/02.6. Умеет: ИД 3 ПК.3.1 Выявлять наиболее трудоемкие приемы при выполнении технологических, подъемно-транспортных и погрузочно-разгрузочных операций; проводить непосредственные замеры времени (хронометраж, фотография рабочего времени, мультимоментные наблюдения, интервью, самоописание); использовать прикладные компьютерные программы для расчета эффективности выполнения технологических и вспомогательных операций, определения узких мест в технологических процессах; формулировать предложения по автоматизации, механизации и роботизации технологических процессов 28.003 В/01.6; ИД 4 ПК.3.2 Устанавливать исходные данные для проведения проектных и опытно-конструкторских работ, изготовления средств автоматизации и механизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; использовать MDM-систем организаций для выбора моделей средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций;
--	--	---

		использовать прикладные компьютерные программы для технико-экономических расчетов эффективности внедрения средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; контролировать правильность выполнения работ по монтажу, испытаниям, наладке средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; контролировать с использованием ЕСМ-системы организации правильность оформления документации при выполнении работ по монтажу, испытаниям, наладке и сдаче в эксплуатацию средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций 28.003 В/02.6. Имеет навыки: ИД 5 ПК.3.1 Выявления наиболее трудоемких приемов при выполнении технологических, подъемно-транспортных и погрузочно-разгрузочных операций; проведения непосредственных замеров времени (хронометраж, фотография рабочего времени, мультимоментные наблюдения, интервью, самоописание); использования прикладных компьютерных программ для расчета эффективности выполнения технологических и вспомогательных операций, определения узких мест в технологических процессах; подготовки предложений по автоматизации, механизации и роботизации технологических процессов 28.003 В/01.6; ИД 6 ПК.3.2 Установления исходных данных для проведения проектных и опытно-конструкторских работ,
--	--	--

		изготовления средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; использования MDM-систем организаций для выбора моделей средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; использования прикладных компьютерных программ для технико-экономических расчетов эффективности внедрения средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; контроля правильности выполнения работ по монтажу, испытаниям, наладке средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций; контроля с использованием ЕСМ-систем организации правильности оформления документации при выполнении работ по монтажу, испытаниям, наладке и сдаче в эксплуатацию средств автоматизации, механизации и роботизации технологических, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных операций 28.003 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
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1	Управление мехатронными и робототехническими системами	Монтаж и наладка мехатронных и робототехнических систем
2	Преобразование мехатронных и робототехнических систем	Технология монтажа и пуско-наладки 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				
		Всего	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 исполнительных приводов.	10	2	2	6	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
2	Тема 2. Электродвигатели постоянного тока (ДПТ).	10	2	2	6	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
3	Тема 3. Бесколлекторные двигатели (BLDC) и вентильные двигатели (PMSM).	10	2	2	6	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
4	Тема 4. Шаговые двигатели.	10	2	2	6	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
5	Тема 5. Механические передачи робототехнических систем.	10	2	2	6	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
6	Тема 6. Гидравлические и пневматические приводы.	10	2	2	6	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
7	Тема 7. Пьезоэлектрические и магнитострикционные актуаторы.	6	2	2	2	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
8	Тема 8. Специализированные линейные приводы.	6	2	2	2	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
Вид промежуточной аттестации(Экзамен)		36				
Итого		108	16	16	40	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в теорию исполнительных приводов. Классификация электромеханических, гидравлических и пневматических модулей. Основные требования к быстродействию, точности и удельной мощности роботов.

Тема 2. Электродвигатели постоянного тока (ДПТ). Принцип действия, уравнения электрического равновесия якоря и механического равновесия. Управление через широтно-импульсные преобразователи (ШИП).

Тема 3. Бесколлекторные двигатели (BLDC) и вентильные двигатели (PMSM). Трапецеидальная и синусоидальная коммутация. Роль датчиков Холла и энкодеров в формировании вращающего момента.

Тема 4. Шаговые двигатели. Режимы полного шага, полушага и микрошага. Явление пропуска шагов, резонанс и методы демпфирования колебаний ненагруженного ротора.

