Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 15.07.2025 12:59:00
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет машиностроения

УТВЕРЖДАЮ

Декан

_____ /Е.В. Сафонов/

«27» февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Высокоточный электропривод роботов

Направление подготовки
15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Профиль
Роботы и робототехнические комплексы

Квалификация
Бакалавр

Формы обучения
очная

Москва, 2025 г.

Разработчик(и):

Доцент кафедры «Автоматика и управление»,
к.т.н., доцент  /А.С. Маклаков/

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Автоматика и управление»,
д.т.н., профессор  /А.А. Радионов/

Руководитель образовательной программы
Профессор кафедры «Автоматика и управление»,
д.т.н., доцент  /В.Р. Гасияров /

Содержание

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине ... 4
2 Место дисциплины в структуре образовательной программы ... 5
3 Структура и содержание дисциплины ... 5
3.1 Виды учебной работы и трудоемкость ... 5
3.2 Тематический план изучения дисциплины ... 6
3.3 Содержание дисциплины ... 8
3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий ... 10
3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ) ... 10
4 Учебно-методическое и информационное обеспечение ... 10
4.1 Нормативные документы и ГОСТы ... 10
4.2 Основная литература ... 10
4.3 Дополнительная литература ... 10
4.4 Электронные образовательные ресурсы ... 11
4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение ... 11
4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы ... 11
5 Материально-техническое обеспечение ... 11
6 Методические рекомендации ... 12
6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения ... 12
6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины ... 12
7 Фонд оценочных средств ... 13
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения ... 14
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения ... 15
7.3 Оценочные средства ... 19

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Высокоточный электропривод роботов» является приобретение теоретических, практических знаний и навыков в областях: электрического привода (ЭП), применяемого в промышленных роботах; систем регулирования электроприводов; принцип построения схем управления; отличительные особенности и структура системы электроприводов; применение и выбор электроприводов; использование приближенных методов расчета и выбора основных элементов.

К основным задачам освоения дисциплины «Высокоточный электропривод роботов» следует отнести:

– изучение назначения и видов электроприводов, применяемых в промышленных роботах, их схем включения, основных параметров, характеристик и свойств, математического описания;

– изучение формирование навыков построения схем автоматизированного ЭП для промышленных роботов.

Обучение по дисциплине «Высокоточный электропривод роботов» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции	Наименование показателя оценивания
ПК-6 Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств робототехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе с использованием средств автоматизации проектирования	ИПК-6.1. Понимает принципы конструирования отдельных деталей, узлов и устройств робототехнических систем, выбирает системы автоматизированного проектирования робототехнических систем; ИПК-6.2. Работает с программными средствами с использованием современных прикладных программ по расчету робототехнических систем; ИПК-6.3. Рассчитывает и проектирует детали, узлы и устройства робототехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.	**Знать:** производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием **Уметь:** проводить расчёты исполнительной системы робота и синтез систем управления для роботизированных технологических комплексов **Владеть:** навыками выбора и обоснования электромеханических преобразователей энергии для робототехнических систем

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к элективным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина непосредственно связана со следующими дисциплинами и практиками ООП:

Детали мехатронных модулей, роботов и их конструирование;
Диагностика и надежность автоматизированных систем;
Механика роботов и мехатронных модулей;
Проектирование автоматизированных систем;
Производственная практика (проектно-технологическая);
Теория автоматического управления;
Технические средства автоматизации;
Техническое обслуживание и ремонт оборудования;
Управление роботами и робототехническими комплексами;
Эксплуатация и наладка мехатронных и робототехнических систем;
Электрические машины;
Электротехника.

