



Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волгоградский институт бизнеса»

Рабочая программа учебной дисциплины

Оптимальное управление мехатронными системами

(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	9
Раздел 5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся.....	11
Раздел 6. Оценочные средства промежуточной аттестации (с ключами).....	15
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	22

Раздел 1. Организационно-методический раздел

1.1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Оптимальное управление мехатронными системами» 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-2 Способен осуществлять организационно-методическое сопровождение эксплуатации гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий

Дескрипторы универсальной компетенции:

ПК-2.1 Способен осуществлять организационно-методическое обеспечение технического обслуживания и планового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий;

ПК-2.2 Способен обеспечивать организацию непланового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий.

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: 40.148 Специалист по эксплуатации гибких производственных систем в машиностроении	ПК-2.1 Способен осуществлять организационно-методическое обеспечение технического обслуживания и планового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий;	Знает: ИД 1 ПК.2.1 Принцип работы, технические характеристики, конструктивные особенности гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, требования к структуре, содержанию и оформлению технической документации по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, принципы и порядок разработки планов технического обслуживания и ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий ПС 40.148 В/01.6; ИД 2 ПК.2.2 Методические, нормативно-технические и руководящие материалы по организации ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий 40.148 В/02.6. Умеет: ИД 3 ПК.2.1 Составлять план
	ПК-2.2 Способен обеспечивать организацию непланового ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий.	

		мероприятий по совершенствованию системы обслуживания и ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, составлять планы технического обслуживания, ремонта и определительных испытаний гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий 40.148 В/01.6; ИД 4 ПК.2.2 Составлять акты о повреждениях и отчеты о внеплановых простоях гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, устанавливать причины возникновения дефектов, просматривать запланированные работы, контролировать сроки выполнения работ, определять назначенные ресурсы, очередность выполнения работ, подавать заявки на внесение изменений в очередность работ, отмечать выполнение работ, готовить отчеты о выполненных работах с использованием прикладных программ управления проектами 40.148 В/02.6. Имеет навыки: ИД 5 ПК.2.1 Составления планов мероприятий по совершенствованию системы обслуживания и ремонта гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, составления планов технического обслуживания, ремонта и определительных испытаний гибких производственных роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий 40.148 В/01.6; ИД 6 ПК.2.2 Составления актов о повреждениях и отчетов о внеплановых простоях гибких производственных
--	--	---

		роботизированных систем, робототехнических комплексов и изделий, установления причин возникновения дефектов, контроля хода выполнения запланированных работ, сроков их выполнения, определения назначенных ресурсов, очередности выполнения работ, подачи заявок на внесение изменений в очередность работ, учету фактического выполнения работ, подготовки отчетов о выполненных работах с использованием прикладных программ управления проектами 40.148 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	Помехоустойчивость мехатронных и робототехнических систем

1.3. Нормативная документация

Рабочая программа учебной дисциплины составлена на основе:

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

Раздел 2. Тематический план

Очная форма обучения (полный срок)

№	Тема дисциплины	Трудоемкость				
		Все го	Аудиторные занятия		СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
			Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1. Введение в теорию оптимального управления.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
2	Тема 2. Классические методы безусловной оптимизации.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
3	Тема 3. Оптимизация при наличии ограничений. Метод множителей Лагранжа.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
4	Тема 4. Параметрическая оптимизация законов управления электроприводами.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
5	Тема 5. Динамическое программирование Беллмана и принцип максимума Понтрягина.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
6	Тема 6. Стохастические и биоинспирированные методы оптимизации.	14	2	2	10	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
7	Тема 7. Планирование оптимальных траекторий движения роботов.	12	2	2	8	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
8	Тема 8. Многокритериальная оптимизация и принятие решений.	12	2	2	8	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
Вид промежуточной аттестации(Зачет)		+				
Итого		108	16	16	76	

Раздел 3. Содержание дисциплины

3.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в теорию оптимального управления. Постановка задачи математического программирования. Классификация задач (статические, динамические). Критерии оптимальности (функционал качества). Условия Вейерштрасса и Эйлера-Лагранжа.

Тема 2. Классические методы безусловной оптимизации. Градиентные методы (наискорейшего спуска, сопряженных градиентов). Метод Ньютона и квазиньютоновские методы (BFGS). Анализ сходимости для овражных функций.

Тема 3. Оптимизация при наличии ограничений. Метод множителей Лагранжа. Условия Куна-Таккера (KKT). Методы штрафных функций и барьеров для трансформации условной задачи в безусловную.

Тема 4. Параметрическая оптимизация законов управления электроприводами. Настройка ПИД-регуляторов методами Зиглера-Николса и Чина-Хронеса-Ресвика. Автоматический тюнинг по интегральным критериям *ISE*, *ITAE*.

Тема 5. Динамическое программирование Беллмана и принцип максимума Понтрягина. Решение уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана. Применение к задаче минимального времени (*Time Optimal Control*) перемещения манипулятора.

Тема 6. Стохастические и биоинспирированные методы оптимизации. Генетические алгоритмы (GA), метод роя частиц (PSO), имитация отжига (SA). Применение для настройки нейросетевых предикторов и нечетких контроллеров.