Тема 5. Механические передачи робототехнических систем. Планетарные, циклоидальные и волновые (гармонические) редукторы. Расчет КПД, люфта и жесткости на скручивание.

Тема 6. Гидравлические и пневматические приводы. Объемное и дроссельное регулирование. Схемы гидроусилителей (MOOG, Servo-valves) для тяжелых манипуляторов и экзоскелетов.

Тема 7. Пьезоэлектрические и магнитострикционные актуаторы. Особенности высокодискретного позиционирования. Применение в адаптивной оптике, микрофлюидике и сверхточных схватах.

Тема 8. Специализированные линейные приводы. Линейные серводвигатели прямого хода (Linear Motors) и ролико-винтовые пары (Ball screws). Отказ от кинематической цепи «двигатель — передача» для осей прецизионных станков.

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 исполнительных приводов.
ПЗ 2	Тема 2. Электродвигатели постоянного тока (ДПТ).
ПЗ 3, 4	Тема 3. Бесколлекторные двигатели (BLDC) и вентильные двигатели (PMSM).
ПЗ 5	Тема 4. Шаговые двигатели.
ПЗ 6, 7	Тема 5. Механические передачи робототехнических систем.
ПЗ 8	Тема 6. Гидравлические и пневматические приводы.

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 исполнительных приводов.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Электродвигатели постоянного тока (ДПТ).	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Бесколлекторные двигатели (BLDC) и вентильные двигатели (PMSM).	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Шаговые двигатели.	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Механические передачи робототехнических систем.	Л	Мозговой штурм	50

6	Тема 6. Гидравлические и пневматические приводы.	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Пьезоэлектрические и магнитострикционные актуаторы.	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Специализированные линейные приводы.	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 исполнительных приводов.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Электродвигатели постоянного тока (ДПТ).	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Бесколлекторные двигатели (BLDC) и вентильные двигатели (PMSM).	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Шаговые двигатели.	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Механические передачи робототехнических систем.	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Гидравлические и пневматические приводы.	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Пьезоэлектрические и магнитострикционные актуаторы.	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Специализированные линейные приводы.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

- Сравнительный анализ характеристик синхронных двигателей с постоянными магнитами (PMSM) и бесколлекторных двигателей с трапецеидальной ЭДС (BLDC).** Особенности коммутации, пульсации момента и алгоритмы управления FOC (Field-Oriented Control).
- Волновой (гармонический) редуктор (Harmonic Drive):** расчет деформации гибкого колеса, КПД, кинематическая погрешность и явление «крепа» (приводящего к самозатягиванию) в шарнирах антропоморфных роботов.
- Методы подавления резонанса шаговых двигателей.** Использование микрошага, драйверов со стабилизацией тока и механических демпферов для предотвращения пропуска шагов при динамичном движении осей 3D-принтеров и ЧПУ.
- Линейные приводы прямого действия (Linear Motors).** Синхронные и асинхронные схемы, проблема отвода тепла от первичной части (кабины) и применение в системах высокоскоростной портальной обработки без механических передач.
- Электрогидравлические следящие приводы (Servo-hydraulics).** Устройство сервораспределителей (сопло-заслонка, струйная трубка), расчет жесткости объемного привода и его применение в тяжелых манипуляторах KUKA heavy-duty series.
- Пьезоэлектрические актуаторы: пьезостек и инерционные двигатели.** Алгоритмы управления длительностью и частотой импульсов для обеспечения субнанометрового разрешения позиционирования в адаптивных захватах.
- Ролико-винтовые передачи (Roller Screw) против шарико-винтовых пар (Ball screw).** Расчет ресурса, предельной скорости вращения и осевой жесткости для реализации вертикальных осей Z коллаборативных роботов высокой грузоподъемности.
- Мотор-редукторы на базе циклоидальных передач (Strain Wave vs Cycloidal).** Сверхвысокое передаточное отношение в одной ступени, отсутствие обратного люфта и особенности динамики старта из-за переменной мгновенной скорости выходного вала.
- Управление моментом двигателя постоянного тока независимого возбуждения в четырех квадрантах.** Реверсивное торможение противовключением и рекуперативный возврат энергии в сеть через активный выпрямитель (Active Front End).
- *Специальные приводы для экзоскелетов: квазипрямой привод (Quasi-Direct Drive, QDD).** Низкий редукционный коэффициент (низкая передача), высокая прозрачность механики (backdrivability) для тактильного взаимодействия с человеком.