3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестр
			7
1	**Аудиторные занятия**	**54**	**54**
	В том числе:		
1.1	Лекции	36	36
1.2	Семинарские/практические занятия	-	-
1.3	Лабораторные занятия	18	18
2	**Самостоятельная работа**	**54**	**54**
	В том числе:		
2.1	Выполнение и защита РГР	28	28
2.2	Подготовка к экзамену	18	18
2.3	Подготовка отчетов по лабораторным работам	8	8
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет/диф.зачет/экзамен		экзамен
	Итого	**108**	**108**

3.2 Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	**Раздел 1. Классификация роботов и их элементов. Кинематика роботов.**	**26**	**10**	**0**	**4**	**0**	**12**
1.1	Тема 1. Классификация, области применения и развитие робототехнических систем		2				
1.2	Тема 2. Общие сведения о промышленных и мобильных роботах. Развитие робототехники		2				2
1.3	Тема 3. Поколения и классификация роботов. Структуры различных роботов.		2				2
1.4	Тема 4. Прямая задача кинематики		2				2
1.5	Тема 5. Матрица поворота вокруг произвольной оси. Представление матриц поворота через углы Эйлера. Геометрический смысл матриц поворота. Свойства матриц поворота. Однородные координаты и матрицы преобразований				4		4
1.6	Тема 6. Звенья, сочленения и их параметры. Представление Денавита-Хартенберга. Алгоритм формирования систем координат звеньев.		2				2
2	**Раздел 2. Динамика роботов и планирование траекторий движения.**	**28**	**10**	**0**	**4**	**0**	**14**
2.1	Тема 1. Метод Лагранжа-Эйлера. Описание динамики многозвенного манипулятора.		2				2
2.2	Тема 2. Особенности выбора исполнительных приводов роботов.		2				2
2.3	Тема 3. Рекуррентные уравнения динамики манипулятора.		2				2
2.4	Тема 4. Планирование траекторий манипулятора. Сглаженные траектории в пространстве присоединенных переменных. Расчет 4-3-4-траектории. Граничные условия для 4-3-4-траектории		2				2

2.5	Тема 5. Подходы к решению обратной задачи кинематики.				4		4
2.6	Тема 6. Геометрический подход. Определение различных конфигураций манипулятора.		2				2
3	**Раздел 3. Классификация систем управления роботов.**	**28**	**10**	**0**	**4**	**0**	**14**
3.1	Тема 1. Особенности синтеза манипуляционных систем. Обобщенный анализ адаптивных систем управления.		2				2
3.2	Тема 2. Концепция синтеза систем управления манипуляторами и основных ее направлений		2				2
3.3	Тема 3. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора. Механическая разгрузка его движений.		2				2
3.4	Тема 4. Передаточная функция электропривода степени подвижности многозвенного манипулятора. Дифференциальное уравнение нагруженного электропривода.				4		4
3.5	Тема 5. Корректирующие устройства, стабилизирующие параметры передаточных функций электроприводов роботов.		2				2
3.6	Тема 6. Самонастраивающаяся коррекция, стабилизирующая коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов.		2				2
4	**Раздел 4. Самонастраивающиеся системы с переменной структурой**	**26**	**6**	**0**	**6**	**0**	**14**
4.1	Тема 1. Системы с переменной структурой для терминального управления при дискретном изменении параметров нагрузки.		1				2
4.2	Тема 2. Синтез систем с переменной структурой второго порядка при наличии моментов трения и внешних моментов.		1				2
4.3	Тема 3. Синтез систем с переменной структурой третьего порядка с использованием воздействия по ошибке. Системы с переменной структурой при непрерывно изменяющихся параметрах нагрузки.		1				2
4.4	Тема 4. Аналитическое конструирование оптимальных				6		4

	регуляторов для следящих приводов.						
4.5	Тема 5. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию.		1				2
4.6	Тема 6. Формирование структуры оптимального регулятора.		2				2
	Итого	**108**	**36**	**0**	**18**	**0**	**54**

