

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (подпись) Страхов С. Ю.
 ФИО
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Направление/специальность подготовки	15.04.06 Мехатроника и робототехника
Специализация/профиль/программа подготовки	Современные робототехнические системы и комплексы
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	И Информационных и управляющих систем
Выпускающая кафедра	И8 СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	И8 СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	4	144	34	17	0	17	110	0	0	110	ЭКЗ.
5	10	4	144	34	17	0	17	110	0	0	110	ЭКЗ.
ВСЕГО		8	288	68	34	0	34	220	0	0	220	

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

15.04.06 Мехатроника и робототехника

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра И8 СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ, МЕХАТРОНИКА И
РОБОТОТЕХНИКА

Жуков Юрий Александрович, старший преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **И8 СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Стажков С.М., д.т.н., проф.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

И8 СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

Заведующий кафедрой Стажков С.М., д.т.н., проф.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-2.1 — способность составлять математические модели, производить расчеты и проектирование мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-2.1

знания:

на уровне воспроизведения и понимания знать –

- современные представления, модели объектов управления;
- особенности физических процессов и исследования нелинейных систем управления, методы

теории устойчивости;

- основные понятия и методы теории модального управления;
- основные понятия и методы теории идентификации;
- основные понятия и методы теории оптимального управления, теории оптимальной

фильтрации;

- основные понятия и методы теории чувствительности, теории робастного управления;
- основные понятия и методы теории адаптивного управления;
- базовые понятия теории нечётких множеств и её применение в теории автоматического

управления;

- понятие о нейросетевом управлении, методы применения искусственных нейронных сетей в системах управления;;

умения:

теоретически и практически уметь –

- проводить анализ устойчивости нелинейных систем управления, выявлять автоколебания, применять метод гармонической линеаризации;

- использовать средства нелинейной коррекции при синтезе систем автоматического управления по заданным критериям;

- решать задачи модального управления, применять методы модального управления для синтеза;
- решать задачи оптимального управления, основанные на применении принципа максимума

Понтрягина, линейно-квадратичные задачи оптимизации;

- уметь синтезировать наблюдатели состояния систем регулирования;
- уметь применять методы теории чувствительности для анализа и синтеза робастных систем

управления;

- применять методы теории идентификации для оценки параметров объектов регулирования;
- уметь разрабатывать и синтезировать адаптивные методы управления;
- уметь применять теорию на основе правил нечёткой логики для построения регуляторов систем

управления;

- уметь синтезировать структуры искусственных нейронных сетей для решения задач

управления;;

навыки:

иметь навыки и владеть –

- иметь навыки создания моделей многосвязных нелинейных систем управления, навыки решения задач современной теории управления в пакетах математического моделирования, иметь навыки создания алгоритмов управления на основе языков программирования высокого уровня в средах математического моделирования;.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.04.06 Мехатроника и робототехника*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА, СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ, КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРИВОДОВ**

