

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института ИМиАТ

А.И. Елкин
« 30 » 06 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ОПТИМАЛЬНОЕ И АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ»**

направление подготовки / специальность

15.04.06 «Мехатроника и робототехника»

направленность (профиль) подготовки

«Мехатроника и робототехника в машиностроении»

г. Владимир

2022 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Оптимальное и адаптивное управление» является освоение основных положений оптимального и адаптивного управления мехатронных и робототехнических систем (МРС) их трактовке и применения при анализе и проектировании МРС; подготовка студентов к научно-исследовательской и проектно-конструкторской профессиональной деятельности, связанной созданием современных, надежных и высокоэффективных МРС.

Задачи:

- изучить основные методы оптимального управления в системах автоматического управления (САУ), их применение при решении типовых задач;
- изучить основные методы адаптивного управления в системах автоматического управления (САУ), их применение при решении типовых задач;
- освоить решение задач по оптимальному управлению в мехатронных и робототехнических системах
- освоить технику моделирования по адаптивному управлению в мехатронных и робототехнических системах.

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Оптимальное и адаптивное управление» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции <i>(код, содержание индикатора)</i>	Результаты обучения по дисциплине	
1	2	3	4
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	<p>УК-3.1. Знать методы управления и организации командной работы, основы стратегического планирования работы коллектив для достижения поставленной цели.</p> <p>УК-3.2. Уметь разрабатывать командную стратегию, организовывать работу коллектива, разрабатывать мероприятия по личностному, образовательному и профессиональному росту.</p> <p>УК-3.3. Владеть навыками постановки цели в условиях командной работы, способами управления командной работой в решении поставленных задач, навыками преодоления возникающих в коллективе разногласий, споров и конфликтов на основе учета</p>	<p>Знает: методы управления и организации командной работы, основы стратегического планирования работы коллектив для достижения поставленной цели на основе оптимального и адаптивного управления.</p> <p>Умеет: разрабатывать командную стратегию, организовывать работу коллектива, разрабатывать мероприятия по личностному, образовательному и профессиональному росту методами оптимального и адаптивного управления.</p> <p>Владеет: навыками постановки цели в условиях командной работы, способами управления командной работой в решении поставленных задач, навыками преодоления возникающих в</p>	Тестовые вопросы, контрольные примеры

Продолжение таблицы

	интересов всех сторон.	коллективе разногласий, споров и конфликтов на основе учета интересов всех сторон методами оптимального и адаптивного управления.	
ПК-1 Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, с применением современных методов моделирования, оптимизации и многовариантного проектирования.	<p>ПК-1.1. Знать алгоритм составления и расчета моделей мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей.</p> <p>ПК-1.2. Уметь разрабатывать цифровые двойники и цифровые тени элементов мехатронных и робототехнических систем на всех этапах жизненного цикла изделия.</p> <p>ПК-1.3. Владеть технологией моделирования мехатронных и робототехнических систем программными средствами.</p>	<p>Знает: алгоритм составления и расчета моделей мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей на основе оптимального и адаптивного управления.</p> <p>Умеет: разрабатывать цифровые двойники и цифровые тени элементов мехатронных и робототехнических систем на всех этапах жизненного цикла изделия на основе оптимального и адаптивного управления.</p> <p>Владеет технологией моделирования мехатронных и робототехнических систем программными средствами как системами с оптимального и адаптивного управления.</p>	Тестовые вопросы, контрольные примеры

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Раздел 1. Оптимальное управление. Тема 1. Вариационное исчисление, критерии оптимизации	2	1,2	2	2	2	2	10	
2	Тема 2. Вариационное исчисление, синтез оптимального	2	3,4	2	2	2	2	10	

Продолжение таблицы

	регулятора								
3	Тема 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина	2	5-6	2	2	2	2	10	1-й рейтинг-контроль
4	Тема 4. Метод динамического программирования	2	7,8	2	2	2	2	10	
5	Раздел 2. Адаптивное управление Тема 5. Функции качества и методы поиска экстремума	2	9,10	2	2	2	2	10	
6	Тема 6. Адаптивные системы с эталонной моделью	2	11, 12	2	2	2	2	10	2-й рейтинг-контроль
	Тема 7. Адаптивные САУ с комплементарным управлением	2	13, 14	2	2	2	2	10	
	Тема 8. Системы с прогнозирующим управлением	2	15, 16	2	2	2	2	10	
7	Тема 9. Нейронные сети в адаптивных системах	2	17, 18	2	2	2	2	10	3-й рейтинг-контроль
10	Всего за 2-й семестр:			18	18	18		90	
11	Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-			-	
12	Итого по дисциплине:			18	18			90	Экзамен

**Содержание лекционных занятий
по дисциплине «Оптимальное и адаптивное управление»**

Раздел 1. Оптимальное управление.