Тема 7. Планирование оптимальных траекторий движения роботов. Минимизация времени (*TOPP — Time Optimal Path Parameterization*), энергии и вибраций рабочего органа. Обход препятствий методом потенциалов или RRT.

Тема 8. Многокритериальная оптимизация и принятие решений. Построение Парето-фронта. Линейная свертка критериев и метод главного критерия при выборе элементной базы мехатронного модуля.

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 оптимального управления.
ПЗ 2	Тема 2. Классические методы безусловной оптимизации.
ПЗ 3, 4	Тема 3. Оптимизация при наличии ограничений. Метод множителей Лагранжа.
ПЗ 5	Тема 4. Параметрическая оптимизация законов управления электроприводами.
ПЗ 6, 7	Тема 5. Динамическое программирование Беллмана и принцип максимума Понтрягина.
ПЗ 8	Тема 6. Стохастические и биоинспирированные методы оптимизации.

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 оптимального управления.	ПЗ	Метод кейсов	75
2	Тема 2. Классические методы безусловной оптимизации.	Л	Лекция-ситуация	25
3	Тема 3. Оптимизация при наличии	ПЗ	Метод кейсов	75

	ограничений. Метод множителей Лагранжа.			
4	Тема 4. Параметрическая оптимизация законов управления электроприводами.	ПЗ	Мозговой штурм	25
5	Тема 5. Динамическое программирование Беллмана и принцип максимума Понтрягина.	Л	Мозговой штурм	50
6	Тема 6. Стохастические и биоинспирированные методы оптимизации.	ПЗ	Метод кейсов	75
7	Тема 7. Планирование оптимальных траекторий движения роботов.	ПЗ	Метод кейсов	75
8	Тема 8. Многокритериальная оптимизация и принятие решений.	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 оптимального управления.	1, 2	1, 3, 5
2	Тема 2. Классические методы безусловной оптимизации.	3, 4, 5, 6	1, 3, 5
3	Тема 3. Оптимизация при наличии ограничений. Метод множителей Лагранжа.	7, 8, 9	3, 4, 5
4	Тема 4. Параметрическая оптимизация законов управления электроприводами.	10, 11, 12, 13	2, 3, 4, 5
5	Тема 5. Динамическое программирование Беллмана и принцип максимума Понтрягина.	14, 15, 16	3, 4, 5
6	Тема 6. Стохастические и биоинспирированные методы оптимизации.	17, 18	2, 3, 5
7	Тема 7. Планирование оптимальных траекторий движения роботов.	19-25	1, 3, 5
8	Тема 8. Многокритериальная оптимизация и принятие решений.	26, 27, 28	2, 3, 5, 6

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельную работу обучающихся

- 1. Применение метода множителей Лагранжа для синтеза систем управления с ограничениями.** Удержание токов фаз двигателя в заданной эллиптической области (current constraint circle) без использования насыщения интегратора.
- 2. Оптимизация энергопотребления автономного мобильного робота:** поиск энергоэффективной траектории методом динамического программирования Беллмана с учетом профиля местности и расхода батареи.
- 3. Генетические алгоритмы для настройки весовых матриц LQR-регулятора.** Построение Парето-фронта между быстродействием системы (время установления) и энергозатратами на управление.
- 4. Метод роя частиц (PSO) для идентификации параметров математической модели электропривода.** Онлайн-подстройка коэффициентов вязкого трения и момента инерции во время работы механизма.
- 5. Минимизация вибраций рабочего органа при останове (Input Shaping).** Оптимизация временных интервалов и амплитуд импульсов подавления резонанса для гибких звеньев манипулятора.
- 6. Стохастическая оптимизация законов нечеткого управления (Fuzzy Control).** Настройка функций принадлежности входных/выходных переменных с помощью алгоритма имитации отжига (Simulated Annealing).
- 7. Робастная оптимизация параметров регулятора методом Монте-Карло.** Поиск таких настроек контроллера, которые обеспечивают устойчивость замкнутой системы при разбросе параметров нагрузки до $\pm 30\%$.
- 8. Решение задачи коммивояжера для сервисного робота логистического склада.** Сравнение точности классического метода ветвей и границ и приближенного нейросетевого метода эластичной сети.
- 9. Многоагентная оптимизация поведения группы микророботов.** Распределение поисковых усилий стайным интеллектом (Ant Colony Optimization) для картографирования неизвестного помещения за минимальное время.
- 10. Оптимизация траектории сварочного робота с учетом ограничений по току и моменту.** Расстановка дополнительных промежуточных точек (waypoints) для минимизации суммарного времени цикла без превышения перегрузок.

11. **Синтез адаптивного ПИД-регулятора с использованием эталонной модели (MRAC).** Градиентный алгоритм подстройки коэффициентов для компенсации изменения массы полезной нагрузки «на лету».

12. **Методы активного гашения упругих колебаний в режиме реального времени.** Алгоритмы *Waveform Command Shaping*, учитывающие изменение резонансной частоты конструкции при перемещении груза.

13. **Оптимальное распределение энергии в гибридном приводе (ДВС + электромотор).** Использование принципа максимума Понтрягина для расчета моментов переключения режимов тяги с целью минимизации токсичности выхлопа.

