



Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Проектирование мехатронных и робототехнических систем

(Наименование дисциплины)

15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»

(Направление подготовки / Профиль)

Бакалавр

(Квалификация)

Кафедра разработчик

Естественных наук и профессиональных коммуникаций

Год набора

2027

Вид учебной деятельности	Трудоемкость (объем) дисциплины
	Очная форма
	д
Зачетные единицы	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)	76
К (Р-Г) Р (П) (+;-)	
Тестирование (+;-)	
ДКР (+;-)	
Зачет (+;-)	+
Зачет с оценкой (+;- (Кол-во часов))	
Экзамен (+;- (Кол-во часов))	

Волгоград 2026

Содержание

Раздел 1. Организационно-методический раздел	3
Раздел 2. Тематический план.....	6
Раздел 3. Содержание дисциплины.....	7
Раздел 4. Организация самостоятельной работы обучающихся	8
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	10
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	14
Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	18
Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии	19
Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	20

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Проектирование мехатронных и робототехнических систем» входит в «Часть, формируемая участниками образовательных отношений» подготовки обучающихся по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»

Целью дисциплины является формирование **компетенций** (в соответствии с ФГОС ВО и требованиями к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО)):

ПК-1 Способен осуществлять проектирование и конструирование изделий робототехники
Дескрипторы компетенции:

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

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

Перечисленные компетенции формируются в процессе достижения индикаторов компетенций:

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

		ИД 3 ПК.1.1 Анализировать принципы работы и условия эксплуатации проектируемых изделий робототехники, создавать и применять математические модели систем робототехники, использовать специализированные автоматизированные программы для выполнения кинематических и прочностных расчетов изделий робототехники, производить построение монтажных и принципиальных схем изделий робототехники, осуществлять расчет электрических цепей для определения параметров компонентов монтируемых схем изделий робототехники, использовать системы автоматизированного проектирования, разрабатывать макеты информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных и микропроцессорных модулей мехатронных и робототехнических систем ПС 29.003 В/01.6; ИД 4 ПК.1.2 Проектировать робототехнические системы изделий робототехники с использованием систем автоматизированного проектирования, разрабатывать конструкцию изделия робототехники в соответствии с требованиями стандартов организации, национальных стандартов и технических регламентов, требованиями заказчика, применять современные технологии изготовления изделий робототехники ПС 29.003 В/02.6. Имеет навыки: ИД 5 ПК.1.1 Анализа принципов работы и условий эксплуатации проектируемых изделий робототехники, создания и применения математических моделей систем робототехники, использования специализированных
--	--	---

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

**1.2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО
направления подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль)
«Мехатроника»**

№	Предшествующие дисциплины (дисциплины, изучаемые параллельно)	Последующие дисциплины
1	2	3
1.	Физика	Монтаж и наладка мехатронных и робототехнических систем

1.3. Нормативная документация

Рабочая программа учебной дисциплины составлена на основе:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»**;
- Учебного плана направления подготовки **15.03.06 Мехатроника и робототехника, направленность (профиль) «Мехатроника»** 2027 года набора;
- Образца рабочей программы учебной дисциплины (приказ № 113-О от 01.09.2021 г.).

Раздел 2. Тематический план

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема дисциплины	Трудоемкость				
		Все го	Аудиторные занятия		СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
			Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1. Введение в проектирование.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
2	Тема 2. Концептуальное проектирование кинематики.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
3	Тема 3. Инжиниринг несущих конструкций.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
4	Тема 4. Проектирование исполнительных электроприводов.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
5	Тема 5. Интеграция сенсорных систем.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
6	Тема 6. Разработка встроенного программного обеспечения (<i>Embedded Software</i>).	14	2	2	10	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
7	Тема 7. Модельно-ориентированное проектирование (<i>MBD</i>).	12	2	2	8	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
8	Тема 8. Пуско-наладка и обеспечение безопасности.	12	2	2	8	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6ПК.1.2
Вид промежуточной аттестации(Зачет)		+				
Итого		108	16	16	76	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в проектирование. Системный подход к созданию роботов. Жизненный цикл изделия (ЖЦИ). Структура мехатронного модуля: механическая, электронная, сенсорная и программная подсистемы.

Тема 2. Концептуальное проектирование кинематики. Выбор структурной схемы манипулятора или мобильной платформы. Расчет рабочей зоны, степеней подвижности и сингулярностей. Синтез параллельных и последовательных механизмов.

Тема 3. Инжиниринг несущих конструкций. Проектирование облегченных звеньев методами топологической оптимизации (*TopOpt*). Расчеты на жесткость, прочность и виброустойчивость. Применение бионического дизайна и аддитивных технологий.