Тема 1. Вариационное исчисление, критерии оптимизации.

Содержание темы.

Постановка задачи оптимального управления. Критерии оптимизации. Непрерывность и дифференцируемость и экстремум функционалов. Необходимые и достаточные условия экстремума. Уравнение Эйлера-Лагранжа.

Тема 2. Вариационное исчисление, синтез оптимального регулятора

Содержание темы.

Синтез линейной системы автоматического управления (САУ), оптимальной по квадратичному критерию. Синтез оптимального линейного регулятора.

Тема 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина.

Содержание темы.

Основная теорема принципа максимума. Введение дополнительной координаты и связывающих функций. Принцип максимума для оптимальности по быстродействию. Теорема об n -интервалах.

Тема 4. Метод динамического программирования.

Содержание темы.

Принцип оптимальности. Стратегия многошагового процесса. Оптимальное управление непрерывными и дискретными системами. Пошаговая минимизация функционала качества.

Раздел 2. Адаптивное управление.

Тема 5. Функции качества и методы поиска экстремума.

Содержание темы.

Обобщенная структура адаптивной САУ. Функции качества. Методы поиска экстремума функций качества: Гаусса-Зайделя, градиентный, наискорейшего спуска, тяжелого шарика.

Тема 6. Адаптивные системы с эталонной моделью.

Содержание темы.

Структура САУ с эталонной моделью. Критерии и алгоритмы настройки параметров прямого тракта и обратных связей.

Тема 7. Адаптивные САУ с комплементарным управлением.

Содержание темы.

Четвертая форма инвариантности - основа комплементарного управления. Способы и алгоритмы комплементарного управления. Структурные схемы.

Тема 8. Системы с прогнозирующим управлением.

Содержание темы.

Классификация и структурные схемы САУ с прогнозирующей моделью. Методы прогнозирования. Формирование дополнительного прогнозирующего управления в САУ.

Тема 9. Нейронные сети в адаптивных системах.

Содержание темы.

Адаптивных САУ с регуляторами на нейронных сетях. Выбор структуры и параметров нейронной сети: число слоев, нейронов в слое; частота обмена информацией. Настройка нейронных регуляторов и методы обучения.

Содержание практических занятий по дисциплине «Оптимальное и адаптивное управление»

Раздел 1. Оптимальное управление.

Тема 1. Вариационное исчисление. Критерии оптимизации.

Содержание практических занятий.

Синтез линейной САУ, оптимальной по квадратичному критерию.

Тема 2. Вариационное исчисление, синтез оптимального регулятора.

Содержание практических занятий.

Синтез оптимального линейного регулятора.

Тема 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина.

Содержание практических занятий.

Синтез оптимальной по быстродействию системы.

Тема 4. Метод динамического программирования.

Содержание практических занятий.

Алгоритм динамического программирования, пример.

Раздел 2. Адаптивное управление.

Тема 5. Функции качества и методы поиска экстремума.

Содержание практических занятий.

Методы поиска экстремума. Примеры.

Тема 6. Адаптивные системы с эталонной моделью.

Содержание практических занятий.

Критерии и алгоритмы настройки параметров прямого контура в САУ с эталонной моделью.

Тема 7. Адаптивные САУ с комплементарным управлением.

Содержание практических занятий.

Способы и алгоритмы формирования дополнительного управления.

Тема 8. Системы с прогнозирующим управлением.

Содержание практических занятий.

Методы прогнозирования. Примеры.

Тема 9. Нейронные сети в адаптивных системах.

Содержание практических занятий.

Алгоритм обучения нейронной сети.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

«Оптимальное и адаптивное управление»

Раздел 1. Оптимальное управление

Тема 1. Вариационное исчисление в задачах оптимального управления.

Содержание лабораторных занятий.

Моделирование САУ, оптимальной по квадратичному критерию.

Тема 2. Вариационное исчисление, синтез оптимального регулятора

Содержание лабораторных занятий.

Моделирование оптимального линейного регулятора.

Тема 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина.

Содержание лабораторных занятий.

Моделирование оптимальной по быстродействию системы.

Раздел 2. Адаптивное управление.

Тема 6. Адаптивные системы с эталонной моделью.

Содержание лабораторных занятий.

6.1. Компьютерные модели симулятора изменения параметров САУ.

6.2. Анализ алгоритма настройки коэффициента передачи прямого контура.

6.3. Анализ алгоритма парирования изменения постоянной времени объекта. 6.4. Анализ алгоритмов настройки параметров прямого контура

Тема 8. Адаптивные САУ с комплементарным управлением.