14. **Глобальная оптимизация топологии расположения датчиков в мехатронной системе.** Выбор мест установки энкодеров и акселерометров для максимальной наблюдаемости состояний объекта при ограниченном бюджете.

15. **Управление многозвенным манипулятором в избыточных степенях свободы.** Применение нуль-пространства якобиана для выполнения вторичных задач оптимизации (например, избегание препятствий или сингулярностей) при следовании основной траектории.

4.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

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

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

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

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

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Оценочные средства			
		Л	ПЗ (ЛЗ, СЗ)	СРО	Код индикатора и дескриптора достижения компетенций
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1. Введение в теорию оптимального управления.	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
2	Тема 2. Классические методы безусловной оптимизации.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
3	Тема 3. Оптимизация при наличии ограничений. Метод множителей Лагранжа.	ЛС	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
4	Тема 4. Параметрическая оптимизация законов управления электроприводами.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
5	Тема 5. Динамическое программирование Беллмана и принцип максимума Понтрягина.	УО	МШ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
6	Тема 6. Стохастические и биоинспирированные методы оптимизации.	УО		ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
7	Тема 7. Планирование оптимальных траекторий движения роботов.	УО	КМ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2

8	Тема 8. Многокритериальная оптимизация и принятие решений.	УО	ДИ	ПРВ	ИД 1 ПК.2.1 ИД 2 ПК.2.2 ИД 3 ПК.2.1 ИД 4 ПК.2.2 ИД 5 ПК.2.1 ИД 6 ПК.2.2
---	--	----	----	-----	--

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. **Градиентная настройка ПИ-регулятора скорости в MATLAB/Python.** Дана передаточная функция объекта $W_o(s) = 100.05s + 1$, $W_o(s) = \frac{10}{0.05s + 1}$. Задача: реализовать алгоритм наискорейшего спуска для минимизации квадратичного критерия качества $J = \int_0^T e^2(t) dt$. Найти оптимальные коэффициенты K_{pK_r} и K_{iK_i} , начиная с произвольной точки.

2. **Оптимизация траектории методом Time-Optimal Path Parameterization (TOPP).** Задана геометрическая траектория манипулятора $\theta(s)$. Известны пределы моментов двигателей $|M_i| \leq M_{\max}$ и инерционная матрица. Задача: рассчитать профиль изменения параметра пути $s(t)$, обеспечивающий прохождение траектории за минимальное время без превышения силовых ограничений.

3. **Параметрический синтез методом Хука-Дживса (безградиентный поиск).** Для системы управления третьего порядка необходимо настроить коэффициент усиления ККК так, чтобы обеспечить показатель перерегулирования $\sigma < 10\%$ и время регулирования $t_p < 2t_p < 2$ с. Задача: написать скрипт прямого поиска, не вычисляя производные целевой функции.

4. **Размерная оптимизация плоского четырехзвенного механизма.** Цель: минимизировать массу звеньев шарнирного механизма при условии передачи усилия $F = 500$ Н под углом 90 градусов без заклинивания. Ограничения: габариты рабочего пространства. Решить задачу средствами Excel Solver или библиотеки SciPy.

5. **Применение генетического алгоритма для настройки весов LQR-регулятора перевернутого маятника.** Задача: использовать ГА для подбора элементов диагональных матриц Q и R , которые минимизируют взвешенную сумму времени установления и затраченной энергии управления.

6. **Планирование пути мобильного робота методом штрафных функций.** Робот находится в точке А, цель — точка Б. На карте заданы три круглых препятствия. Задача: сформулировать функцию стоимости как сумму длины пути и штрафов за приближение к препятствиям. Найти оптимальный путь методом градиентного спуска.

7. **Решение задачи линейного программирования симплекс-методом.** Оптимизация раскроя материала для производства корпусов мехатронных модулей. Дано: запасы алюминия, требования по количеству изделий трех типов, прибыль от каждого типа. Задача: составить модель ЛП и найти план производства, максимизирующий прибыль.

8. **Идентификация параметров двигателя методом наименьших квадратов (МНК).** Имеется массив экспериментальных данных «входное напряжение – угловая скорость» электропривода. Задача: составить переопределенную систему уравнений $Ax = b$ и найти

оценки статического коэффициента передачи и постоянной времени, минимизируя норму ошибки.

9. **Оптимизация профиля движения S-кривой для оси станка с ЧПУ.** Заданы ограничения: максимальная скорость $V_{\max}$, максимальное ускорение $A_{\max}$, максимальный рывок $J_{\max}$. Задача: рассчитать длительности семи фаз движения, чтобы переместить рабочий орган ровно на 500 мм.

10. **Метод имитации отжига (Simulated Annealing) для глобальной оптимизации.** Целевая функция имеет множество локальных минимумов (например, функция Растригина). Задача: запрограммировать график охлаждения и вероятностный критерий принятия худшего решения для нахождения глобального экстремума.

11. **Многокритериальная оптимизация привода колеса робота.** Конфликт критериев: минимальный диаметр мотор-редуктора против максимального КПД. Задача: построить Парето-фронт для базы данных из 20 коммерческих приводов, используя метод взвешенных сумм с варьируемым весом.