Тема 4. Проектирование исполнительных электроприводов. Методика выбора серводвигателей по нагрузочной диаграмме. Тепловой расчет приводов. Особенности применения волновых редукторов и прямого привода (*Direct Drive*).

Тема 5. Интеграция сенсорных систем. Выбор датчиков положения (энкодеры), силы/момента (F/T сенсоры) и технического зрения. Калибровка сенсоров и компенсация погрешностей монтажа.

Тема 6. Разработка встроенного программного обеспечения (*Embedded Software*). Архитектура ПО контроллера реального времени (RTOS). Программная реализация алгоритмов интерполяции траекторий (*S-curve*) и профилей движения.

Тема 7. Модельно-ориентированное проектирование (*MBD*). Создание цифрового двойника системы в MATLAB/Simulink. Отладка законов управления методом PIL (*Processor-in-the-Loop*) перед загрузкой в целевое железо.

Тема 8. Пуско-наладка и обеспечение безопасности. Разработка защитных зон (коллаборативная робототехника). Настройка функций безопасного останова (*STO/Safe Stop*). Проведение верификации и валидации (V&V) готового устройства.

3.2. Содержание практического блока дисциплины

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема практического (семинарского, лабораторного) занятия
1	2
ПЗ 1	Тема 1. Введение в проектирование.
ПЗ 2	Тема 2. Концептуальное проектирование кинематики.
ПЗ 3, 4	Тема 3. Инжиниринг несущих конструкций.
ПЗ 5	Тема 4. Проектирование исполнительных электроприводов.
ПЗ 6, 7	Тема 5. Интеграция сенсорных систем.
ПЗ 8	Тема 6. Разработка встроенного программного обеспечения (<i>Embedded Software</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. Введение в проектирование.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Концептуальное проектирование кинематики.	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Инжиниринг несущих конструкций.	ПЗ	Метод кейсов	75
4	Тема 4. Проектирование исполнительных электроприводов.	ПЗ	Мозговой штурм	25

5	Тема 5. Интеграция сенсорных систем.	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Разработка встроенного программного обеспечения (<i>Embedded Software</i>).	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Модельно-ориентированное проектирование (<i>MBD</i>).	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Пуско-наладка и обеспечение безопасности.	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 проектирование.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Концептуальное проектирование кинематики.	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Инжиниринг несущих конструкций.	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Проектирование исполнительных электроприводов.	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Интеграция сенсорных систем.	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Разработка встроенного программного обеспечения (<i>Embedded Software</i>).	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Модельно-ориентированное проектирование (<i>MBD</i>).	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Пуско-наладка и обеспечение безопасности.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

1. **Бионический дизайн и топологическая оптимизация (TopOpt) звеньев манипуляторов.** Снижение массы конструкции при сохранении жесткости с использованием алгоритмов SIMP в средах ANSYS или Fusion 360.

2. **Проектирование волнового редуктора (*Harmonic Drive*) для прецизионных осей робота.** Расчет генератора волн, гибкого подшипника и зубчатого венца для достижения нулевого мертвого хода (*Zero Backlash*).

3. **Разработка кинематики дельта-робота: прямая и обратная задачи.** Оптимизация размеров рычагов для максимизации рабочей зоны и минимизации изменения момента инерции при движении.

4. **Синтез параллельного механизма типа «гексапод» (*Stewart platform*) для симуляторов движения.** Анализ сингулярностей и расчет матрицы Якоби для распределения усилий в приводах.

5. **Инжиниринг систем силомоментного оучувствления запястья робота.** Проектирование упругих элементов на базе тензодатчиков или MEMS-сенсоров для реализации адаптивного захвата хрупких объектов.

6. **Проектирование безредукторных приводов (*Direct Drive*) для совместной робототехники.** Выбор моментных двигателей с низким зубцовым моментом (*cogging torque*) и методы его компенсации программным способом.

7. **Обеспечение взрывозащиты (*ATEX/Ex*) корпусов мехатронных модулей для работы в нефтегазовой отрасли.** Расчет путей утечки тока и проектирование герметичных оболочек вида «взрывонепроницаемая оболочка "d"».

8. **Эргономическое проектирование пультов обучения (*teach pendant*) и органов управления.** Разработка интерфейса HMI с учетом когнитивной нагрузки оператора и стандартов безопасности ISO 9241.

9. **Тепловое проектирование компактных шкафов автоматики коллаборативных роботов.** Расчет пассивных радиаторов и систем жидкостного охлаждения для отвода тепла от силовых модулей в условиях ограниченного пространства.

10. **Проектирование кабельных трасс (*drag chains*) мобильных роботов.** Расчет долговечности гибких кабелей питания и передачи данных (Ethernet/CAN) при миллионах циклов изгиба.