Содержание лабораторных занятий.

8.1. Анализ динамики САУ с комплементарной коррекцией, способ 1.

8.2. Анализ динамики САУ с комплементарной коррекцией, способ 2.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Рейтинг-контроль 1

1. Понятие об оптимальном управлении.
2. Постановка задачи оптимального управления.
3. Критерии оптимизации.
4. Условия экстремума функционалов.
4. Уравнение Эйлера-Лагранжа.
5. Синтез линейной САУ, оптимальной по квадратичному критерию.
6. Синтез оптимального линейного регулятора.
7. Введение дополнительной координаты и связывающих функций.
8. Принцип максимума Л.С. Понтрягина в теории оптимальных систем.
9. Основная теорема принципа максимума.
10. Принцип максимума для оптимальности по быстродействию.
11. Теореме об n – интервалах.
12. Метод динамического программирования. Стратегия многошагового процесса.

Рейтинг-контроль 2

1. Обобщенная структура адаптивной САУ.
2. Функции качества, метод поиска экстремума Гаусса-Зайделя.
3. Функции качества, градиентный и наискорейшего спуска методы поиска экстремума.
4. Функции качества, поиск экстремума методом тяжелого шарика.
5. Адаптивные системы с эталонной моделью, структура.
6. Адаптивные системы с эталонной моделью: критерии и алгоритмы настройки.
7. Синтез алгоритмов самонастройки градиентным способом.
8. Симуляторы дрейфа параметров (модели).
9. Наблюдатели.
10. Получение информации о временных характеристиках.
11. Получение информации о частотных характеристиках.
12. Алгоритмы настройки в функции частотного спектра ошибки.

Рейтинг-контроль 3

1. САУ с комплементарным управлением.
2. Четвертая форма инвариантности – основа комплементарного управления.
3. Формирования дополнительного управления, способ 1.
4. Формирование дополнительного управления, способ 2.
5. Классификация и структурные схемы САУ с прогнозирующей моделью.
6. Методы прогнозирования, классификация.
7. Методы прогнозирования: канонического полинома и интерполяция сплайнами.
8. Методы прогнозирования: Лагранжа и Ньютона.
9. Структурные схемы адаптивных САУ с адаптивными регуляторами на нейронных сетях.
10. Выбор структуры и параметров нейронной сети: число слоев, нейронов в слое; частота обмена информацией.
11. Методы обучения на основе прямого распространения ошибки.
12. Методы обучения на основе обратного распространения ошибки.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

Экзамен

Вопросы для подготовки к экзамену.

1. Постановка задачи оптимального управления.
2. Критерии оптимизации.
4. Вариационное исчисление в задачах оптимизации. Общий подход.
5. Уравнение Эйлера-Лагранжа.
6. Синтез линейной САУ, оптимальной по квадратичному критерию.
7. Синтез оптимального линейного регулятора.
8. Принцип максимума Л.С. Понтрягина. Введение дополнительной координаты и связывающих функций.
9. Основная теорема принципа максимума.
10. Метод динамического программирования. Стратегия многошагового процесса.
11. Обобщенная структура адаптивной САУ.
12. Функции качества, метод поиска экстремума.
13. Адаптивные системы с эталонной моделью, структура.
14. Адаптивные системы с эталонной моделью критерии и алгоритмы настройки.
15. Классификация и структурные схемы САУ с прогнозирующей моделью.
16. САУ с комплементарным управлением, структурные схемы.
17. Четвертая форма инвариантности – основа комплементарного управления.
18. Формирования дополнительного управления, способ 1.

19. Формирование дополнительного управления, способ 2.
20. Структуры САУ с контурами прогнозирования.
21. Методы прогнозирования: канонического полинома и интерполяция сплайнами.
21. Методы прогнозирования: Лагранжа и Ньютона.
22. Структурные схемы адаптивных САУ с регуляторами на нейронных сетях.
23. Выбор структуры и параметров нейронной сети: число слоев, нейронов в слое, частота обмена информации.
24. Алгоритмы обучения нейронных сетей на основе градиентных методов.
25. Методы обучения на основе прямого и обратного распространения ошибки.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося

Самостоятельная работа студента выполняется в соответствии с учебным планом и программой дисциплины. Направлена на углубленное изучение разделов и подготовку к выполнению практических заданий.

Самостоятельная работа в итоге предусматривает (один документ):

- написание реферата;
- подготовку сообщения;
- подготовку доклада;
- написание эссе.

Тематика рефератов, сообщений, докладов, эссе.