12. **Структурная оптимизация топологии кронштейна (TopOpt).** В CAE-системе задана область проектирования с точками закрепления и приложения силы. Задача: выполнить итерационное удаление неэффективного материала для получения бионической формы детали.

13. **Настройка нейрорегулятора алгоритмом роя частиц (PSO).** Обучить двухслойную нейронную сеть заменять собой классический регулятор обратной связи для нелинейного привода с сухим трением. Целевая функция PSO — минимизация интегральной абсолютной ошибки (IAE).

14. **Оптимизация энергопотребления при циклическом движении.** Манипулятор выполняет повторяющуюся операцию «взять-перенести-отпустить». Задача: подобрать моменты переключения между максимальной скоростью и режимом дрейфа (coasting), чтобы суммарные потери Джоуля ($I^2 R t$) за цикл были минимальны.

15. **Робастная оптимизация методом Монте-Карло.** Параметры нагрузки мехатронного модуля (масса заготовки) могут меняться случайным образом в диапазоне $\pm 25\%$. Задача: найти такие фиксированные параметры ПИД-регулятора, при которых система остается устойчивой в 99% из 1000 случайных сценариев моделирования.

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. **Применение принципа максимума Понтрягина для задачи минимального времени (Time-Optimal Control) позиционирования оси мехатронного модуля.** Анализ структуры оптимального управления (релейный характер сигнала) и влияние ограничений по напряжению и току.

2. **Динамическое программирование Беллмана в задачах планирования пути мобильных роботов.** Сравнение вычислительной сложности классического алгоритма и методов аппроксимации функции стоимости (Value Function Approximation).

3. **Стохастическая оптимизация параметров нейросетевых предикторов в системах управления с моделью (Model Predictive Control — MPC).** Использование генетических алгоритмов для настройки горизонта предсказания и весовых коэффициентов регулятора.

4. **Методы активного подавления упругих колебаний (Input Shaping) в гибких звеньях манипуляторов.** Оптимизация временных интервалов импульсов для гашения вибраций при изменении нагрузки на захватном устройстве.

5. **Робастная оптимизация законов управления при параметрической неопределенности объекта.** Применение метода Монте-Карло для синтеза регуляторов, сохраняющих устойчивость при разбросе момента инерции нагрузки до 40%.

6. **Многокритериальная оптимизация траекторий промышленных роботов: конфликт между минимальным временем цикла и минимальным энергопотреблением.** Построение Парето-фронта и выбор компромиссного решения методом анализа иерархий (AHP).

7. **Управление распределенными параметрами: оптимальное нагревание массивных деталей индукционными установками.** Решение уравнения теплопроводности с подвижным источником энергии и ограничением на максимальную температуру поверхности.
8. **Адаптивное управление эталонной моделью (MRAC) для сервоприводов с переменной нагрузкой.** Градиентные алгоритмы подстройки коэффициентов адаптера и анализ устойчивости процесса адаптации по теореме о гиперустойчивости.
9. **Оптимальное распределение ресурсов в группе микроботов (Swarm Intelligence).** Алгоритмы «муравьиной колонии» (ACO) для поиска кратчайших путей к целям при динамическом изменении карты местности.
10. **Линейно-квадратичный гауссовский регулятор (LQG) для оценки состояния неизмеряемых координат.** Совместное использование фильтра Калмана и LQR-регулятора, оптимизация матрицы шумов датчиков для повышения точности слежения.
11. **Глобальная оптимизация топологии расположения датчиков в мехатронной системе.** Выбор мест установки энкодеров и акселерометров для достижения максимальной наблюдаемости мод конструкции при ограниченном количестве сенсоров.
12. **Метод обратных задач динамики (Computed Torque Control) в сочетании с оптимальным управлением возмущениями.** Компенсация нелинейностей модели робота и минимизация влияния внешних сил (трения, ветра) на точность позиционирования.
13. **Энергоменеджмент гибридных роботизированных платформ (аккумулятор + суперконденсатор).** Стратегии рекуперации и мгновенного пикового потребления тока, сформулированные как задача выпуклой оптимизации.
14. **Синтез систем с переменной структурой (Sliding Mode Control — SMC) с учетом ограничения на частоту переключения коммутирующего элемента.** Борьба с эффектом «дребезга» (*chattering*) методами пограничного слоя или непрерывной аппроксимации знака.
15. **Оптимизация циклов работы многоосевых станков с ЧПУ через планирование последовательности обработки деталей (Job Shop Scheduling).** Минимизация суммарного времени переналадки инструмента и холостых перемещений рабочих органов.