3.3 Содержание дисциплины

Раздел 1. Классификация роботов и их элементов. Кинематика роботов

Рассматриваются задачи, стоящие перед дисциплиной, ее структура и основные рассматриваемые вопросы. Роль робототехники в развитии человечества. Термины и понятия, используемые в робототехнике. Проводится обсуждение перспективных направлений развития робототехники. Промышленные роботы и манипуляторы. Мобильные роботы. Общая характеристика конструкций промышленных и мобильных роботов, применяемых на производстве. Классификация промышленных роботов по служебному назначению, типу привода, грузоподъемности, количеству манипуляторов и типу системы управления. Классификация мобильных роботов. Принципы управления роботами. Типовые элементы конструкции промышленных и мобильных роботов. Исполнительные, обслуживающие и транспортные промышленные роботы. Стационарные и подвижные роботы. Области применения роботов и решаемые задачи. Поколения роботов. Роботы непромышленного назначения. Конструкции роботов. Приводы. Информационно-сенсорные системы. Способы и системы управления. Робототехнические комплексы. Основные задачи кинематики манипулятора: прямая и обратная задачи. Матрицы поворота (вращения). Ортогональные преобразования. Матрицы сложных поворотов. Матрица поворота вокруг произвольной оси. Рассматривается представление матриц поворота через углы Эйлера.

Раздел 2. Динамика роботов и планирование траекторий движения

Динамика роботов. Предмет динамики манипулятора как раздел робототехники. Прямая задача. Обратная задача. Динамическая модель манипулятора. Уравнения динамики движения реального манипулятора на основе уравнения Лагранжа-Эйлера. Кинетическая энергия манипулятора. Потенциальная энергия манипулятора. Скорость произвольной точки звена манипулятора. Уравнения движения манипулятора с вращательными сочленениями. Типы приводов роботов. Достоинства и недостатки различных типов приводов. Конструкция, описание и принцип работы гидропривода. Конструкция, описание и принцип работы пневмопривода. Конструкция, описание и принцип работы электропривода. Метод вычисления управляющих моментов. Математическое описание электропривода многозвенного манипулятора. Уравнение Ньютона-Эйлера. Вращающиеся системы координат. Подвижные системы координат. Кинематика звеньев. Рекуррентные уравнения динамики манипулятора. Принцип Д'Аламбера для вывода уравнений динамики движения манипулятора.

Раздел 3. Классификация систем управления роботов

Задачи, стоящие перед дисциплиной, ее структура и основные рассматриваемые вопросы. Роль высококачественных систем управления в робототехнике. Рассматриваются основные особенности синтеза высококачественных систем управления современными робототехническими системами. Обобщенный анализ адаптивных систем управления. Оптимальные самонастраивающиеся системы с подстройкой параметров регуляторов или управляющих воздействий. Системы с внешним контуром оптимизации и внутренним

контуром стабилизации. Системы со стабилизацией динамических свойств относительно модели. Системы управления манипуляторами. Осуществляется формирование концепции синтеза систем управления манипуляторами и основных ее направлений. Рассматриваются основные особенности концепции динамической развязки движения многозвенных роботов. Рассматриваются основные особенности концепции адаптивного программного управления многозвенными роботами. Приводится описание, физический смысл эффектов взаимовлияний между степенями подвижности многозвенных манипуляторов. Рассматривается вывод аналитических выражений, описывающих эффекты взаимовлияний для многозвенных манипуляторов. Практическое получение уравнений, описывающие моментных воздействия, действующие в степенях подвижности двухстепенного манипулятора. Механическая компенсация эффектов взаимовлияния. Уравнение динамики многозвенного манипуляционного робота. Декомпозиция уравнений динамики манипулятора. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора. Математическая модель исполнительной системы. Вывод передаточной функции электропривода одной степени подвижности многозвенного манипулятора. Вывод дифференциального уравнения нагруженного электропривода. Расчет исполнительных приводов роботов. Синтез корректирующих устройств и регуляторов. Структурная схема следящего привода.

