



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

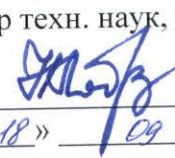
Электротехнический факультет

Кафедра микропроцессорных средств автоматизации



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
д-р техн. наук, проф.

 Н. В. Лобов
« 18 » 09 2017 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Теория автоматического управления»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа академического бакалавриата

Направление: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль программы бакалавриата:

Электроснабжение

Квалификация выпускника:

бакалавр

Выпускающая кафедра:

микропроцессорных средств автоматизации

Форма обучения:

очная

Курс: 3

Семестр(ы): 6

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:	6	ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	216	ч

Виды контроля:

Экзамен: 6 семестр
Зачёт:

Курсовой проект:
Курсовая работа: 6 семестр

Пермь
2017

Учебно-методический комплекс дисциплины «Теория автоматического управления» разработан на основании:

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «03» сентября 2015 г. номер приказа «955» по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электроснабжение», утверждённой «24» июня 2013 г. (с изменениями в связи с переходом на ФГОС ВО);
- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электроснабжение», утверждённого «28» апреля 2016 г.

Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин Математика, Физика, Химия, Экология, Электротехническое и конструкционное материаловедение, Общая энергетика, Электрические машины, Теоретическая механика, Силовая электроника, Математические методы в электротехнике и электроэнергетике, Электромагнитная совместимость в электроэнергетике, Техника высоких напряжений, Численные методы, Электромагнитные расчеты в электромеханических преобразователях, Энергоснабжение, Электрический привод, Моделирование в электротехнике и электроэнергетике, Научно-исследовательская работа студентов, Электрические и компьютерные измерения, Теория оптимизации, Методы идентификации, Управление качеством.

Разработчики

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)

(подпись)

Н.В. Андриевская
(инициалы, фамилия)

(ученая степень, звание)

(подпись)

О.А. Билоус
(инициалы, фамилия)

Рецензент

д-р техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)

(подпись)

С.В. Бочкарев
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры микропроцессорных средств автоматизации «06» сентября 2017 г., протокол № 1.

Заведующий кафедрой,
ведущей дисциплину

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)

(подпись)

А.Б. Петроченков
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией электротехнического факультета «14» 09 20 17 г., протокол № 4.

Председатель учебно-методической комиссии
электротехнического факультета

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)

(подпись)

А.Л. Гольдштейн
(инициалы, фамилия)

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой МСА

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)

(подпись)

А.Б. Петроченков
(инициалы, фамилия)

Начальник управления образовательных программ

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень, звание)

(подпись)

Д.С. Репецкий
(инициалы, фамилия)

1 Общие положения

1.1 Цель учебной дисциплины – освоение дисциплинарных компетенций по познанию фундаментальных принципов управления объектами, методов построения моделей систем автоматического управления и исследования процессов в этих системах.

В процессе изучения дисциплины студент осваивает части следующих компетенций:

- Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач (ОПК-2);
- Способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике (ПК-1).

1.2 Задачи дисциплины:

- **изучение** организации и архитектуры систем управления объектами, методов проектирования автоматических систем, моделей вычислений, синтеза дискретных корректирующих алгоритмов;
- **формирование умения** проектировать программное обеспечение с использованием подхода, ориентированного на модель системы;
- **формирование умения** разрабатывать структурные схемы систем и ее элементы по модели функциональных алгоритмических структур;
- **формирование навыков** работы в обработке, анализе и представлении результатов исследований объектов и систем.

1.3 Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- принципы управления объектами;
- статические и астатические САУ;
- аналитические и графические модели автоматических систем;
- методы анализа качества САУ;
- методы синтеза линейных автоматических систем;
- цифровые САУ;
- нелинейные системы;
- оптимальные, адаптивные, стохастические САУ.

1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Теория автоматического управления» относится к вариативной части блока 1 Дисциплины (модули) и является обязательной при освоении ОПОП по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль подготовки «Электроснабжение».

В результате изучения дисциплины обучающийся должен освоить части указанных в пункте 1.1 компетенций и продемонстрировать следующие результаты:

• **знать:**

- основы теории автоматического управления,
- принципы управления объектами,
- математическое описание САУ,
- методы анализа устойчивости и качества автоматических систем,
- методы синтеза систем управления с ЭВМ в качестве управляющего устройства,
- методы проектирования оптимальных режимов функционирования автоматических систем,
- методы исследования автоматических систем.