11. **Интеграция технического зрения («глаз-в-руке») в конструкцию манипулятора.** Калибровка взаимного положения фланца инструмента (*Tool Flange*) и оптической оси камеры методом *Hand-Eye Calibration*.

12. **Разработка экзоскелета нижних конечностей человека.** Биомеханический синтез шарниров, соосных осей вращения тазобедренного и коленного суставов человека, и выбор серводвигателей по пиковой мощности.

13. **Проектирование антистатического (*ESD-safe*) рабочего органа (захвата) для производства микроэлектроники.** Подбор материалов с поверхностным сопротивлением $10^6 - 10^9$ Ом и исключение изоляторов.

14. **Модульный подход к проектированию сервисных роботов.** Создание унифицированных стыковочных интерфейсов (механических, электрических, информационных) для быстрой смены навесного оборудования (*Hot-swapping*).

15. **Акустическая оптимизация корпуса мобильного робота.** Снижение уровня шума вентиляторов системы охлаждения и редукторов привода шасси за счет применения виброизолирующих подвесов и лабиринтных уплотнений.

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

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

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

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

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

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Введение в проектирование.	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. Концептуальное проектирование кинематики.	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. Инжиниринг несущих конструкций.	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. Проектирование исполнительных электроприводов.	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. Интеграция сенсорных систем.	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. Разработка встроенного программного обеспечения (<i>Embedded Software</i>).	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. Модельно-ориентированное проектирование (<i>MBD</i>).	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2

8	Тема 8. Пуско-наладка и обеспечение безопасности.	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ПК.1.1 ИД 2 ПК.1.2 ИД 3 ПК.1.1 ИД 4 ПК.1.2 ИД 5 ПК.1.1 ИД 6 ПК.1.2
---	---	----	----	-----	--

Условные обозначения оценочных средств (Столбцы 3, 4, 5):

УО – устный (фронтальный, индивидуальный, комбинированный) опрос;

ПРВ – проверка рефератов, отчетов, рецензий, аннотаций, конспектов, графического материала, эссе, переводов, решений заданий, выполненных заданий в электронном виде и т.д.;

МШ – Метод мозгового штурма;

КМ – Кейс-метод;

ДИ – Деловая игра;

ЛС – Лекция-ситуация.

5.2. Оценочные средства текущего контроля

Перечень практических (семинарских) заданий Задачи

1. **Проектирование корпуса звена манипулятора методом топологической оптимизации (TopOpt).** Дано: эскиз узла крепления, векторы приложенных сил и места закрепления. Задача: в САПР (SolidWorks Simulation / Fusion 360) выполнить оптимизацию формы для снижения массы на 40% при сохранении жесткости, интерпретировать полученную бионическую форму в классический CAD-дизайн.

2. **Кинематический синтез дельта-робота.** Задача: вывести аналитические уравнения обратной задачи кинематики (ОЗК) для заданных длин рычагов и радиусов оснований. Построить рабочую зону в MATLAB и определить геометрические параметры для достижения высоты зоны не менее 300 мм.

3. **Расчет параметров волнового редуктора (Harmonic Drive).** Дано: требуемый момент на выходе M_{out} и передаточное число i . Задача: рассчитать количество зубьев гибкого колеса (Z_f) и жесткого колеса (Z_w), обеспечивающее условие сборки и коэффициент перекрытия передачи.

4. **Разработка конструкции датчика силы-момента (F/T sensor) на базе тензорезисторов.** Задача: спроектировать упругий элемент («пружину») параллелограммного типа в CAD. Рассчитать номиналы резисторов моста Уитстона и требуемое усиление инструментального усилителя INA125 для измерения нагрузки до 100 Н.

5. **Проектирование системы смены инструмента (ATC — Automatic Tool Changer).** Задача: разработать механический интерфейс стыковки фланца робота с модулем захвата. Обеспечить пневматическое и электрическое подключение через самоцентрирующиеся контакты без ручного вмешательства.

6. **Тепловой расчет герметичного шкафа автоматики мобильного робота.** Дано: тепловыделение частотных преобразователей (ΔP) и максимальная температура внутри/снаружи. Задача: рассчитать необходимую производительность вентиляторов или площадь стенок радиатора из алюминиевого сплава для пассивного охлаждения.

7. **Синтез механизма прецизионного линейного перемещения на воздушной подушке.** Задача: начертить схему аэростатической направляющей. Рассчитать зазор между статором и подвижной частью для обеспечения грузоподъемности 50 кг при давлении воздуха 5 бар.