11. **Влияние выбора типа энкодера (инкрементальный, абсолютный, Sin/Cos) на динамику контура положения.** Ошибки квантования, интерполяция сигналов и их влияние на резонансные частоты замкнутого контура сервопривода.

12. **Тепловая модель исполнительного модуля.** Расчет тепловых сопротивлений кристалл-корпус-среда ($R_{th(j-a)}R_{th(j-a)}R_{th(j-a)}$), подбор радиатора и системы активного жидкостного охлаждения для компактных мотор-колес мобильных платформ.

13. **Бесщеточные двигатели постоянного тока с внешним ротором (*Outrunner BLDC*).** Применение в робототехнике для создания высоких крутящих моментов при малых габаритах (например, в запястьях или суставах пальцев микророботов).

14. **Приводы на основе сплавов с памятью формы (*SMA — Shape Memory Alloys*).** Фазовый переход аустенит-мартенсит, гистерезис нагрева/охлаждения и методы ускорения цикла срабатывания актуаторов микрозахватов.

15. **Диагностика состояния исполнительных приводов по токовому сигналу.** Методология MCSA (*Motor Current Signature Analysis*) для выявления дефектов подшипников, эксцентриситета воздушного зазора и межвитковых замыканий обмоток статора.

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

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

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

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

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

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Введение в теорию исполнительных приводов.	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
2	Тема 2. Электродвигатели постоянного тока (ДПТ).	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
3	Тема 3. Бесколлекторные двигатели (BLDC) и вентильные двигатели (PMSM).	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
4	Тема 4. Шаговые двигатели.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
5	Тема 5. Механические передачи робототехнических систем.	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
6	Тема 6. Гидравлические и пневматические приводы.	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
7	Тема 7. Пьезоэлектрические и магнитострикционные актуаторы.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2
8	Тема 8. Специализированные линейные приводы.	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ПК.3.1 ИД 2 ПК.3.2 ИД 3 ПК.3.1 ИД 4 ПК.3.2 ИД 5 ПК.3.1 ИД 6 ПК.3.2

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 ШИМ-регулятора для ДПТ.** По заданным параметрам якорной цепи (сопротивление R_a , индуктивность L_a) и напряжению звена постоянного тока рассчитать минимальную частоту широтно-импульсной модуляции, при которой пульсации тока не превысят 10% от номинального значения.

2. **Снятие механических характеристик BLDC-двигателя.** На лабораторном стенде с драйвером ESC снять семейство кривых частоты вращения от момента ($\omega(M)$) при различных скважностях управляющего сигнала ($D=30\%, 60\%, 90\%$) при $D=30\%, 60\%, 90\%$).

3. **Проектирование редуктора манипулятора.** Для сервопривода с номинальным моментом 0,5 Н·м подобрать тип и передаточное число волнового редуктора, чтобы обеспечить удержание нагрузки 15 кг на плече 0,3 м с коэффициентом запаса 2,0.

4. **Моделирование коммутации шагового двигателя в MATLAB/Simulink.** Сборка модели гибридного ШД с учетом дискретности шага 1,8 градуса. Исследование явления резонанса при разгоне без инерционной нагрузки и добавление вязкого демпфера.

5. **Реализация алгоритма Field-Oriented Control (FOC).** Написание кода для микроконтроллера STM32: преобразование токов статора из неподвижной системы координат (α, β) в вращающуюся (d, q) с помощью преобразования Парка.

6. **Тепловой расчет мотор-колеса мобильного робота.** Определение установившейся температуры корпуса электродвигателя при длительном движении в гору (момент 8 Н·м), используя справочные данные термических сопротивлений и КПД привода.

7. **Настройка контура скорости методом технического оптимума.** Расчет коэффициентов ПИ-регулятора скорости для сервопривода, если известна малая некомпенсируемая постоянная времени привода $T_m=0,5$ мс.