Раздел 4. Самонастраивающиеся системы с переменной структурой

Приводится описание метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию. Формирование структуры оптимального регулятора. Анализ самонастраивающихся оптимальных систем. Составление уравнений динамики электроприводов при стабилизации параметров передаточной функций. Описание динамики электроприводов при стабилизации параметров дифференциальных уравнений. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию качества. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для следящих приводов. Рассматриваются особенности синтеза самонастраивающихся нелинейных систем управления приводами манипуляторов произвольной конфигурации на основе квадратичного критерия качества. Синтез структуры и формирование расчетных соотношений для определения параметров оптимального регулятора. Особенности построения и реализации самонастраивающихся регуляторов. Расчет квазиоптимальных регуляторов для электроприводов манипуляторов. Анализ эффективности синтезированных квазиоптимальных приводов манипуляторов. Особенности синтеза систем с переменной структурой для терминального управления при дискретном изменении параметров нагрузки. Синтез упрощенных самонастраивающихся систем с переменной структурой второго порядка. Системы с переменной структурой для вынужденных движений с дискретным изменением параметров нагрузки. Особенности синтеза систем с переменной структурой второго порядка при наличии моментов трения и внешних моментов. Рассматривается вынужденное движение самонастраивающейся системы с переменной структурой второго порядка. Синтез систем с переменной структурой третьего порядка с использованием воздействия по ошибке. Синтез самонастраивающихся систем с переменной структурой с использованием воздействия по ошибке и ее производной. Вынужденное движение самонастраивающейся системы с переменной структурой третьего порядка. Рассматривается особенности синтеза систем с переменной структурой при непрерывно изменяющихся параметрах нагрузки.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1 Семинарские/практические занятия

Не предусмотрены.

3.4.2 Лабораторные занятия

Лабораторные занятия 1-2. Лабораторная работа №1. Синтез корректирующего устройства, стабилизирующие параметры передаточных функций электроприводов роботов в среде MATLAB.

Лабораторные занятия 3-4. Лабораторная работа №2. Синтез самонастраивающейся коррекции, стабилизирующей коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов в среде MATLAB.

Лабораторные занятия 5-6. Лабораторная работа №3. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию в среде MATLAB.

Лабораторные занятия 7-9. Лабораторная работа №4. Системы с переменной структурой для терминального управления электроприводом робота при дискретном изменении параметров нагрузки.

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Не предусмотрены

4 Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

Не предусмотрены

4.2 Основная литература

1. Медведев В.А. Системы управления электроприводами роботов : учебное пособие / Медведев В.А.. — Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. — 194 с. — ISBN 978-5-7731-0733-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/93291.html

2. Григорьев П.А. Электроприводы : учебное пособие / Григорьев П.А., Зайцева Н.А.. — Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2021. — 127 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/122162.html

3. Литвиненко А.М. Исполнительный привод : учебное пособие / Литвиненко А.М.. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 124 с. — ISBN 978-5-4497-1202-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/108367.html

4.3 Дополнительная литература

1. Медведев В.А. Системы управления электроприводами промышленных роботов : учебное пособие / Медведев В.А.. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 193 с. — ISBN 978-

5-4497-1205-9. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/108371.html

2. Муконин, А. К. Основы теории электроприводов : учебное пособие / А. К. Муконин, А. В. Романов, В. А. Трубецкой. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 170 с. — ISBN 978-5-4497-1136-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/108321.html

3. Никитин Ю.Р. Интеллектуальные мехатронные системы. Прогнозирование остаточного ресурса : учебное пособие / Никитин Ю.Р., Трефилов С.А., Лекомцев П.В.. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. — 99 с. — ISBN 978-5-4497-2006-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/127540.html

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Не предусмотрено

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Microsoft-Office
2. Matlab/Simulink
3. Microsoft-Windows

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам Федеральный портал http://window.edu.ru

2. Компьютерные информационно-правовые системы «Консультант» http://www.consultant.ru, «Гарант» http://www.garant.ru

3. Официальный интернет-портал правовой информации http://pravo.gov.ru.

4. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru

5. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru

6. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php

5 Материально-техническое обеспечение

1. Компьютерный класс с предустановленным программным обеспечением, указанным в п. 4.5, мультимедийное оборудование (проектор, персональный компьютер преподавателя).

2. Аудитория для лекционных, практических занятий. Оборудование и аппаратура: аудиторная доска, возможность использования мультимедийного комплекса.

3. Лабораторное оборудование.

6 Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

На первом занятии по дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения (темами курса, формами занятий, текущего и промежуточного контроля), раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования к форме отчетности и применения видов контроля.

При подготовке к лабораторным работам по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем тематических вопросов.