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 з.е., 288 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-2.1
5	9	Раздел 1. Основные понятия современной теории управления. 1.1 Введение в предмет. Основные понятия и определения современной теории управления. История теории управления. Классификация направлений современной теории управления. 1.2 Принципы и методы управления. Модели систем управления. Передаточные функции и пространства состояний. Непрерывные линейные системы. Дискретные системы. Нелинейные системы.	16	4	2	2	12	5
5	9	Раздел 2. Модальное управление. 2.1 Постановка задачи модального управления. Спектр матрицы. Модальное управление в системах «вход-выход». Формула Аккермана. 2.2 Матричное уравнение Сильвестра. Замыкание уравнения Сильвестра. 2.3 Меры модального доминирования. Автоматизация выбора спектра.	16	4	2	2	12	5
5	9	Раздел 3. Нелинейные системы управления. 3.1 Теория устойчивости Ляпунова. Устойчивость и функции Ляпунова. 3.2 Теоремы устойчивости Ляпунова. Теорема Красовского. 3.3 Связь метода Ляпунова с частотными методами. Теорема Лурье. 3.4 Понятие пассивности.	32	8	4	4	24	12
5	9	Раздел 4. Основы теории идентификации. 4.1 Постановка задачи идентификации. Критерии идентификации. Классификация методов идентификации. Критерии идентифицируемости. 4.2 Идентификация на основе метода наименьших квадратов. 4.3 Рекуррентные алгоритмы идентификации. 4.4 Рекурсивные алгоритмы идентификации.	32	8	4	4	24	12
5	9	Раздел 5. Оптимальное управление. 5.1 Постановка задачи оптимального управления. Классификация задач оптимального управления. 5.2 Вариационное исчисление. 5.3 Принцип максимума Понтрягина. 5.4 Динамическое программирование. 5.5 Аналитическое конструирование регуляторов. 5.6 Нелинейное программирование.	48	10	5	5	38	16
Всего за 9 семестр			144	34	17	17	110	50
5	10	Раздел 6. Синтез оптимальных детерминированных и стохастических систем. 1.1 Наблюдатели. Наблюдатели полного порядка. 1.2 Наблюдатели пониженного порядка. Наблюдатель Люенбергера. 1.3 Синтез оптимальной стационарной системы по интегральному квадратичному критерию. 1.4 Синтез оптимальной нестационарной системы по интегральному квадратичному критерию. 1.5 Задача оптимальной фильтрации. Уравнение Виннера-Хопфа. Фильтр Виннера. 1.6 Фильтры Калмана-Бьюсси.	28	8	4	4	20	10
5	10	Раздел 7. Робастное управление. 2.1. Матричные и векторные пространства в современной теории управления. Нормы сигналов и систем. Свойства матриц. H_2 -пространство. H_2 -пространство. 2.2. Функции чувствительности. Оценки качества с помощью функции чувствительности. 2.3 Задача оптимальной H_∞ -стабилизации. 2.4 «Два-Риккати» подход к решению задачи H_∞ -оптимального управления. 2.5 H_2 -оптимальный регулятор. 2.6 H_∞ -оптимальный регулятор.	28	8	4	4	20	10
5	10	Раздел 8. Адаптивное управление. 3.1 Определения и классификация адаптивных систем. Типы неопределенностей. Задача адаптации. Структуры адаптивных систем. 3.2 Методы синтеза алгоритмов адаптации. 3.3 Поисковые адаптивные системы. Системы экстремального управления. Поисковые алгоритмы непрямого адаптивного управления. 3.4 Бесписковые адаптивные системы. Градиентные алгоритмы адаптации. 3.5 Адаптивные системы на основе идентификационного подхода.	28	8	4	4	20	10
5	10	Раздел 9. Нечеткая логика в задачах управления. 4.1 Понятие о нечеткой логике. Области применения. История создания направления. 4.2 Нечеткое множество. Характеристики нечетких множеств. Операции с нечеткими множествами Нечеткая и лингвистическая переменная. 4.3 Нечеткие числа. Операции с нечеткими числами. 4.4 Структура нечеткой логики в общем логическом выводе. Нечеткий вывод: Алгоритм Sugeno. Алгоритм Larsen. Алгоритм Tsukamoto. Методы деафизикации. 4.5 Управление на основе нечеткой логики. Достоинства и недостатки.	24	4	2	2	20	10
5	10	Раздел 10. Искусственные нейронные сети в задачах управления. 5.1 Основные этапы развития теории искусственных нейронных сетей (ИНС). Классификация ИНС. 5.2 Структура искусственного нейрона. 5.3 Структуры ИНС. 5.4 Алгоритмы обучения ИНС. Алгоритм обратного распространения ошибки. 5.4 ИНС в системах управления: решение задачи идентификации. 5.5 ИНС в системах управления: прогнозирующее управление. 5.6 ИНС регуляторы в системах управления. Синтез нейросетевой системы управления на основе инверсной модели объекта. Система управления, с прямой и инверсной моделями объекта.	36	6	3	3	30	10
Всего за 10 семестр			144	34	17	17	110	50
Всего по дисциплине			288	68	34	34	220	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Основные понятия современной теории управления.	Представление моделей систем управления	2
2	Раздел 2. Модальное управление.	Модальное управление в системах «вход-выход». Формула Аккермана. Матричное уравнение	2