5.4. Перечень вопросов промежуточной аттестации по дисциплине

Список вопросов для зачета

1. Постановка задачи оптимального управления (ОУ). Классификация задач: статические и динамические, вариационные и параметрические.
2. Критерии оптимальности (функционалы качества). Интегральные квадратичные критерии (*ISE*, *ITAE*, *ITSE*) и их физический смысл в контексте мехатроники.
3. Условия экстремума функционала. Уравнение Эйлера-Лагранжа для задач с закрепленными концами.
4. Принцип максимума Понтрягина. Функция Гамильтона и необходимые условия оптимальности для систем высокого порядка.
5. Задача о минимальном времени (*Time-Optimal Control*) перемещения материальной точки. Структура релейного оптимального управления.
6. Динамическое программирование Беллмана. Уравнение Гамильтона-Якоби-Беллмана и его применение к дискретным системам.
7. Классические методы безусловной оптимизации: градиентный метод наискорейшего спуска. Геометрическая интерпретация и выбор шага.
8. Метод сопряженных градиентов Флетчера-Ривса. Преимущества перед обычным наискорейшим спуском для овражных целевых функций.
9. Прямые методы поиска экстремума без вычисления производных: алгоритм Хука-Дживса (исследующий и рабочий шаги).
10. Симплекс-метод Нелдера-Мида как метод прямого поиска минимума многомерной функции. Операции отражения, растяжения и сжатия симплекса.
11. Задачи условной оптимизации. Метод штрафных функций: трансформация ограничений-неравенств в аддитивную составляющую критерия.
12. Метод множителей Лагранжа. Условия Куна-Таккера (ККТ) для задач с ограничениями-неравенствами.

13. Стохастические методы глобальной оптимизации. Генетические алгоритмы (GA): структура хромосомы, операторы скрещивания и мутации.
14. Метод роя частиц (*Particle Swarm Optimization — PSO*). Обновление скоростей и позиций агентов. Отличие от ГА в непрерывной оптимизации параметров привода.
15. Имитация отжига (*Simulated Annealing*) для поиска глобального экстремума многоэкстремальных функций. Влияние графика охлаждения на вероятность принятия худшего решения.
16. Многокритериальная оптимизация. Понятие Парето-оптимальности. Метод взвешенной суммы критериев и ε -ограничений.
17. Параметрическая оптимизация законов управления электроприводами. Тюнинг ПИД-регуляторов по интегральным критериям качества при ступенчатом входном воздействии.
18. Оптимальное управление линейными системами по квадратичному критерию (*LQR*). Алгебраическое уравнение Риккати и роль весовых матриц Q и R .
19. Робастная оптимизация регуляторов при параметрической неопределенности объекта. Метод Монте-Карло для оценки запасов устойчивости.
20. Планирование оптимальной траектории манипулятора (*Trajectory Planning*). Минимизация времени прохождения пути (*TOPT*) при ограничениях моментов двигателей.
21. Оптимизация профиля скорости S-кривой (*S-curve profiling*). Ограничение рывка (*jerk*) и его влияние на динамические нагрузки конструкции.
22. Адаптивное управление эталонной моделью (*MRAC*). Градиентные алгоритмы подстройки коэффициентов адаптера и анализ устойчивости процесса адаптации.
23. Управление с прогнозирующей моделью (*MPC — Model Predictive Control*). Формулировка задачи квадратичного программирования (*QP*) на каждом такте управления.
24. Оптимизация энергопотребления автономных мобильных роботов. Стратегии рекуперации энергии при торможении и распределение потоков между батареей и суперконденсатором.
25. Идентификация параметров объектов управления методом наименьших квадратов (МНК). Переопределенные системы линейных алгебраических уравнений и псевдообратная матрица Мура-Пенроуза.

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 математический критерий качества управления penalizes (штрафует) большие значения управляющего сигнала в установившемся режиме, стремясь минимизировать энергозатраты? а) ISE (интеграл квадрата ошибки); б) ITSE (интеграл произведения времени на квадрат ошибки); в) Интеграл квадрата управляющего воздействия $J = \int_0^\infty u^2(t) dt$; г) Степень устойчивости. **Правильный ответ:** в)

Вопрос 2. В задаче условной оптимизации какой метод преобразует ограничения-неравенства вида $g(x) \leq 0$ в аддитивную добавку к целевой функции, используя коэффициент штрафа μ ? а) Метод множителей Лагранжа; б) Метод штрафных функций; в) Симплекс-метод; г) Градиентный спуск. **Правильный ответ:** б)

Вопрос 3. При настройке ПИД-регулятора методом Циглера-Николса по критическому усилению ($K_{кр}$) и критическому периоду колебаний ($T_{кр}$), чему пропорциональна рекомендуемая постоянная интегрирования T_i ? а) $T_{кр}$; б) $0.5 \cdot T_{кр}$; в) $2 \cdot K_{кр} \cdot T_{кр}$; г) $K_{кр} / T_{кр}$. **Правильный ответ:** б)

Вопрос 4. Какое условие является достаточным для того, чтобы точка была точкой локального минимума дважды дифференцируемой функции многих переменных? а) Градиент равен нулю ($\nabla f = 0$); б) Матрица Гессе положительно определена во всех направлениях; в) Матрица Гессе отрицательно определена; г) Функция выпукла только вдоль одной оси. **Правильный ответ:** б)

Вопрос 5. В структуре системы подчиненного регулирования координат электропривода оптимизация какого контура обычно выполняется первой при движении «изнутри наружу»? а)

Контур положения; б) Контур скорости; в) Контур тока (момента); г) Контур ЭДС. **Правильный ответ: в)**

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

Прочитайте текст и выберите два правильных ответа. **Вопрос 6.** Укажите операторы, используемые в классическом генетическом алгоритме для модификации популяции решений: а) Скрещивание (Crossover); б) Вычисление градиента; в) Мутация (Mutation); г) Интерполяция Ньютона. **Правильный ответ: а), в)**