В ходе работы во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы работы, определить порядок ее проведения, время на обсуждение каждого учебного вопроса. Применяя фронтальный опрос дать возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

В заключительной части лабораторной работы следует подвести ее итоги: раскрыть положительные стороны и недостатки. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

Методика преподавания дисциплины «Высокоточный электропривод роботов» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению и защита лабораторных работ с помощью специализированного программного обеспечения;

– защита и индивидуальное обсуждение выполняемых этапов РГР;

– технологии анализа ситуаций для активного обучения, которые позволяют студентам соединить теорию и практику, представить примеры принимаемых решений и их последствий, демонстрировать различные позиции, формировать навыки оценки альтернативных вариантов в вероятностных условиях.

Обучение по дисциплине ведется с применением традиционных потоково-групповых информационно-телекоммуникационных технологий. При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии: презентации с применением проектора и программы PowerPoint.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов учебных занятий. Цель самостоятельной работы – практическое самостоятельное получение студентами навыков работы в программе математического моделирования, рассматриваемых в процессе изучения дисциплины.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Задачи самостоятельной работы студента:

- развитие навыков самостоятельной учебной работы;
- освоение содержания дисциплины;
- углубление содержания и осознание основных понятий дисциплины;

- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий для эффективной подготовки к экзамену.

Виды внеаудиторной самостоятельной работы:

- самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины;
- выполнение и защита РГР;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- подготовка к экзамену.

Для выполнения любого вида самостоятельной работы необходимо пройти следующие этапы:

- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе;
- выбор адекватного способа действия, ведущего к решению задачи;
- планирование работы (самостоятельной или с помощью преподавателя) над заданием;
- осуществление в процессе выполнения самостоятельной работы самоконтроля (промежуточного и конечного) результатов работы и корректировка выполнения работы;
- рефлексия;
- презентация работы.

7 Фонд оценочных средств

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- защита лабораторных работ;
- экзамен;
- защита РГР.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные задания по практическим работам индивидуально для каждого обучающегося.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	**Наименование компетенции выпускника**
ПК-6	Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств робототехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе с использованием средств автоматизации проектирования

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Перечень оценочных средств по дисциплине «Высокоточный электропривод роботов»

№ п/п	Вид контроля результатов обучения	Наименование контроля результатов обучения	Краткая характеристика оценочного средства
1	Текущий	Защита лабораторной работы	Лабораторная работа выполняется индивидуально каждым студентом. Оформленный отчет студент сдает преподавателю на проверку в заранее установленный срок. При проверке преподаватель оценивает качество оформления, правильность расчетов и выводов. К защите лабораторной работы допускаются студенты, которые выполнили работу, оформили в соответствии с требованиями отчет о лабораторной работе и предоставили его к защите. Каждому студенту задается не менее 3-х вопросов на тему лабораторной работы. Далее проводится защита отчета каждым студентом индивидуально в формате "вопрос-ответ" (задаются 3 вопроса).
2	Текущий	Выполнение и защита РГР	Обучающийся в течение семестра самостоятельно выполняет ряд заданий в соответствие с методическим указанием. РГР оценивается по 100 бальной шкале. При проверке преподаватель оценивает качество оформления, правильность расчетов и выводов. Далее проводится защита РГР каждого студента индивидуально в формате "вопрос-ответ" (задаются 3 вопроса).
3	Промежуточный	Экзамен	Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно». Экзамен проводится в устной форме. В аудитории находится преподаватель и не более

			5 человек из числа студентов. Во время проведения экзамена его участникам запрещается иметь при себе и использовать средства связи (сотовые телефоны, микрофоны и пр.). Студенту выдается билет с тремя вопросами. Количество дополнительных вопросов – не более двух. Количество дополнительных вопросов зависит от полноты ответа студента. Длительность экзамена 2 часа (120 минут).