8. **Исследование жесткости механической передачи.** Экспериментальное определение угла упругого скручивания вала циклоидального редуктора при ступенчатом изменении нагрузочного момента от 0 до номинала с помощью высокоточного энкодера.

9. **Программная реализация микрошагования.** Разработка таблицы перекодировки (Look-up Table) синусоидальных функций для драйвера биполярного шагового двигателя с целью обеспечения 1/32 микрошага аппаратно-программным способом.

10. **Анализ работы гидроусилителя (Servo-valve).** Снятие расходно-перепадной характеристики золотникового распределителя. Определение чувствительности (крутизны) характеристики вблизи нулевой точки.

11. **Компенсация мертвого хода (люфта) программным способом.** Реализация алгоритма «дребезга» (*dithering*) или предварительного натяга в коде контроллера оси станка с ЧПУ для устранения зоны нечувствительности шарико-винтовой пары.

12. **Эксперимент с пьезоактюатором.** Снятие гистерезисной петли зависимости перемещения от приложенного напряжения. Внедрение алгоритма заряда-разряда емкости актюатора через понижающий преобразователь (*Flyback topology*) для увеличения быстродействия.

13. **Определение противо-ЭДС двигателя по осциллограмме.** Измерение на экране осциллографа коэффициента противо-ЭДС (K_{eK_eKe}) бесщеточного двигателя путем раскрутки его внешним приводом и замера линейного напряжения на отключенных фазах.

14. **Сравнение КПД планетарного и циклоидального редукторов.** Проведение теста на холостом ходу: измерение момента страгивания и потребляемой мощности холостого хода для двух типов передач с одинаковым передаточным числом $i=100$.

15. **Диагностика неисправности обмоток статора.** Выполнение измерений сопротивления между парами выводов трехфазного двигателя мультиметром и проверка изоляции мегаомметром для выявления межвиткового замыкания или обрыва фазы.

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 кинематических схем промышленных роботов.** Влияние типа привода (прямой привод против редукторного) на динамику осей SCARA- и антропоморфных манипуляторов.

2. **Синхронные двигатели с постоянными магнитами (PMSM) в сервоприводах:** методы векторного управления (*FOC*), подавление пульсаций момента при низких скоростях вращения.

3. **Волновой (гармонический) редуктор как стандарт коллаборативной робототехники.** Физика деформации гибкого колеса, расчет КПД, проблема «крепа» и способы компенсации нелинейности жесткости.

4. **Линейные приводы прямого действия (*Linear Motors*).** Синхронные и асинхронные типы, системы охлаждения первичной части и применение в высокоточном портальном оборудовании без механических передач.

5. **Электрогидравлические следящие приводы тяжелой техники.** Схемотехника электрогидравлических усилителей мощности (*Servo-valves*), динамика объемного регулирования и области применения в экзоскелетах грузоподъемностью свыше 100 кг.

6. **Пьезоэлектрические актюаторы для микропозиционирования.** Явления обратного пьезоэффекта и гистерезиса. Алгоритмы зарядки емкостной нагрузки для повышения быстродействия систем автофокусировки и адаптивной оптики.

7. **Шаговые двигатели в бюджетной мехатронике.** Режимы микрошага, резонанс ненагруженного ротора и методы демпфирования. Сравнение драйверов постоянного напряжения и драйверов стабилизации тока (*Chopper drivers*).

8. ***Ролико-винтовые передачи (*Roller Screw*) против шарико-винтовых пар.** Динамика, предельные скорости, осевая жесткость и ресурс в исполнительных механизмах вертикальных осей Z тяжелых роботов.

9. **Мотор-колеса мобильных платформ: тяговые характеристики и тепловой режим.** Особенности отвода тепла от бесколлекторных двигателей высокой удельной мощности в ограниченном пространстве ступицы.

10. **Бесщеточные двигатели с внешним ротором (*Outrunner BLDC*):** создание высоких крутящих моментов при малых габаритах для суставов пальцев микроботов и беспилотников.

11. **Приводы на основе сплавов с памятью формы (*SMA*).** Моделирование фазового перехода аустенит-мартенсит, управление скоростью охлаждения и применение в компактных захватах без классических моторов.