		Сильвестра	
3	Раздел 3. Нелинейные системы управления.	Формирование функции Ляпунова	2
4		Теоремы устойчивости Ляпунова. Определение точек покоя	2
5	Раздел 4. Основы теории идентификации.	Идентификация на основе метода наименьших квадратов	4
6	Раздел 5. Оптимальное управление.	Применение вариационное исчисления для создания регулятора	2
7		Создание регулятора на основе принципа максимума Понтрягина	3
Всего за 9 семестр			17
8	Раздел 6. Синтез оптимальных детерминированных и стохастических систем.	Синтез наблюдателя полного порядка	2
9		Синтез оптимальной стационарной системы по интегральному квадратичному критерию. Применение фильтра Калмана-Бюсси	2
10	Раздел 7. Робастное управление.	Функции чувствительности. Оценки качества с помощью функции чувствительности	2
11		Синтез H_{∞} -оптимального регулятора	2
12	Раздел 8. Адаптивное управление.	Адаптивные системы на основе идентификационного подхода	2
13		Беспоисковые адаптивные системы	2
14	Раздел 9. Нечеткая логика в задачах управления.	Синтез регулятора на основе нечеткой логики	2
15	Раздел 10. Искусственные нейронные сети в задачах управления.	ИНС в системах управления: решение задачи идентификации	3
Всего за 10 семестр			17

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Основные понятия современной теории управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям.	12
2	Раздел 2. Модальное управление.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 1-этапа домашнего задания.	12
3	Раздел 3. Нелинейные системы управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 2-этапа домашнего задания.	24
4	Раздел 4. Основы теории идентификации.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 3-этапа домашнего задания.	24
5	Раздел 5. Оптимальное управление.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 4-этапа домашнего задания.	38
Всего за 9 семестр			110
6	Раздел 6. Синтез оптимальных детерминированных и стохастических систем.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 5-6 этапов домашнего задания.	20
7	Раздел 7. Робастное управление.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям	20

		и практическим занятиям. Выполнение 7-этапа домашнего задания.	
8	Раздел 8. Адаптивное управление.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 8-этапа домашнего задания.	20
9	Раздел 9. Нечеткая логика в задачах управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 9-этапа домашнего задания.	20
10	Раздел 10. Искусственные нейронные сети в задачах управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 10-этапа домашнего задания.	30
Всего за 10 семестр			110

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9		ВРЗД			ВРЗД, ДЗ	ДР		ДЗ, ВРЗД		ДР	ДЗ	ВРЗД	ДЗ	ДЗ		ДР	Вопр. Экз
10					ДЗ, ВРЗД	ДР		ДЗ, ВРЗД		ДР	ДЗ	ВРЗД	ДЗ	ДЗ		ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- ДЗ – домашнее задание;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- домашнее задание;
- вопросы к экзамену.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. Б. Р. Андриевский. . Задачи и методы адаптивного управления. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012, эл. рес.
2. Б. Р. Андриевский. . Теоретические основы автоматизированного управления. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
3. В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. . Теория систем автоматического управления. СПб.: Профессия, 2003, 169 экз.
4. Д. П. Ким. . Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
5. Д. П. Ким. . Теория автоматического управления. Москва: Юрайт, 2022, эл. рес.
6. Е. И. Юревич. . Основы робототехники. СПб.: БХВ-Петербург, 2007, 41 экз.
7. И. А. Каляев, В. М. Лохин, И. М. Макаров. . Интеллектуальные роботы. Москва: Машиностроение, 2007, эл. рес.
8. К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Гаврилов. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002, 19 экз.
9. Р. Дорф, Р. Бишоп. . Современные системы управления. М.: Лаб. Базовых Знаний, 2002, 18 экз.
10. С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. . Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Баркин. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 5 Методы современной теории автоматического управления. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004, 2 экз.
2. К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, Е. М. Воронов. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 2 Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004, 3 экз.