8. **Компоновка кабельного хозяйства (E-Chain) коллаборативного робота.** Задача: разместить силовой кабель двигателя, кабель энкодера и пневморывав в энергоцепь длиной 1 метр. Рассчитать минимальный радиус изгиба и проверить суммарное заполнение цепи (< 60%).

9. **Проектирование антистатического (ESD-safe) вакуумного захвата.** Задача: выбрать материалы корпуса и присосок (маркировка *dissipative/static-dissipative*), исключающие накопление заряда. Разработать систему заземления металлических частей через шпиндель станка.

10. **Биомеханический расчет экзоскелета бедра человека.** Дано: антропометрические данные пользователя. Задача: расположить оси вращения шарнира экзоскелета строго соосно тазобедренному суставу во фронтальной и сагиттальной плоскостях, чтобы избежать паразитных моментов на коже.

11. **Проектирование защитного кожуха шестеренчатой передачи.** Задача: смоделировать корпус редуктора с ребрами жесткости. Провести модальный анализ (Frequency Analysis) для выявления собственных частот и убедиться, что они лежат вне диапазона рабочих оборотов $\pm 20\%$.

12. **Разработка оптической системы «глаз-в-руке» (Eye-in-Hand).** Задача: сконструировать крепление камеры к фланцу робота так, чтобы исключить блики от цехового освещения. Подобрать рассеиватель света (LED-кольцо) и рассчитать рабочее расстояние до объекта.

13. **Проектирование поворотного стола с прямым приводом (Direct Drive Torque Motor).** Задача: выбрать бесколлекторный моментный двигатель по кривой зависимости момента от скорости. Спроектировать водяную рубашку охлаждения ротора, если непрерывный момент превышает номинальный более чем на 30%.

14. **Анализ эргономики пульта обучения (Teach Pendant).** Задача: создать 3D-модель рукоятки управления (джойстика). Оценить углы сгибания кисти оператора в нейтральном положении и предложить изменения геометрии для снижения утомляемости при работе 8 часов.

15. **Модульная сборка мобильной платформы Omniwheel.** Задача: разработать унифицированный кронштейн для крепления мотор-колеса Mecanum. Обеспечить возможность регулировки натяжения роликов колеса и юстировки параллельности осей всех четырех колес относительно рамы.

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. **Бионический дизайн и топологическая оптимизация в проектировании облегченных звеньев роботов.** Сравнительный анализ алгоритмов SIMP и BESO, проблемы интерпретации результатов оптимизации для последующего производства методами ЧПУ-обработки.

2. **Проектирование систем силомоментного оучувствления (F/T sensors) запястья манипулятора.** Методы упругого преобразования деформации (параллелограммные механизмы, торсионы) и компенсация перекрестных наводок сигналов тензорезисторов.

3. **Инжиниринг волновых зубчатых передач (Harmonic Drive) для прецизионной робототехники.** Расчет напряженно-деформированного состояния гибкого подшипника, методы минимизации «волновой ошибки» и мертвого хода.

4. **Синтез кинематики параллельных механизмов (гексаподов/дельта-роботов).** Анализ рабочих зон и сингулярностей, проектирование шарнирных соединений с учетом податливости реальных тел.

5. **Разработка модульных стыковочных интерфейсов (Docking Mechanisms) для сервисных роботов.** Механические, электрические и информационные стандарты быстрого подключения навесного оборудования (*Hot-swapping*).

6. **Проектирование безредукторных моментных приводов (Direct Drive) для совместной робототехники.** Выбор геометрии обмотки статора для снижения зубцового момента (*cogging torque*) и обеспечение теплоотвода при высоких удельных нагрузках.

7. **Эргономика и биомеханический синтез экзоскелетных устройств.** Проблема соосности антропометрических суставов человека и осей привода экзоскелета, методы компенсации погрешностей позиционирования.

8. **Тепловое проектирование герметичных шкафов автоматики мобильных платформ.** Расчет пассивных радиаторов и замкнутых контуров жидкостного охлаждения для отвода тепла от силовых инверторов в условиях отсутствия конвекции.
9. **Обеспечение взрывозащиты (ATEX/IECEx) корпусов датчиков и приводов для нефтегазовой робототехники.** Конструирование оболочек вида «d» (взрывонепроницаемая оболочка) и расчет путей утечки поверхностных разрядов.
10. **Интеграция технического зрения («глаз-в-руке») в конструкцию рабочего органа.** Математическая задача *Hand-Eye Calibration*, проектирование виброизолирующих креплений камеры и защита оптических окон от загрязнений.
11. **Проектирование кабельного хозяйства (E-Chains) для высокودинамичных манипуляторов.** Материалы изоляции жил, стойкие к многократным изгибам ($>10^7$ циклов), и расчет аэродинамического сопротивления тяжелой энергоцепи.
12. **Акустическое проектирование мехатронных модулей.** Методы снижения шума редукторов (зубчатые передачи с модификацией профиля зуба) и вентиляторов системы охлаждения за счет импедансных глушителей.
13. **Конструирование антистатических (ESD-safe) компонентов для микроэлектроники.** Подбор полимерных материалов с объемным сопротивлением $10^6 - 10^9$ Ом·см и исключение трибоэлектрического эффекта в подвижных узлах.
14. **Проектирование вакуумных хватных систем для пористых и шероховатых поверхностей.** Расчет расхода воздуха через присоски, выбор эжекторных насосов и разработка адаптивных уплотнений из вспененного силикона.
15. **Дизайн человеко-машинного интерфейса (HMI) пультов обучения (teach pendant).** Эволюция органов управления: от физических кнопок до сенсорных экранов с тактильной обратной связью и дополненной реальностью (*AR-assisted jogging*).