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

Критерии оценивания компетенций

Показатель	**Критерии оценивания**			
	2	**3**	**4**	**5**
ПК-6. Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств робототехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе с использованием средств автоматизации проектирования.				
знать: производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием

уметь: проводить расчёты исполнительной системы робота и синтез систем управления для роботизированных технологических комплексов	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет проводить расчёты исполнительной системы робота и синтез систем управления для роботизированных технологических комплексов	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: проводить расчёты исполнительной системы робота и синтез систем управления для роботизированных технологических комплексов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: проводить расчёты исполнительной системы робота и синтез систем управления для роботизированных технологических комплексов. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: проводить расчёты исполнительной системы робота и синтез систем управления для роботизированных технологических комплексов. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: навыками выбора и обоснования электромеханических преобразователей энергии для робототехнических систем	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками выбора и обоснования электромеханических преобразователей энергии для робототехнических систем	Обучающийся не в полностью владеет навыками выбора и обоснования электромеханических преобразователей энергии для робототехнических систем. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет навыками выбора и обоснования электромеханических преобразователей энергии для робототехнических систем. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет навыками выбора и обоснования электромеханических преобразователей энергии для робототехнических систем. Свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкала оценивания промежуточной аттестации: экзамен

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний,

	умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности, не испытывает затруднений при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент не может оперировать знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Шкала оценивания текущего контроля

Наименование контроля результатов обучения	Шкала оценивания	Описание
Выполнение и защита лабораторных работ	Зачтено: набрано 3 и более баллов Незачтено: набрано 2 и менее баллов Расчеты выполнены верно – 1 балл, выводы логичны и обоснованы – 1 балл, оформление работы соответствует требованиям – 1 балл, правильный ответ на один вопрос (при защите задаётся 2 вопроса) – 1 балл.	Отчет по лабораторной работе содержит расчеты, выводы. Защита отчета по лабораторной работе осуществляется индивидуально. Студентом предоставляется оформленный отчет. Оценивается качество оформления, правильность расчетов и выводов. Студенты не выполнившие лабораторную работу к защите не допускаются
Выполнение и защита РГР	От 0 до 100 баллов	Набрано 85 и более баллов за РГР. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах

		показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности, не испытывает затруднений при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. Набрано от 70 до 84 баллов. Студент демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. Набрано от 51 до 69 баллов. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации Набрано менее 50 баллов. Студент демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент не может оперировать знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

Теоретические вопросы к лабораторной работе №1:

1. Поколения и классификация роботов.
2. Структуры различных роботов. Развитие робототехники.
3. Матрица поворота вокруг произвольной оси. Представление матриц поворота через углы Эйлера.
4. Геометрический смысл матриц поворота. Свойства матриц поворота. Однородные координаты и матрицы преобразований.
5. Звенья, сочленения и их параметры. Представление Денавита-Хартенберга. Алгоритм формирования систем координат звеньев.

Теоретические вопросы к лабораторной работе №2:

1. Подходы к решению обратной задачи кинематики.
2. Геометрический подход к решению обратной задачи кинематики. Определение различных конфигураций манипулятора. Решение обратной задачи кинематики для первых трех сочленений шестистепенного манипулятора.
3. Описание динамики многозвенного манипулятора. Метод Лагранжа-Эйлера.
4. Особенности выбора исполнительных приводов роботов.
5. Рекуррентные уравнения динамики манипулятора.

Теоретические вопросы к лабораторной работе №3:

1. Планирование траекторий манипулятора. Сглаженные траектории в пространстве присоединенных переменных. Расчет 4-3-4-траектории.
2. Особенности синтеза манипуляционных систем. Обобщенный анализ адаптивных систем управления.
3. Концепция синтеза систем управления манипуляторами и основных ее направлений.
4. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора. Механическая разгрузка его движений.
5. Передаточная функция электропривода степени подвижности многозвенного манипулятора. Дифференциальное уравнение нагруженного электропривода.

Теоретические вопросы к лабораторной работе №4:

1. Корректирующие устройства, стабилизирующие параметры передаточных функций электроприводов роботов.
2. Самонастраивающаяся коррекция, стабилизирующая коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов.
3. Синтез самонастраивающихся приводов, инвариантных к сложному взаимовлиянию между степенями подвижности манипулятора.
4. Самонастраивающаяся коррекция для гидроприводов манипуляторов.

5. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для следящих приводов.

РГР

Задание на РГР:

Синтез системы управления для электропривода шестистепенного манипулятора.