1. Вариационное исчисление в задачах оптимального управления.
2. Критерии качества.
3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина. Применение к задачам.
4. Адаптивные системы с эталонной моделью.
5. Метод динамического программирования. Применение к задачам
6. Основные положения адаптивного управления.
7. Методы поиска экстремумов функций качества.
8. Симуляторы дрейфа параметров. Структурная реализация.
9. Адаптивные системы с контролем временных характеристик.
10. Адаптивные системы со стабилизацией частотных характеристик.
11. Реализация наблюдателей.
12. Структуры САУ с комплементарным управлением.
13. Алгоритмы комплементарного управления.
14. Нейронные сети в задачах управления.
15. Градиентные алгоритмы обучения нейронных сетей.
16. Он-лайн обучение нейронных сетей.
17. Экстремальные системы.

Самостоятельная работа выполняется в течение учебного семестра, в котором изучается соответствующая тема. Результат выполнения работы оформляется в электронном виде (презентация, текстовый файл, 5-10 стр.) и докладывается на практическом занятии. При подготовке используется учебно-методическое обеспечение по п.7 рабочей программы и другие источники.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций, обучающихся по дисциплине, оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература*		
1. Оптимальное управление в технических системах. Практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.А. Балашова [и др.]. - Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. - 288 с.	2017	http://www.iprbookshop.ru/74014.html . ЭБС «IPRbooks»
2. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах : учебное пособие для вузов по направлению "Прикладная математика" / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. - С. Пб: Лань, 2015.- 511 с.	2015	Библиотека ВлГУ.
3. Бобцов А.А. Адаптивное управление возмущенными системами [Электронный ресурс]: учебное пособие / Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А.—С.Пб.: Университет ИТМО, 2015. - 127 с.	2015	http://www.iprbookshop.ru/65763.html . ЭБС «IPRbooks»
4. Кобзев А.А. Системы автоматического управления с параллельной прогнозирующей моделью / А.А. Кобзев, Ю.Е. Мишулин, Н.А. Новикова, А.В. Лекарева. Владимир. ВлГУ, 2014. – 160с.	2014	Библиотека ВлГУ.
Дополнительная литература		
1. Александров А.Г. Оптимальное и адаптивное управление. - М.: Высшая школа, 2003. – 278с. Электронное издание	2003	В свободном доступе.
2. Алексеев, В.М. Оптимальное управление / Алексеев В.М., Ти-хомиров В.М., Фомин С.В. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.		http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922105897.html . ЭБС «studentlibrary».
3. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. - М.: Лаборатория знаний, 2016. - 224с.	2016	В свободном доступе.
4. С. Хайкин. Нейронные сети: полный курс. - М.: ООО «Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104с.	2006	В свободном доступе.
5. Иванов В.А., Медведев В.С., Ющенко А.С., Чемоданов Б.К. Математические основы теории автоматического управления. В 3-х томах. - М.: МГТУ им. Баумана, 2009.	2009	На портале ebooks.bmstu.ru
6. Макаров, И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. - М.: Наука, 2006. - 333 с. - ISBN 5-02-033782-X.	2006	В свободном доступе.

6.2. Периодические издания (Российская Федерация):

1. Научно технический журнал «Мехатроника, автоматизация, управление».
2. Научно технический журнал «Известия ВУЗ «Электромеханика».
3. Научно технический журнал «Вестник машиностроения».

6.3. Интернет-ресурсы

Курс лекций компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ncsystems.ru/index.php/rukafedra-ksu/obuchenie/lektsii>, свободный.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционные занятия (ауд.316-2, 109-2):
 - a) доска, комплект электронных презентаций/слайдов, учебные видеофильмы;
 - b) аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).
2. Практические занятия (ауд.105а-2):

- a) ПЭВМ – 12 шт.;
 - b) презентационная техника (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
 - c) робот модели PASCAL OMEGA 3X;
 - d) робот модели FANUC 250M1.
3. Прочее:
- a) рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,
 - b) рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.
4. Перечень используемого лицензионного программного обеспечения:
- пакеты ПО общего назначения (MS Office);
 - Matlab, с версией Simulink.

Рабочую программу составил д.т.н., профессор каф. АМиР  А.А. Кобзев

Рецензент:

(представитель работодателя)

Начальник отдела электронных систем

ООО НПК «АВТОПРИБОР», к.т.н., доцент  Р.В. Родионов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры АМиР

Протокол № 16 от 28.06.2022 года

Заведующий кафедрой АМиР д.т.н., профессор  В.Ф Коростелев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 15.04.06

Протокол № 13 от 24 июня 2022 года

Председатель комиссии заведующий

кафедрой АМиР д.т.н., профессор  В.Ф Коростелев

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20__ / 20__ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20__ / 20__ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20__ / 20__ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20__ / 20__ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20__ / 20__ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____