12. **Циклоидальные редукторы (*Strain Wave vs Cycloidal Drive*).** Сверхвысокое передаточное отношение в одной ступени, отсутствие люфта и специфика динамики старта из-за переменной мгновенной скорости выходного вала.

13. **Диагностика состояния приводов методом анализа сигнатуры тока (*MCSA*).** Выявление дефектов подшипников, эксцентриситета воздушного зазора и межвитковых замыканий обмоток статора по спектру потребляемого тока.

14. **Квазипрямой привод (*Quasi-Direct Drive, QDD*) в современных кобортах.** Низкий редукционный коэффициент, высокая прозрачность механики (*backdrivability*) и реализация импедансного управления для безопасного взаимодействия с человеком.

15. **Специализированные актуаторы для авиационных рулевых поверхностей.** Электромеханические приводы *EMA (Electro-Mechanical Actuators)* как замена гидравлическим системам *fly-by-wire*: надежность, фиксация положения при отказе питания и борьба с явлением *dithering*.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. **Классификация исполнительных приводов.** Сравнение электромеханических, гидравлических и пневматических систем по удельной мощности, быстродействию и жесткости.

2. **Двигатели постоянного тока независимого возбуждения.** Уравнения электрического равновесия якоря и механического равновесия вала. Естественные и искусственные механические характеристики при изменении напряжения якоря и потока возбуждения.

3. **Широтно-импульсные преобразователи (*ШИП/Chopper*) для управления ДПТ.** Принцип регулирования среднего напряжения, реверсивные схемы (L- и M-мосты) для обеспечения четырехквadrантного режима работы.

4. **Бесколлекторные двигатели постоянного тока (*BLDC*).** Трапецеидальная ЭДС, коммутация 120 и 150 градусов, роль датчиков Холла в определении положения ротора.

5. **Синхронные двигатели с постоянными магнитами (*PMSM*).** Синусоидальная ЭДС, преимущества перед *BLDC*, математическая модель во вращающейся системе координат $dqdqdq$.

6. **Векторное управление (*Field-Oriented Control — FOC*).** Преобразования Кларка и Парка, принцип поддержания ортогональности векторов потокосцепления ротора и намагничивающей составляющей тока статора.

7. **Шаговые двигатели.** Режимы полного шага, полушага и микрошага. Явление пропуска шагов, резонанс ненагруженного ротора и методы демпфирования.

8. **Механические характеристики шагового двигателя.** Статический момент удержания, предельная механическая характеристика (старт-стопный режим без пропуска шагов).

9. **Планетарные редукторы.** Кинематика, расчет КПД, влияние числа сателлитов на кинематическую погрешность и выравнивание нагрузки.

10. **Волновые (гармонические) передачи (*Harmonic Drive*).** Принцип передачи движения через деформацию гибкого колеса. Особенности нулевого люфта и высокого передаточного отношения.

11. **Циклоидальные редукторы.** Отличие от волновых передач, распределение нагрузки между многочисленными роликами, высокая перегрузочная способность и отсутствие обратного хода под нагрузкой.

12. **Электрогидравлические следящие приводы.** Устройство сервораспределителей (золотникового типа), понятие жесткости объемного привода и его преимущества перед электромеханическим на низких частотах.

13. **Линейные двигатели прямого действия (*Linear Motors*).** Синхронные (железное ядро и безжелезные) и асинхронные типы. Проблема отвода тепла от первичной части (подвижной платформы).

14. **Пьезоэлектрические актуаторы.** Прямой и обратный пьезоэффект. Пьезостеки и инерционные моторы. Методы компенсации гистерезиса и ползучести (дрейфа).

15. **Приводы на основе сплавов с памятью формы (*SMA*).** Фазовый переход аустенит-мартенсит, температурный гистерезис, охлаждение как ограничивающий фактор частоты срабатывания.

16. **Мотор-колеса мобильных роботов.** Особенности интеграции электродвигателя, тормоза и редуктора в неподрессоренную массу. Влияние неподрессоренной массы на динамику платформы.