Типовые вопросы к защите РГР

1. Чем руководствуются при выборе типа электропривода?
2. Каковы общие принципы построения и классификация систем управления движением роботов?
3. Каковы отличительные особенности позиционных, контурных и комбинированных систем управления?
4. Дайте общую характеристику позиционных и следящих электроприводов и их систем управления.
5. Какие обратные связи используются в следящих системах автоматического управления электроприводов?
6. Каковы основные уравнения и показатели, характеризующие следящих систем электропривода?
7. Какие инженерные методы используются для синтеза следящей системы?
8. Как можно определить возможность возникновения автоколебаний в нелинейных следящих электроприводах?
9. Что собой представляет адаптация в робототехнике?
10. Каковы элементы искусственного интеллекта в робототехнике?
11. Назовите типы систем программного управления промышленных роботов.
12. Что собой представляют типовые кинематические схемы и захватные устройства роботов?
13. Каковы основные принципы организации движения роботов в различных системах координат и схема пересчёта

координат?

14. Как рассчитать оптимальное передаточное число редуктора и выбрать его?
15. Как произвести расчёт параметров следящего электропривода с различными обратными связями?

7.3.2 Промежуточная аттестация

Перечень вопросов экзамену

Текст вопроса	Код компетенции
1. Поколения и классификация роботов.	ПК-6
2. Структуры различных роботов. Развитие робототехники.	ПК-6
3. Матрица поворота вокруг произвольной оси. Представление матриц поворота через углы Эйлера.	ПК-6

4. Геометрический смысл матриц поворота. Свойства матриц поворота. Однородные координаты и матрицы преобразований.	ПК-6
5. Звенья, сочленения и их параметры. Представление Денавита-Хартенберга. Алгоритм формирования систем координат звеньев.	ПК-6
6. Подходы к решению обратной задачи кинематики.	ПК-6
7. Геометрический подход к решению обратной задачи кинематики. Определение различных конфигураций манипулятора. Решение обратной задачи кинематики для первых трех сочленений шестистепенного манипулятора.	ПК-6
8. Описание динамики многозвенного манипулятора. Метод Лагранжа-Эйлера.	ПК-6
9. Особенности выбора исполнительных приводов роботов.	ПК-6
10. Рекуррентные уравнения динамики манипулятора.	ПК-6
11. Планирование траекторий манипулятора. Сглаженные траектории в пространстве присоединенных переменных. Расчет 4-3-4-траектории.	ПК-6
12. Особенности синтеза манипуляционных систем. Обобщенный анализ адаптивных систем управления.	ПК-6
13. Концепция синтеза систем управления манипуляторами и основных ее направлений.	ПК-6
14. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора. Механическая разгрузка его движений/	ПК-6
15. Передаточная функция электропривода степени подвижности многозвенного манипулятора. Дифференциальное уравнение нагруженного электропривода.	ПК-6
16. Корректирующие устройства, стабилизирующие параметры передаточных функций электроприводов роботов.	ПК-6
17. Самонастраивающаяся коррекция, стабилизирующая коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов.	ПК-6
18. Синтез самонастраивающихся приводов, инвариантных к сложному взаимовлиянию между степенями подвижности манипулятора.	ПК-6
19. Самонастраивающаяся коррекция для гидроприводов манипуляторов.	ПК-6
20. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для следящих приводов.	ПК-6
21. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию.	ПК-6
22. Формирование структуры оптимального регулятора.	ПК-6
23. Системы с переменной структурой для терминального управления электроприводом робота при дискретном изменении параметров нагрузки.	ПК-6
24. Синтез систем с переменной структурой второго порядка для управления приводом робота при наличии моментов трения и внешних моментов.	ПК-6
25. Синтез систем с переменной структурой третьего порядка с использованием воздействия по ошибке для управления приводом робота.	ПК-6
26. Системы с переменной структурой для управления приводом робота при непрерывно изменяющихся параметрах нагрузки.	ПК-6

27. Каковы структура и классификация промышленных роботов и манипуляторов?	ПК-6
28. Охарактеризуйте технические показатели промышленных роботов и требования к приводам.	ПК-6
29. Дайте сравнительный анализ гидро-, пневмо-и электроприводов роботов и манипуляторов.	ПК-6
30. Каковы типовые кинематические схемы и математическое описание механической системы манипуляторов?	ПК-6