Вопрос 7. Какие из перечисленных задач относятся к многокритериальной оптимизации мехатронного модуля? а) Минимизация массы звена при сохранении жесткости не ниже заданной; б) Поиск единственного корня уравнения $f(x)=0$; в) Максимизация грузоподъемности робота при минимизации потребляемой мощности; г) Решение системы линейных уравнений $Ax=b$. **Правильный ответ: а), в)**

Вопрос 8. Выберите методы безусловной оптимизации первого порядка, использующие информацию о производных: а) Метод Хука-Дживса; б) Наискорейший спуск; в) Метод сопряженных градиентов; г) Метод Нелдера-Мида. **Правильный ответ: б), в)**

Вопрос 9. Какие параметры определяют баланс между точностью слежения и энергопотреблением в LQR-регуляторе? а) Собственные числа матрицы объекта AAA; б) Элементы весовой матрицы состояния QQQ; в) Элементы весовой матрицы управления RRR; г) Шаг дискретизации АЦП. **Правильный ответ: б), в)**

Вопрос 10. При планировании пути мобильного робота какие условия должны выполняться для точки, находящейся внутри препятствия, если используется метод потенциалов? а) Значение функции потенциала должно быть меньше нуля; б) Робот должен испытывать отталкивающую силу от этой точки; в) Градиент функции потенциала должен быть направлен от центра препятствия; г) Скорость робота должна стать равной нулю. **Правильный ответ: б), в)**

3. На установление последовательности (5 вопросов)

Укажите правильную последовательность действий или процессов. **Вопрос 11.** Расположите этапы работы симплекс-метода Нелдера-Мида для поиска минимума функции:

1. Сортировка вершин симплекса по значению функции (лучшая — худшая);
2. Отражение худшей вершины относительно центроида остальных;
3. Инициализация начального симплекса из $n+1$ точек;
4. Проверка критерия останова (размер симплекса). **Правильный ответ: 3-1-2-4**

Вопрос 12. Установите порядок операций в итерации метода наискорейшего спуска:

1. Вычисление направления движения как антиградиента $-\nabla f(x_k)$;
2. Выбор оптимального шага α_k путем одномерной минимизации;
3. Обновление текущей точки $x_{k+1} = x_k + \alpha_k p_k$.

pk;

4. Расчет градиента функции в новой точке. **Правильный ответ: 1-2-3-4**

Вопрос 13. Расположите фазы выполнения генетического алгоритма в хронологическом порядке одного поколения:

1. Оценка приспособленности (Fitness function) хромосом;
2. Генерация начальной случайной популяции;
3. Применение операторов скрещивания и мутации;
4. Селекция родителей (выбор лучших особей). **Правильный ответ: 2-1-4-3**

Вопрос 14. Установите иерархию уровней оптимизации при проектировании промышленного робота:

1. Оптимизация параметров регуляторов приводов осей;
2. Топологическая оптимизация формы несущего звена («руки»);
3. Оптимизация траектории перемещения захвата для минимизации цикла;
4. Выбор кинематической схемы (антропоморфная, SCARA, дельта). **Правильный**

ответ: 4-2-3-1

Вопрос 15. Расположите шаги решения задачи Time-Optimal Path Parameterization (TOPP):

1. Формирование ограничений на ускорение параметра пути в виде неравенств;
2. Задание геометрической кривой $\theta(s)$ в пространстве конфигураций;

3. Численное интегрирование профиля скорости $s'(t)\dot{s}(t)s'(t)$ для получения $s(t)s(t)s(t)$;

4. Нахождение максимально возможной $s''\ddot{s}s''$ и $s'\dot{s}s'$ в каждой точке sss .

Правильный ответ: 2-1-4-3

5. **4. На установление соответствия (4 вопроса)**

6. Установите соответствие между понятием и его определением/формулой.

Вопрос 16. Установите соответствие между типом экстремума и характеристикой матрицы Гессе ННН в данной точке:

Тип точки	Свойство матрицы Гессе
А) Локальный минимум	1) Все собственные числа отрицательны
Б) Локальный максимум	2) Имеются как положительные, так и отрицательные собственные числа
В) Седловая точка	3) Все собственные числа положительны
Правильный ответ: А – 3, Б – 1, В – 2	

7. **Вопрос 17.** Установите соответствие между стохастическим алгоритмом и метафорой/природным процессом, лежащим в его основе:

Алгоритм	Метафора
А) Имитация отжига (<i>Simulated Annealing</i>)	1) Колония муравьев, ищущих кратчайший путь к пище
Б) Рой частиц (<i>PSO</i>)	2) Кристаллизация металла при медленном остывании
В) Муравьиный алгоритм (<i>ACO</i>)	3) Стая птиц, следующая за лидером к цели
Правильный ответ: А – 2, Б – 3, В – 1	

8. **Вопрос 18.** Установите соответствие между интегральным критерием качества и тем, на что он сильнее всего влияет при настройке САУ:

Критерий	Основной эффект
А) IAE ($\int e$)	е
Б) ISE ($\int e^2 dt$)	2) Быстрая компенсация малых ошибок большой длительности
В) ITAE ($\int t e$)	е
Правильный ответ: А – 3, Б – 1, В – 2	