17. **Бесщеточные двигатели с внешним ротором (Outrunner BLDC).** Создание высоких моментов при малых габаритах, применение в роботизированных захватах (Grippers) и беспилотниках.
18. **Ролико-винтовые передачи (Roller Screw).** Сравнение с шарико-винтовыми парами (Ball screw) по осевой жесткости, скорости вращения и ресурсу в тяжелых мехатронных модулях.
19. **Квазипрямой привод (Quasi-Direct Drive — QDD).** Низкий коэффициент редукции, высокая прозрачность механики (backdrivability) и реализация импедансного управления в коллаборативных роботах.
20. **Тепловой расчет исполнительного модуля.** Источники потерь (медные, железные, механические). Термические сопротивления кристалл-корпус-среда ($R_{thR_{th}}$) и методика подбора радиатора.
21. **Диагностика неисправностей обмоток статора.** Метод анализа сигнатуры тока (MCSA): выявление межвитковых замыканий, эксцентриситета воздушного зазора и дефектов подшипников по спектру потребляемого тока.
22. **Силовая электроника драйверов шаговых двигателей.** Различия между L/R-драйверами (постоянного напряжения) и чопперными драйверами (стабилизации тока). Влияние противо-ЭДС на форму тока на высоких скоростях.
23. **Управление моментом в PMSM через составляющую тока по оси q .** Линейная зависимость момента от I_q при постоянном потоке ротора ($I_d = 0$). Ограничения по напряжению инвертора в зоне ослабления поля (Field Weakening).
24. **Явление «крепа» (Wind-up) в волновых редукторах.** Упругое скручивание и переменная жесткость гибкого колеса, влияющие на точность позиционирования и возникновение автоколебаний в замкнутом контуре.
25. **Специализированные авиационные рулевые приводы (EMA).** Требования к отказобезопасности: фиксация штока при обесточивании, резервирование каналов управления и борьба с высокочастотным дребезгом (dithering).

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. Какой тип механической передачи обеспечивает нулевой люфт и высокое передаточное отношение за счет деформации гибкого зубчатого колеса? а) Планетарный; б) Червячный; в) Волновой (гармонический); г) Циклоидальный. **Правильный ответ: в)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. В каком режиме работы электропривода энергия торможения исполнительного органа возвращается в питающую сеть через активный выпрямитель (AFE)? а) Динамическое торможение на тормозном резисторе; б) Рекуперативное торможение; в) Торможение свободным выбегом; г) Механическое торможение колодками. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Как называется явление искажения формы тока статора синхронного двигателя при работе на высоких скоростях из-за ограничения выходного напряжения инвертора? а) Эффект насыщения магнитопровода; б) Ослабление поля (Field Weakening); в) Явление «звонка» (Ringing); г) Ошибка квантования ШИМ. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. Какой параметр шагового двигателя определяет максимальный фиксирующий момент при обесточенных обмотках? а) Номинальный ток фазы; б) Момент удержания (Holding Torque); в) Индуктивность обмотки; г) Угловой шаг. **Правильный ответ: б)**

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. В структуре подчиненного регулирования координат сервопривода какой контур настраивается самым быстродействующим? а) Контур положения; б) Контур скорости; в) Контур тока (момента); г) Контур упругой деформации. **Правильный ответ: в)**

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

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Укажите основные причины возникновения ошибки «насыщения интегратора» (*integrator windup*) в цифровом ПИД-регуляторе привода: а) Ограничение выходного напряжения усилителя мощности (ЦАП); б) Слишком высокая частота дискретизации контроллера; в) Длительное сохранение большой разности между уставкой и сигналом обратной связи; г) Отсутствие шума квантования АЦП датчика. **Правильный ответ: а), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие физические принципы лежат в основе работы пьезоэлектрических актюаторов микропозиционирования? а) Электрострикция; б) Магнитострикция; в) Обратный пьезоэффект; г) Тепловое расширение нихрома. **Правильный ответ: а), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Выберите методы активного подавления пульсаций момента в PMSM-двигателях на низких скоростях вращения: а) Пространственно-векторная модуляция (SVPWM); б) Использование скоса пазов ротора (*Skewing*); в) Случайная частотная модуляция несущей ШИМ; г) Увеличение воздушного зазора двигателя. **Правильный ответ: б), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. При диагностике приводов методом анализа сигнатуры тока (MCSA) какие дефекты можно выявить по боковым полосам вокруг основной гармоники сети 50 Гц? а) Межвитковое замыкание в обмотке статора; б) Дисбаланс масс ротора; в) Дефекты наружного кольца подшипника; г) Недостаточная емкость звена постоянного тока. **Правильный ответ: а), в)**