5.3. Периодические издания:

1. Автоматизация процессов управления;
2. Информационно-измерительные и управляющие системы;
3. Проблемы машиностроения и автоматизации.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
3. <https://repository.library.voenmeh.ru/jspui/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Проектор;
2. Аудитория с числом посадочных мест не меньше количества обучающихся.

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.04.06 Мехатроника и робототехника*. Дисциплина реализуется на факультете *И Информационных и управляющих систем* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой **И8 СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА**.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-2.1 способность составлять математические модели, производить расчеты и проектирование мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с освоением базовых направлений современной теории управления: теория нелинейного управления, теория оптимального управления, теория идентификации, теория оптимального управления, теория адаптивного управления, теория робастного управления, теория нечеткого управления, теория нейросетевого управления.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- домашнее задание;
- вопросы к экзамену.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **8 з.е., 288 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**220 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 288 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 220 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Основные понятия современной теории управления.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям.	Р. Дорф, Р. Бишоп. . Современные системы управления: М.: Лаб. Базовых Знаний, 2002 (гл.1) Е. И. Юревич. . Основы робототехники: СПб.: БХВ-Петербург, 2007 (гл. 3, гл.4) С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. . Основы управления манипуляционными роботами: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 (гл. 1) И. А. Каляев, В. М. Лохин, И. М. Макаров. . Интеллектуальные роботы: Москва: Машиностроение, 2007 (Введение, гл. 1) В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. . Теория систем автоматического управления: СПб.: Профессия, 2003 (гл.1, гл.2)	12
Итого по разделу 1		12
Раздел 2. Модальное управление.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 1-этапа домашнего задания.	Р. Дорф, Р. Бишоп. . Современные системы управления: М.: Лаб. Базовых Знаний, 2002 (гл. 11) Б. Р. Андриевский. . Теоретические основы автоматизированного управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (гл. 17) Д. П. Ким. . Теория автоматического управления: Москва: Юрайт, 2022 (гл.1)	12
Итого по разделу 2		12
Раздел 3. Нелинейные системы управления.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 2-этапа домашнего задания.	Б. Р. Андриевский. . Теоретические основы автоматизированного управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (гл. 19, гл. 20, гл. 21) Д. П. Ким. . Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Москва: Юрайт, 2020 (гл. 2, гл. 3, гл. 4) К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Баркин. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 5 Методы современной теории автоматического управления: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (гл.4)	24
Итого по разделу 3		24

Раздел 4. Основы теории идентификации.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 3-этапа домашнего задания.	Б. Р. Андриевский. . Задачи и методы адаптивного управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (гл. 6, гл. 10, гл.11) К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, Е. М. Воронов. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 2 Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (гл. 4)	24
Итого по разделу 4		24
Раздел 5. Оптимальное управление.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 4-этапа домашнего задания.	В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. . Теория систем автоматического управления: СПб.: Профессия, 2003 (гл. 24) Д. П. Ким. . Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Москва: Юрайт, 2020 (гл. 9)	38
Итого по разделу 5		38
Раздел 6. Синтез оптимальных детерминированных и стохастических систем.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 5-6 этапов домашнего задания.	Д. П. Ким. . Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Москва: Юрайт, 2020 (гл. 10, гл.11)	20
Итого по разделу 6		20
Раздел 7. Робастное управление.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 7-этапа домашнего задания.	К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Гаврилов. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 (Часть 1. гл.1, гл.4, гл. 7)	20
Итого по разделу 7		20
Раздел 8. Адаптивное управление.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 8-этапа домашнего задания.	К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Гаврилов. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 (Часть 5. гл 1-6) Б. Р. Андриевский. . Задачи и методы адаптивного управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (гл.1- гл.4)	20
Итого по разделу 8		20
Раздел 9. Нечеткая логика в задачах управления.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 9-этапа домашнего задания.	К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Гаврилов. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 (Часть 3. гл. 1-4)	20
Итого по разделу 9		20
Раздел 10. Искусственные нейронные сети в задачах управления.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Гаврилов. Методы робастного, нейро-нечёткого и	30