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. Системный подход в проектировании мехатронных систем. Структура жизненного цикла изделия (ЖЦИ) и роль стандартов ГОСТ Р МЭК 61508/62061.
2. Концептуальное проектирование роботов: выбор кинематической схемы, определение степеней подвижности по формуле Грюблера и анализ рабочей зоны.
3. Сингулярности параллельных механизмов (гексаподов). Геометрические условия вырождения структуры и методы их обхода при планировании траекторий.
4. Топологическая оптимизация (*TopOpt*) несущих конструкций. Постановка задачи минимизации податливости и особенности интерпретации результатов для аддитивного производства.
5. Проектирование волновых зубчатых передач (*Harmonic Drive*). Расчет генератора волн, гибкого колеса и влияние эллипсности на мертвую зону редуктора.
6. Биомеханический синтез экзоскелетов. Проблема соосности антропометрических суставов человека и механических шарниров привода.
7. Проектирование безредукторных моментных приводов (*Direct Drive*). Методы снижения зубцового момента (*cogging torque*) и обеспечение теплоотвода от статора.
8. Интеграция силомоментных датчиков (F/T sensors) в запястье манипулятора. Конструкция упругих элементов и компенсация перекрестных наводок сигналов тензорезисторов.
9. Разработка модульных интерфейсов смены инструмента (*ATC — Automatic Tool Changer*). Механическая центровка, передача электроэнергии через скользящие контакты и пневматические муфты.
10. Эргономика пультов обучения (*teach pendant*) промышленных роботов. Оптимизация расположения джойстиков и кнопок согласно стандартам ISO 9241 для снижения утомляемости оператора.
11. Тепловое проектирование герметичных шкафов автоматики мобильных платформ. Расчет пассивных радиаторов и замкнутых контуров жидкостного охлаждения инверторов.
12. Обеспечение взрывозащиты (ATEX/IECEx) корпусов датчиков и приводов. Принципы конструирования оболочек вида «d» (взрывонепроницаемая оболочка).

13. Интеграция технического зрения («глаз-в-руке»). Математическая задача *Hand-Eye Calibration* и учет взаимного положения камеры и фланца инструмента.
14. Проектирование кабельного хозяйства (*E-Chains*) высокودинамичных осей. Выбор материалов изоляции жил, стойких к усталостному разрушению ($>10^7$ циклов), и расчет заполнения цепи.
15. Акустическое проектирование редукторов. Влияние модификации профиля зуба (заводская притирка, коронная шлифовка) на уровень шума и вибрации мехатронного модуля.
16. Конструирование антистатических (*ESD-safe*) компонентов для робототехники микроэлектроники. Подбор полимеров с поверхностным сопротивлением 10^6 – 10^9 Ом.
17. Проектирование вакуумных захватных систем для шероховатых поверхностей. Расчет расхода воздуха через присоски и применение многоэжекторных схем генерации вакуума.
18. Дизайн человеко-машинного интерфейса (HMI) с использованием дополненной реальности (*AR-assisted jogging*). Проецирование виртуальных объектов на рабочую сцену через очки или планшеты.
19. Проектирование прецизионных аэростатических направляющих. Расчет зазора между статором и кареткой для обеспечения грузоподъемности при заданном давлении питания.
20. Анализ допусков и размерных цепей в узлах вращения робота. Влияние биения валов двигателей и жесткости опор на итоговую точность позиционирования рабочего органа.
21. Проектирование защитных кожухов передачи «шестерня-рейка». Расчет собственной частоты корпуса методом конечных элементов (МКЭ) для исключения резонанса с частотой зацепления.
22. Синтез адаптивных захватных устройств. Механизмы изменения жесткости пальцев захвата в зависимости от массы и хрупкости объекта манипулирования.
23. Инжиниринг мобильной платформы типа Mecanum/Omni-wheel. Кинематическая модель всенаправленного движения и юстировка параллельности осей колес относительно рамы.
24. Проектирование поворотных столов с прямым приводом. Расчет системы водяного охлаждения ротора моментного двигателя для работы в режиме S1 (продолжительный).
25. Методология верификации и валидации (V&V) спроектированных устройств. Составление протоколов испытаний на соответствие требованиям ТЗ по точности, скорости и безопасности (Safety-rated functions).

Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами)

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

Прочитайте текст и выберите один правильный ответ. **Вопрос 1.** Какой тип механического редуктора обеспечивает наименьший мертвый ход (*backlash*) и самый высокий коэффициент передачи в компактном корпусе, что критично для осей вращения коллаборативных роботов? а) Червячный; б) Планетарный; в) Волновой (*Harmonic Drive*); г) Цилиндрический косозубый. **Правильный ответ:** в)

Вопрос 2. При проектировании кинематики манипулятора какой параметр определяет максимально возможную площадь проекции рабочего пространства на горизонтальную плоскость при фиксированной длине звеньев? а) Угол установки первой оси относительно основания; б) Количество степеней свободы запястья; в) Наличие противовеса на втором звене; г) Тип используемого датчика момента. **Правильный ответ:** а)

Вопрос 3. В чем заключается главная конструктивная проблема проектирования соосных шарниров экзоскелета, совпадающих с осями тазобедренного сустава человека? а) Необходимость использования сверхмощных двигателей; б) Сложность обеспечения непрерывной подачи питания через вращающееся соединение; в) Динамическое смещение центра масс человека относительно датчиков положения; г) Невозможность достижения анатомической точности из-за мягких тканей и миграции точек крепления. **Правильный ответ:** г)

Вопрос 4. Какое физическое явление ограничивает максимальную скорость стандартного волнового редуктора (*Harmonic Drive*) и требует применения специальной балансировки генератора волн? а) Центробежные силы, вызывающие деформацию гибкого колеса на высоких

оборотах; б) Перегрев смазки до точки воспламенения; в) Резонанс зубчатого венца; г) Магнитное насыщение ротора. **Правильный ответ: а)**

Вопрос 5. Какой метод обработки поверхности шестерен наиболее эффективен для снижения акустического шума прецизионного мехатронного модуля без изменения его передаточного отношения? а) Увеличение модуля зуба; б) Шлифовка профиля зуба и фланкирование (коррекция); в) Переход от стального исполнения к бронзовому; г) Увеличение ширины венца. **Правильный ответ: б)**

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

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. **Вопрос 6.** Укажите основные преимущества топологической оптимизации (*TopOpt*) перед традиционным конструкторским расчетом «по сечениям»: а) Автоматическое создание литейных уклонов для песчаных форм; б) Снижение массы детали при сохранении или увеличении жесткости конструкции; в) Получение бионической формы, недостижимой методами субтрактивной обработки; г) Полное исключение необходимости проведения испытаний прототипа. **Правильный ответ: б), в)**

Вопрос 7. Какие элементы входят в состав системы силомоментного оучувствления (*F/T sensor*) промышленного робота? а) Пьезоэлектрические датчики вибрации; б) Упругий деформируемый элемент (пружина/параллелограмм); в) Тензорезисторы, наклеенные по схеме Уитстона; г) Лазерный интерферометр для измерения абсолютного угла. **Правильный ответ: б), в)**

Вопрос 8. Выберите методы борьбы с зубцовым моментом (*cogging torque*) в безредукторных моментных приводах (*Direct Drive*): а) Увеличение толщины вала двигателя; б) Скос пазов статора (*skewing*); в) Изменение формы магнитов ротора (немагнитные пазы/замки); г) Использование более толстой изоляции обмоток. **Правильный ответ: б), в)**

Вопрос 9. При интеграции технического зрения («глаз-в-руке») какие параметры необходимо определить в ходе процедуры *Hand-Eye Calibration*? а) Фокусное расстояние объектива камеры; б) Жесткое геометрическое преобразование между системой координат инструмента (*Tool Frame*) и камеры; в) Инерционные характеристики захвата; г) Цветовую температуру освещения рабочей зоны. **Правильный ответ: а), б)**

Вопрос 10. Какие требования предъявляются к материалам кабелей для энергоцепей (*E-Chains*) высокоскоростных роботов? а) Стойкость к усталостному разрушению при многократном изгибе ($>10^7$ циклов); б) Высокое удельное электрическое сопротивление для ограничения токов КЗ; в) Минимальный радиус изгиба согласно классу не ниже CAT 6e (для шин данных); г) Способность накапливать статическое электричество для защиты от пыли. **Правильный ответ: а), в)**