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. Какие элементы входят в состав силового каскада драйвера для управления биполярным шаговым двигателем? а) Полумостовая схема (*H-bridge*) на транзисторах MOSFET/IGBT; б) Выпрямительный мост на диодах; в) Датчик Холла для измерения тока фазы (шунт или сенсор); г) Синхронный выпрямитель на вторичной стороне трансформатора. **Правильный ответ: а), в)**

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность этапов реализации алгоритма векторного управления (FOC) в одном такте микроконтроллера:

1. Преобразование токов (α, β) в вращающуюся систему (d, q) (преобразование Парка);
2. Измерение фазных токов I_a, I_b, I_c датчиками Холла или шунтами;
3. Расчет новых напряжений V_d, V_q ПИ-регуляторами контура тока;
4. Обратное преобразование Кларка-Парка для подачи сигналов на ШИМ-модуль.

Правильный ответ: 2-1-3-4

Укажите правильную последовательность физических процессов при работе волнового редуктора:

1. Вращение генератора волн (эллиптического кулачка);
2. Деформация гибкого зубчатого колеса;
3. Зацепление зубьев гибкого и жесткого колес в двух зонах;
4. Выходной поворот жесткого колеса с коротким циклическим фланцем.

Правильный ответ: 1-2-3-4

Укажите правильную последовательность действий системы защиты привода от перегрузки по моменту:

1. Аппаратное прерывание процессора по флагу превышения порога АЦП тока;
2. Рост тока якоря/статора выше уровня настройки электронного термоконтакта;
3. Блокировка сигналов ШИМ-драйвера («мертвое время»);
4. Переход привода в режим свободного выбега или динамического торможения.

Правильный ответ: 2-1-3-4

Укажите правильную последовательность этапов снятия механической характеристики электродвигателя на стенде:

1. Фиксация показаний тахометра (ω) и весового устройства (МММ);
2. Установка заданного значения напряжения задания (или скважности ШИМ);
3. Нагружение вала двигателя порошковым или магнитным тормозом;
4. Запись точки в таблицу характеристик. **Правильный ответ: 2-3-1-4**

Укажите правильную последовательность операций при калибровке абсолютного многооборотного энкодера после замены батареи резервного питания:

1. Перевод оси в механический ноль (концевой выключатель);
2. Подача логической единицы на вход *Preset/Clock* энкодера;
3. Считывание подтвержденного адреса нулевой позиции по протоколу *BiSS/EnDat*;
4. Отключение питания всей установки. **Правильный ответ: 1-2-3-4**

4. На установление соответствия (4 вопроса)

Установите соответствие между типом привода и его характерной особенностью применения в робототехнике:

А) Квазипрямой привод (*QDD*)	1) Высокая прозрачность механики (*backdrivability*) для тактильного взаимодействия
Б) Волновой редуктор	2) Компактность суставов при высоком передаточном отношении без люфта
В) Ролико-винтовая передача	3) Высочайшая осевая жесткость для вертикальных осей тяжелых роботов

Правильный ответ: А – 1, Б – 2, В – 3

Установите соответствие между видом потерь энергии в двигателе и физическим механизмом их возникновения:

А) Медные потери (*Copper losses*)	1) Гистерезис и вихревые токи в электротехнической стали
Б) Железные потери (*Iron losses*)	2) Нагрев проводников обмотки согласно закону Джоуля-Ленца
В) Механические потери	3) Трение в подшипниках и вентиляционные потери (воздушное сопротивление)

Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3

Установите соответствие между алгоритмом коммутации BLDC-двигателя и формой противо-ЭДС:

А) Трапецеидальная коммутация (6-шаговая)	1) Требуется синусоидального изменения фазных токов для отсутствия пульсаций
Б) Синусоидальная (*FOC*)	2) Допускает прямоугольную форму ЭДС и релейное управление ключами
В) Управление моментом через I_q	3) Ориентация вектора тока строго перпендикулярно потоку ротора

Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3

Установите соответствие между типом неисправности привода и её проявлением на графике переходного процесса:

А) Наличие люфта в редукторе	1) Затяжной пуск, наличие зоны нечувствительности при смене направления
Б) Сухое трение (*Stiction*)	2) Высокочастотные автоколебания вблизи целевого положения
В) Завышенный коэффициент усиления П	3) Ступенька на кривой скорости при страгивании с места

Правильный ответ: А – 1, Б – 3, В – 2

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

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Явление неуправляемого роста выходного сигнала регулятора при длительном наличии рассогласования и ограничении выхода усилителя называется насыщением _____. **Правильный ответ:** интегратора

Прочитайте текст и запишите правильный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы. Коэффициент пропорциональности между частотой вращения идеального холостого хода двигателя и приложенным напряжением якоря называется коэффициентом _____. **Правильный ответ:** противо-эдс (или конструктивным коэффициентом)

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

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: дайте определение понятию «прозрачность механики» (backdrivability) — это ... **Правильный ответ:** способность исполнительного механизма передавать внешнее усилие со стороны нагрузки обратно к двигателю с минимальным сопротивлением, обусловленным трением или редукцией. позволяет человеку легко перемещать звенья коборта вручную при выключенном питании.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Ответ следует записать с маленькой буквы: опишите физический принцип ослабления поля (field weakening) в синхронных двигателях и укажите, как это влияет на максимальную достижимую скорость. **Правильный ответ:** при достижении номинальной скорости напряжение инвертора становится недостаточным для поддержания полного тока по оси d (поток). система уменьшает составляющую тока i_d до отрицательных значений, искусственно ослабляя магнитное поле ротора. это снижает противо-эдс, позволяя двигателю разгоняться выше номинальной скорости, однако приводит к падению максимального доступного момента (гиперболическая часть нагрузочной диаграммы).

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Феофанов, А. Н. Техническое обслуживание, ремонт и испытание мехатронных систем : учебник / А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина. — 2-е изд., стер. — Москва : Академия, 2024. — 304 с. — ISBN 978-5-0054-1673-5. — Текст : электронный // Издательский центр «Академия».

2. Иванов, В. К. Управление, моделирование и датчики мехатронных систем : учебное пособие / В. К. Иванов. — Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. — 212 с. — ISBN 978-5-9729-2590-2. — Текст : электронный // Инфра-Инженерия.

7.2. Дополнительная литература

3. Кангин, В. В. Контроллеры Arduino в мобильных роботах и дронах : учебное пособие / В. В. Кангин, Е. М. Кангин. — Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. — 324 с. — ISBN 978-5-9729-2451-6. — Текст : электронный // Инфра-Инженерия.

4. Умнов, В. П. Компоненты исполнительных устройств мехатронных модулей и робототехнических систем : учебное пособие / В. П. Умнов. — Владимир : ВлГУ, 2024. — Текст : электронный // Электронный архив ВлГУ. Волкова, М. А.

5. Приводы мехатронных и робототехнических систем : методические рекомендации / М. А. Волкова. — Москва : РТУ МИРЭА, 2024. — 19 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система Лань.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

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

Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии

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

Учебная аудитория оборудована:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Пробковая доска
- Моноблок для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся с выходом в интернет
- Виртуальный лабораторный стенд «Электрические цепи» на 20 рабочих мест;
- Виртуальный лабораторный стенд «Электротехника и основы электроники» ТС-ЭТиОЭ2-ЛС на 16 рабочих мест
- Виртуальный лабораторный стенд «Автоматика на основе программируемого реле» на 20 рабочих мест
- Виртуальный лабораторный стенд «Автоматика на основе программируемого контроллера» на 20 рабочих мест
- Виртуальный лабораторный стенд «Цифровая и микропроцессорная техника» на 20 рабочих мест
- Набор учебно-методических материалов к разделу «Электротехника и электроника» (плакаты, презентации).

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 «**Исполнительные приводы мехатронных 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

Исполнительные приводы мехатронных систем

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Николаев Юрий Николаевич

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)