Подготовка к лекциям и практическим занятиям. Выполнение 10-этапа домашнего задания.	адаптивного управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 (Часть 3. гл. 1-3)	
Итого по разделу 10		30

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- домашнее задание;
- вопросы к экзамену;
- экзамен;
- экзамен.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы по разделу

Перечень вопросов по разделам приведён в УМК дисциплины

Домашнее задание

Предлагаются 9 домашних заданий по тематикам:

1. Модальный синтез регулятора. Применение формулы Аккермана
2. Анализ устойчивости нелинейной системы. Формирование функции Ляпунова.
3. Идентификация на основе метода наименьших квадратов
4. Синтез регулятора на основе принципа максимума
5. Синтез оптимальной стационарной системы по интегральному квадратичному критерию. Синтез наблюдателя
6. Синтез оптимальной стационарной системы по интегральному квадратичному критерию. Применение фильтра Калмана-Бюсси
7. Синтез H_∞ -оптимального регулятора
8. Синтез адаптивного регулятора
9. Проектирование нечеткого регулятора
10. Создание искусственной нейронной сети - идентификатора объекта

Домашние задания выполняются по индивидуальным вариантам, представляются ответы в форме отчетов о ходе решения задач. Отчеты должны содержать титульный лист, содержание, ход работы, заключение. Оформление таблиц, иллюстраций, формул должно соответствовать требованиям ГОСТ 7.32-2017.

Индивидуальные задания по вариантам и примеры отчетов приведены в УМК дисциплины.

Процедура приема домашних заданий включает проверку разработанных программ (моделей) в среде математического моделирования, демонстрацию функционирования программных модулей. Устных ответов на вопросы преподавателя.

Полное безошибочное решение домашнего задания оценивается на итоговую оценку 5 ("отлично"). При несоответствии требованиям к оформлению отчета итоговая оценка снижается на 1.0 балла. При неполных или неверных ответах на вопросы итоговая оценка снижается на 1.0-2.0 балла

Вопросы к экзамену

Перечень вопросов к экзамену приведён в УМК дисциплины

Экзамен

Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, содержащим 2 вопроса, время на подготовку ответов - 20 минут. При правильных и полных ответах оценка отлично. Если ответ неполный, преподаватель задаёт дополнительные вопросы. При правильных ответах на все вопросы - оценка отлично, в противном случае если правильных ответов более 80% - оценка хорошо. Для получения удовлетворительной оценки нужно правильно ответить не менее, чем на 60% вопросов.

Экзамен

Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, содержащим 2 вопроса, время на подготовку ответов - 20 минут. При правильных и полных ответах оценка отлично. Если ответ неполный, преподаватель задаёт дополнительные вопросы. При правильных ответах на все вопросы - оценка отлично, в противном случае если правильных ответов более 80% - оценка хорошо. Для получения удовлетворительной оценки нужно правильно ответить не менее, чем на 60% вопросов.