9. **Вопрос 19.** Установите соответствие между компонентом частицы в PSO и его ролью в формуле обновления скорости:

Компонент	Роль
А) Текущая скорость ($v_i(t)v_i(t)$)	1) Движение к глобально лучшему решению всей стаи ($G_{best}G_{best}G_{best}$)
Б) Когнитивная составляющая	2) Инерция, сохранение текущего направления полета
В) Социальная составляющая	3) Возврат к собственной лучшей найденной позиции ($P_{best}P_{best}P_{best}$)
Правильный ответ: А – 2, Б – 3, В – 1	

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

11. Запишите пропущенный термин. **Вопрос 20.** Точка, в которой градиент целевой функции равен нулю ($\nabla f(x)=0$), но которая не является ни минимумом, ни максимумом, называется _____ точкой. **Правильный ответ:** седловой

12. **Вопрос 21.** В топологической оптимизации параметр, принимающий значения 0 (пустота) или 1 (материал) в каждом конечном элементе сетки, часто обозначается греческой буквой _____. **Правильный ответ:** ρ (или плотность)

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

14. Дайте развернутое определение. **Вопрос 22.** Раскройте физический смысл принципа оптимальности Беллмана в динамическом программировании. Почему решение глобальной

задачи распадается на последовательность локальных шагов? **Правильный ответ:** принцип гласит: независимо от того, каким образом система пришла в текущее состояние, оставшиеся решения должны составлять оптимальный план именно относительно этого текущего состояния. Это позволяет разбить сложную многошаговую задачу на цепочку одношаговых подзадач, где стоимость перехода плюс оптимальная стоимость из следующей точки всегда дают глобальный минимум.

15. **Вопрос 23.** Что такое число обусловленности матрицы Якоби роботизированного манипулятора? Каким образом оптимизация конструкции направлена на улучшение этого показателя? **Правильный ответ:** число обусловленности характеризует чувствительность скоростей рабочего органа к скоростям двигателей и определяет анизотропность (неравномерность) свойств робота в разных направлениях. Оптимизация направлена на минимизацию числа обусловленности (стремление к единице) для достижения кинематической изотропности, когда манипулятор одинаково легко и точно движется в любом направлении рабочей зоны.

Раздел 7. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Основная литература

1. 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.

2. Рачков, М. Ю. Оптимальное управление в технических системах : учебное пособие для вузов / М. Ю. Рачков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 120 с. – ISBN 978-5-534-09144-1.

7.2. Дополнительная литература

3. Клепиков, В. В. Мехатроника и робототехника (по отраслям) : учебник / В. В. Клепиков, А. Н. Бодров. – Москва : Издательство Форум, 2025. – 860 с. – ISBN (электронный).

4. 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.

6. Архипов, М. В. Промышленные роботы: управление манипуляционными роботами : учебное пособие для вузов / М. В. Архипов, М. В. Вартаков, Р. С. Мищенко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 170 с. – ISBN 978-5-534-13082-9.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

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

Раздел 8. Материально-техническая база и информационные технологии

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

Учебная аудитория оборудована:

- Стол для преподавателя
- Стул для преподавателя
- Столы для обучающихся
- Стулья для обучающихся
- Компьютер для преподавателя с выходом в интернет
- ЖК панель
- Компьютеры для обучающихся
- Симулятор БПЛА «AgroTechSim»

на 10 рабочих мест

- Симулятор БПЛА «DJI Simulator» на 20 рабочих мест

- Симулятор «FlightGear»

на 20 рабочих мест

- Симулятор «AirSim» на 20 рабочих мест

- Пульт дистанционного управления «RadioMaster TX12 MK2 ELRS» – 10 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI MR1SD25» – 10 шт.

- Пульт дистанционного управления «FLYSKY SM001» - 2 шт.

- Пульт дистанционного управления «BETA FPV» - 13 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI RC-N1 от DJI MAVIC MINI 2» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC 2 от DJI AVATA» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI FPV RC

3 от DJI NEO» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI RC1B от DJI MAVIC 2 PRO» - 1 шт.

- Пульт дистанционного управления «DJI GL300L от DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL» -

1 шт.

- VR FPV шлем «LS008D 5,8G» – 5 шт.

- VR FPV шлем «DMKR 008D PRO 5,8G» – 5 шт.

- Очки VR FPV DJI Googles N3 - 1 шт.

- Очки VR FPV DJI Googles 2 - 1 шт.

- Шлем VR BETA FPV - 10 шт.

- Видеоадаптер HDMI to AV, HDMI кабель (для подключения очков к симулятору) – 10 шт.

- Квадрокоптер DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт

- Квадрокоптер DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- Квадрокоптер DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- Квадрокоптер DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

- БПЛА смешанного типа «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- БПЛА смешанного типа «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- БПЛА самолетного типа «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- БПЛА самолетного типа «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.

- Учебный Квадрокоптер ручного управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа) – 8 шт.

- Учебный Квадрокоптер ручного управления Happy Model Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа) – 10 шт.

- Учебный Квадрокоптер BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного

типа) – 3 шт.