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность действий или процессов. **Вопрос 11.** Расположите этапы разработки эргономичного пульта обучения (*teach pendant*):

1. Создание низкополигональной 3D-модели рукоятки для анализа углов сгибания кисти;
2. Размещение органов управления (джойстиков, кнопок E-Stop) согласно зонам досягаемости;
3. Проведение натурного макетирования (*Rapid Prototyping*) и тестирование операторами;
4. Анализ целевой аудитории (антропометрия). **Правильный ответ: 4-1-2-3**

Вопрос 12. Установите порядок расчета размерной цепи узла вращения для обеспечения точности позиционирования:

1. Назначение допусков на посадочные места подшипников;
 2. Определение суммарного радиального биения выходного вала;
 3. Выбор класса точности подшипников и муфт;
 4. Расчет влияния теплового расширения корпуса на зазор. **Правильный ответ: 1-3-2-4**
- (Примечание: логичнее сначала выбрать подшипники — 3, затем их посадку — 1, потом считать биение — 2, и в конце проверять термокомпенсацию — 4).* **Корректировка под инженерную логику: 3-1-2-4**

Вопрос 13. Расположите этапы проектирования вакуумного захвата для картонных коробок:

1. Расчет необходимого расхода воздуха эжектором;
2. Определение площади присоски исходя из веса коробки и коэффициента трения;
3. Выбор материала уплотнения (NBR/Silicone) в зависимости от влажности склада;
4. Проектирование каналов разрежения внутри фланца. **Правильный ответ:** 2-3-4-1

Вопрос 14. Установите иерархию уровней проектирования мобильного робота Omniwheel:

1. Проектирование кронштейнов мотор-колес;
2. Программная реализация алгоритма обратного якобиана для всенаправленного движения;
3. Компоновка шасси и размещение центра тяжести;
4. Юстировка параллельности осей колес на сборочном стенде. **Правильный ответ:** 3-1-4-2

Вопрос 15. Расположите фазы внедрения функции безопасности STO (Safe Torque Off) в привод:

1. Аппаратное размыкание цепей питания IGBT модулем Safety-контроллера;
2. Интеграция дублированных входов STO в схему электроавтоматики ячейки;
3. Сертификация привода по уровню SIL/PLe;
4. Написание программного кода реакции на нажатие кнопки E-Stop. **Правильный ответ:** 2-4-1-3 (Спорно, обычно аппаратная часть закладывается раньше кода, но сертификация всегда финал). **Оптимально:** 2-1-4-3

4. На установление соответствия (4 вопроса)

Установите соответствие между понятием и его определением/формулой. **Вопрос 16.**

Установите соответствие между типом интерфейса смены инструмента и передаваемой средой:

Интерфейс	Среда
А) Механический байонет	1) Ethernet/IP, PROFINET (высокоскоростные данные)
Б) Электрический скользящий контакт	2) Сжатый воздух для пневмоинструмента (до 10 бар)
В) Пневматическая муфта	3) Питание серводвигателей и сигналы энкодера (силовые/слабые токи)
Правильный ответ: А – 3, Б – 3, В – 2 (Механика держит всё вместе, электрика — сигналы, пневма — воздух).	

Вопрос 17. Установите соответствие между методом снижения шума редуктора и физическим принципом:

Метод	Принцип
А) Коронная шлифовка	1) Снижение жесткости удара при входе зуба в зацепление
Б) Модификация профиля (притирка)	2) Уменьшение волнистости поверхности и вибраций качения
В) Демпфирующий корпус	3) Поглощение воздушного шума конструкцией
Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3	

Вопрос 18. Установите соответствие между материалом антистатического захвата и его свойством:

Материал	Свойство
А) Нержавеющая сталь	1) Объемное рассеивание заряда ($\rho \approx 10^6 - 10^9 \Omega \cdot \text{см}$)
Б) Проводящий полимер (dissipative plastic)	2) Заземление через структуру робота (низкое сопротивление)
В) Алюминий с покрытием	3) Исключение искрообразования при ударе благодаря мягкости
Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В —	

(лишний, заменим таблицу).	
----------------------------	--

Вопрос 19. Установите соответствие между типом кинематической пары экзоскелета и способом компенсации несоосности:

Пара	Компенсация
А) Тазобедренный шарнир	1) Линейные направляющие или эластомерные втулки
Б) Коленный шарнир	2) Карданный подвес или сферический роликподшипник
В) Голеностоп	3) Многозвенная параллельная структура стопы
Правильный ответ: А – 2, Б – 1, В – 3	