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-2.1	
5	9	Раздел 1. Основные понятия современной теории управления.	16	4	2	2	12	5	Вопросы по разделу
5	9	Раздел 2. Модальное управление.	16	4	2	2	12	5	Вопросы по разделу, Домашнее задание
5	9	Раздел 3. Нелинейные системы управления.	32	8	4	4	24	12	Вопросы по разделу, Домашнее задание
5	9	Раздел 4. Основы теории идентификации.	32	8	4	4	24	12	Вопросы по разделу, Домашнее задание
5	9	Раздел 5. Оптимальное управление.	48	10	5	5	38	16	Вопросы к экзамену, Домашнее задание
Всего за 9 семестр			144	34	17	17	110	50	
5	10	Раздел 6. Синтез оптимальных детерминированных и стохастических систем.	28	8	4	4	20	10	Вопросы по разделу, Домашнее задание
5	10	Раздел 7. Робастное управление.	28	8	4	4	20	10	Вопросы по разделу, Домашнее задание
5	10	Раздел 8. Адаптивное управление.	28	8	4	4	20	10	Вопросы по разделу, Домашнее задание
5	10	Раздел 9. Нечеткая логика в задачах управления.	24	4	2	2	20	10	Вопросы по разделу, Домашнее задание

5	10	Раздел 10. Искусственные нейронные сети в задачах управления.	36	6	3	3	30	10	Вопросы к экзамену, Домашнее задание
Всего за 10 семестр			144	34	17	17	110	50	
Всего по дисциплине			288	68	34	34	220	100	

Критерии оценивания

ПСК-2.1

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Что представляет собой передаточная функция линеаризованной цифровой автоматической системы
- a. Отношение воздействия и отклика.
 - b. Отношение Z -преобразований воздействия и отклика.
 - c. Отношение отклика и воздействия.
 - d. Отношение Z -преобразований отклика и воздействия.
- № 2 Что представляет собой область устойчивости линейной импульсной САУ на комплексной плоскости?
- a. Правую полуплоскость
 - b. Внешнюю часть центрального круга единичного радиуса
 - c. Левую полуплоскость
 - d. Внутренность центрального круга единичного радиуса
- № 3 При каком корне характеристического уравнения импульсная система первого порядка обладает наибольшим быстродействием?
- a. 0,5
 - b. -0,5
 - c. 0
 - d. 0,9
- № 4 Какой из корней характеристического уравнения дискретной системы не удовлетворяет необходимому и достаточному условию устойчивости?
- a. $0,3 - j0,4$
 - b. -0,3
 - c. -3
 - d. 0,3
- № 5 Какую задачу решают в рамках модального управления?
- Выберите один или несколько ответов:
- Идентифицируют параметры возмущения
 - Решение уравнения Сильвестра S
 - Определяют желаемый спектр матрицы $A_c = A - BK$
 - Определяют класс неопределенности модели
 - Вычисляют матрицу обратной связи K

- № 6 Какой регулятор относят к оптимальному управлению?
Выберите один ответ:
- ПИД регулятор
 - Подчиненный регулятор
 - LQR регулятор
 - Робастный регулятор
- № 7 Какую задачу решает метод максимума Понтрягина?
Выберите один ответ:
- Задачу синтеза адаптивной системы
 - Задачу синтеза робастной системы
 - Задачу синтеза оптимального регулятора
 - Задачу интеллектуального управления
- № 8 При синтезе LQG – регулятора находят:
Выберите один или несколько ответов:
- Коэффициенты усиления в каналах обратной связи системы
 - Коэффициенты обратной связи по оценке вектора состояния системы
 - Параметры наблюдателя состояния
 - Коэффициенты обратной связи по вектору состояний системы
- № 9 Какие задачи решает наблюдатель состояния?
Выберите один ответ:
- Оценку вектора состояния
 - Фильтрацию вектора состояния
 - Предсказание состояния системы
 - Фильтрацию возмущений
- № 10 В чем проявляются достоинства наблюдателя?
Выберите один или несколько ответов:
- Возможность стабилизации по вектору состояния без измерения полного вектора состояния
 - Возможность стабилизации с заданным качеством регулирования
 - Зависимость оценки стабилизации от нестационарных шумов
 - Зависимость оценки состояния от структурной, функциональной и параметрической неопределенности