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного

типа) – 3 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»
2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»
3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»
4. FPV камера «Caddx Ratel 2»
5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»
6. Складной пропеллер «DALPROP 7inch»
7. Комплект электромоторов (4шт.) «iFlight XING 2806.5 1800KV»

- Комплект для самостоятельной сборки FPV 7-дюймового квадрокоптера (БВС вертолетного типа) – 2 шт.:

1. Корпус (рама) из углеродного волокна (карбон) 7 дюймов «Mark4 7inch»;
2. Видео-передатчик «VTX TS582000 5.8ГГц 2Вт»;
3. Полетный контроллер «SpeedyBee F405V3 50A»;
4. FPV камера «Caddx Ratel 2»;
5. Радиоприемник «Bauck ELRS 2.4»;
6. Комплект Складных пропеллеров (4шт.) «DALPROP 7inch»;
7. Комплект электромоторов (4шт.) «Brotherhobby 2806.5 1920KV»

- Комплект средств и инструментов для технического обслуживания БАС - (10 шт.):

1. Термостойкий коврик для пайки и ремонта электроники
2. Паяльный набор инструментов (паяльник, набор наконечников, губка для чистки жала, проволока для пайки, пинцет, нож для снятия изоляции, припой, экстрактор припоя, подставка под паяльник, гель флюс, мультиметр, средство сухой очистки жала, средство влажной очистки жала, кусачки)

3. Набор инструментов для ремонта электроники (набор лопаток 8 шт., нож, набор магнитных отверток 8 шт., пинцет, присоска, медиатор 5 шт.)

4. Лампа настольная

5. Вентилятор настольный

6. Очки защитные

-Комплект запасных частей для - DJI PHANTOM

4 MULTISPECTRAL (БВС вертолетного типа) – 1 шт

-Комплект запасных частей для DJI AVATA (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI NEO MOTION (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 MINI (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для DJI MAVIC 2 PRO (БВС вертолетного типа) – 1 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 6 (БВС вертолетного типа) – 11 шт.

-Комплект запасных частей для управления HappyModel Mobula 7 (БВС вертолетного типа)

– 8 шт.

-Комплект запасных частей для HappyModel Mobula 8 (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE FPV KIT (БВС вертолетного типа)

– 10 шт.

-Комплект запасных частей для BETA FPV CETUS LITE (WITHOUT FPV) KIT (БВС вертолетного типа) – 3 шт.

- Комплект запасных частей для самосборного FPV 7-дюймового квадрокоптера – 5 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Cobra VTOL» (БВС смешанного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «Flightory SuperStingRay VTOL» (БВС смешанного типа) –

1 шт.

- Комплект запасных частей для «Titan Dynamics Crane» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Комплект запасных частей для «SonicModel ArWingPro» (БВС самолетного типа) – 1 шт.

- Программное обеспечение для обработки полётной информации):

1. DJI FLY на 20 рабочих мест

2. DJI GO4 на 20 рабочих мест

3. DJI PILOT на 20 рабочих мест
4. DJI GS PRO на 20 рабочих мест
5. DJI TERRA на 20 рабочих мест
6. DJI LIGHTCUT

на 20 рабочих мест

- IMAGE COMPOSITE EDITOR на 20 рабочих мест
- WEB OPEN DRONE MAP на 20 рабочих мест
- ARDUPILOT MISSION PLANNER на 20 рабочих мест
- PIX4D CAPTURE на 20 рабочих мест
- PIX4DMATIC на 20 рабочих мест
- INAV на 20 рабочих мест
- BETAFLIGHT на 20 рабочих мест
- АВИАТОР+ на 20 рабочих мест
- СППИ на 20 рабочих мест
- НЕБОСВОД на 20 рабочих мест

- Набор круглых подвесных колец (ворот) (50см) «LDARC» для тренировок и соревнований на FPV квадрокоптерах - 10 шт.

- Аккумулятор GNB 1S LiPo 380 Mah - 30 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 850 Mah - 5 шт.
- Аккумулятор GNB 2S LiPo 650 Mah - 2 шт.
- Аккумулятор Lipo 6S 6500Mah 60C XT60 «Youme» - 5 шт.
- Аккумулятор BETA FPV 1S LiPo 450 Mah - 12 шт.
- Аккумулятор GNB 1S LiHv 660 Mah - 10 шт.
- Зарядное устройство (67W, Type C - 2 выхода, USB-A- 2 выхода) - 10 шт.
- Зарядное устройство для 1S LiPo «ViFLY WHOOPSTAR v3» - 5 шт.
- Зарядное устройство для 2S-6S литиевых аккумуляторов «HTRC C240» - 1 шт.
- Полезная нагрузка (система сброса) для DJI MAVIC 2 PRO -1 шт.
- Смартфон SAMSUNG GALAXY A7 - 1 шт.
- Планшет IPAD MINI 7 - 1 шт.
- Монитор FPV MONITOR 5.8G - 1 шт.
- Взлётно-посадочная площадка – 2шт.

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

Специализированная мебель и технические средства обучения:

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

Раздел 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины «**Оптимальное управление мехатронными системами**» 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

Оптимальное управление мехатронными системами

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным
планом)*

Николаев Юрий Николаевич

(Фамилия, Имя, Отчество составителя)