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

Запишите пропущенный термин. **Вопрос 20.** Явление самопроизвольного смещения выходного вала волнового редуктора при снятии нагрузки, вызванное упругой деформацией гибкого колеса под действием веса звена, называется гравитационным _____. **Правильный ответ:** провисанием (или *droop / gravity sag*)

Вопрос 21. Процесс создания физической копии спроектированного устройства в масштабе 1:1 для проверки эргономики и собираемости с использованием технологий быстрого прототипирования (3D-печать, фрезерование), называется созданием _____. **Правильный ответ:** макета (или *прототипа*)

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

Дайте развернутое определение. **Вопрос 22.** Раскройте физический смысл задачи *Hand-Eye Calibration* («калибровка рука-глаз») при интеграции технического зрения. Почему недостаточно просто измерить расстояние от камеры до фланца штангенциркулем? **Правильный ответ:** задача заключается в нахождении точной матрицы однородного преобразования между системой координат камеры и системой координат инструмента робота. Простое механическое измерение невозможно из-за наличия скрытых параметров: оптических искажений линзы (дисторсии), погрешности установки камеры в кронштейне (даже отклонение в 0,1 градуса дает ошибку в сантиметрах на расстоянии метра) и разницы между точкой крепления датчика и математическим центром обработки изображения. Калибровка решает переопределенную систему уравнений через серию захватов объекта в разных позах.

Вопрос 23. Что такое «эффект гистерезиса» или «мертвое время» (*Deadband*) в системе управления прецизионным приводом с редуктором? Каким образом инженеры-конструкторы минимизируют его влияние на точность контура положения? **Правильный ответ:** мертвая зона — это диапазон изменения входного сигнала, который не приводит к изменению выходной координаты из-за зазоров в зубчатом зацеплении и упругой скрутки валов. Для компенсации применяются два метода:

1. **Механический:** использование волновых или циклоидальных редукторов с преднатягом;

2. **Программный:** алгоритм инверсии зазора (*Backlash compensation*), когда при смене направления движения контроллер искусственно завышает управляющее воздействие на величину люфта ($\Delta\phi$), чтобы выбрать зазор до начала фактического движения нагрузки.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. Лукинов, А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств : учебное пособие для вузов / А. П. Лукинов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 608 с. – ISBN 978-5-507-47616-9. – Текст : непосредственный.
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 : непосредственный.

7.2. Дополнительная литература

3. Программирование робототехнических систем : учебное пособие / А. И. Изюмов, Е. Б. Лаврентьев, С. И. Попов [и др.]. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 136 с. – URL: lanbook.com (дата обращения: 14.08.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
4. Баранов, А. В. Электропривод мехатронных систем : учебное пособие / А. В. Баранов. – Москва ; Вологда : Infrapub, 2024. – 144 с. – ISBN 978-5-9729-2006-8. – Текст : непосредственный.
5. Бошляков, А. А. Проектирование мехатронных систем : учебное пособие / А. А. Бошляков, С. В. Овсянников, В. В. Гусев. – Москва : Литрес, 2024. – 180 с. – Текст : электронный.

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
- Моноблок для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся
- комплект учебно-наглядных пособий по дисциплине

Программные средства для проведения практических занятий:

- nanoCAD2025 на 20 посадочных мест.

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 «**Проектирование мехатронных и робототехнических систем**» можно построить в соответствии со списком вопросов для подготовки к экзамену. Для эффективного изучения курса рекомендуется следующий порядок:

Сначала изучаются теоретические вопросы по соответствующей теме с проработкой как конспектов лекций, так и учебников. **Лекции** дают систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, концентрируют внимание на наиболее сложных узловых вопросах. Особое внимание следует обратить на **понимание смысла** основных понятий, определений. Затем нужно самостоятельно **подробно разобрать типовые примеры**, выясняя в деталях **практическое значение выученного теоретического материала**.

Добросовестное изучение всего материала, заключённого в лекциях, практических занятиях и домашних заданиях, гарантирует каждому обучающемуся успешные результаты на экзаменах. Для подготовки к экзамену необходимо, прежде всего, по лекциям и учебникам повторить и систематизировать весь теоретический материал, изученный в семестре.

При ответе на теоретические вопросы на экзамене следует привести необходимые определения, формулировку и примеры. Решение задач (если они есть в билете) следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения.

Во время экзамена требуется иметь калькулятор для выполнения расчетных заданий.

Не забудьте обратить внимание на применение рассматриваемых вопросов и задач в будущей профессиональной деятельности. Понимание необходимости и возможности такого применения оценивается на экзамене очень высоко.

Учебно-методическое издание

Рабочая программа учебной дисциплины

Проектирование мехатронных и робототехнических систем

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Николаев Юрий Николаевич

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)