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Система $\dot{x}=Ax+Bu$, $y=Cx+Du$ имеет порядок $n=7$. Ранг матрицы наблюдаемости $\text{rank}\{K_o\}=5$. Сколько ненаблюдаемых переменных состояния N_u содержит система?
- $N_u=$
- № 2 Система $\dot{x}=Ax+Bu$, $y=Cx+Du$ имеет порядок $n=7$. Количество ненаблюдаемых переменных состояния $N_u=3$.
- Какое значение имеет ранг матрицы наблюдаемости $\text{rank}\{K_o\}$?
- $\text{rank}\{K_o\}= \dots$
- № 3 Система $\dot{x}=Ax+Bu$, $y=Cx+Du$ имеет порядок $n=6$. Ранг матрицы управляемости $\text{rank}\{K_y\}=5$. Сколько неуправляемых переменных состояния N_u содержит система?
- $N_u=$
- № 4 Система $\dot{x}=Ax+Bu$, $y=Cx+Du$ имеет порядок $n=6$. Количество неуправляемых переменных состояния $N_u=2$.
- Какое значение имеет ранг матрицы управляемости $\text{rank}\{K_y\}$?
- $\text{rank}\{K_y\}= \dots$
- № 5 Какой общий порядок S имеет уравнение механики $M(q,\xi) \cdot \ddot{q} + N(q,\dot{q},\xi) = \tau$ для трехзвенного манипулятора, у которого все кинематические пары принадлежат 4 классу?
- $S= \dots$
- № 6 Приводы робота управляются на основе расчетного момента
- $(\tau = M \cdot (\ddot{q}_d + K_p \cdot e + K_i \cdot \int e + K_d \cdot \dot{e}) + N, \text{ где } \dot{e} = \dot{e})$, синтез ПИД управления реализуется из выражений $\omega = \text{const}$, $K_i = \omega * \omega * \omega$, $K_p = 3 * \omega * \omega$, $K_d = 3 * \omega$ Жесткость механической передачи $C = 1000$ Нм/рад. Максимальный момент инерции нагрузки $J = 1$ кг*м*м. Какое пороговое значение имеет ω_p (без учета динамики привода)?
- Рассчитайте значение:
- $\omega_p = \dots$
- № 7 При управлении приводами робота на основе расчетного момента $(\tau = M \cdot (\ddot{q}_d + K_p \cdot e + K_i \cdot \int e + K_d \cdot \dot{e}) + N, \text{ где } \dot{e} = \dot{e})$ определите коэффициенты ПИД управления, обеспечивающего кратные действительные корни характеристическим полиномам с собственной частотой $\omega = 10$
- $K_p = \dots$
- $K_i = \dots$
- $K_d = \dots$
- № 8 При управлении приводами робота на основе расчетного момента $(\tau = M \cdot (\ddot{q}_d + K_p \cdot e + K_i \cdot \int e + K_d \cdot \dot{e}) + N, \text{ где } \dot{e} = \dot{e})$ определите коэффициенты ПИД управления, обеспечивающего кратные действительные корни характеристическим полиномам с собственной частотой $\omega = 5$
- $K_p = \dots$
- $K_i = \dots$
- $K_d = \dots$

№ 9 При управлении приводами робота на основе расчетного момента ($\tau = M \cdot (\ddot{q}_d + K_p \cdot e + K_d \cdot \dot{e}) + N$) определите коэффициенты ПД управления, обеспечивающего кратные действительные корни характеристическим полиномам с собственной частотой $\omega = 5$

$K_p = \dots$

$K_d = \dots$

№ 10 При управлении приводами робота на основе расчетного момента ($\tau = M \cdot (\ddot{q}_d + K_p \cdot e + K_d \cdot \dot{e}) + N$) определите коэффициенты ПД управления, обеспечивающего кратные действительные корни характеристическим полиномам с собственной частотой $\omega = 10$

$K_p = \dots$

$K_d = \dots$