• **уметь:**

- строить функциональные и структурные схемы систем управления,
- строить алгоритмические схемы систем управления в интегрированной среде MATLAB.
- выполнять построение статических и динамических характеристик исследуемых объектов и САУ;

- оценивать качество САУ;
- выполнять синтез оптимальных управляющих алгоритмов САУ;
- строить алгоритмические схемы систем управления в среде MATLAB;
- **владеть:**
 - навыками математического описания типовых динамических звеньев САУ и навыками использования их при проектировании систем;
 - навыками практической работы в интегрированной среде MATLAB для построения алгоритмических, функциональных и структурных схем систем управления;
 - навыками разработки оптимальных систем управления в среде MATLAB;
 - навыками построения статических и динамических характеристик исследуемых объектов и САУ;
 - навыками синтеза оптимальных управляющих алгоритмов САУ.

В таблице 1.1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в пункте 1.1.

Таблица 1.1 - Дисциплины, направленные на формирование компетенций

Код	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины
Общепрофессиональные компетенции			
ОПК-2	Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Математика, Физика, Химия, Экология, Электротехническое и конструктивное материаловедение, Общая энергетика, Электрические машины, Теоретическая механика, Электромагнитная совместимость в электроэнергетике, Техника высоких напряжений, Численные методы, Электромагнитные расчеты в электро-механических преобразователях	Теория оптимизации, Методы идентификации, Энергоснабжение, Электрический привод, Моделирование в электротехнике и электроэнергетике
Профессиональные компетенции			
ПК-1	Способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике	Техника высоких напряжений, Электрические и компьютерные измерения	Научно-исследовательская работа студентов, Теория оптимизации, Методы идентификации, Управление качеством

2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенции ОПК-2, ПК-1.

2.1 Дисциплинарная карта компетенции ОПК-2

Код	Формулировка компетенции
ОПК-2	Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального ис-

	следования при решении профессиональных задач
--	---

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
ОПК-2.Б1.В.05	Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при проектировании электротехнических систем управления.

Требования к компонентному составу компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции студент должен: Знать: - основы теории автоматического управления, - математическое описание САУ, - методы синтеза систем управления с ЭВМ в качестве управляющего устройства, - основные функции интегрированной среды MATLAB.	Лекции. СРС.	Вопросы к экзамену. Контрольные вопросы по текущему и промежуточному контролю.
Уметь: - строить функциональные и структурные схемы систем управления, - строить алгоритмические схемы систем управления в интегрированной среде MATLAB.	Практические занятия. Лабораторные работы. СРС.	Отчёты по лабораторным и практическим работам. Индивидуальное задание по модулю. Отчет по курсовой работе. Практические задания к экзамену.
Владеть: - навыками практической работы в интегрированной среде MATLAB для построения алгоритмических, функциональных и структурных схем систем управления; - навыками математического описания типовых динамических звеньев САУ и навыками использования их при проектировании систем.	Лабораторные работы. СРС.	Отчёты по лабораторным работам. Индивидуальное задание по модулю. Отчет по курсовой работе. Практические задания к экзамену.

2.2 Дисциплинарная карта компетенции ПК-41

Код	Формулировка компетенции
ПК-1	Способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
ПК-1. Б1.В.05	Способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике в области систем управления

Требования к компонентному составу компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенций студент	Лекции.	Вопросы к экзамену.

должен: знать: - принципы управления объектами; - методы анализа устойчивости и качества автоматических систем; - методы исследования автоматических систем;	СРС.	ну. Контрольные вопросы по текущему и промежуточному контролю.
уметь: - выполнять построение статических и динамических характеристик исследуемых объектов и САУ; - оценивать качество САУ; - выполнять синтез оптимальных управляющих алгоритмов САУ; - строить алгоритмические схемы систем управления в среде MATLAB;	Лабораторные работы. Практические занятия. СРС.	Отчёты по лабораторным и практическим работам. Индивидуальное задание по модулю. Отчет по курсовой работе. Практические задания к экзамену.
владеть: - навыками разработки оптимальных систем управления в среде MATLAB; - навыками построения статических и динамических характеристик исследуемых объектов и САУ; - навыками синтеза оптимальных управляющих алгоритмов САУ.	Лабораторные работы. СРС.	Отчёты по лабораторным работам. Индивидуальное задание по модулю. Отчет по курсовой работе. Практические задания к экзамену.

3 Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 6 ЗЕ. Количество часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость, ч	
		семестр 6	всего
1	2	3	4
1	Аудиторная (контактная работа)	68	68
	- в том числе в интерактивной форме	12	12
	- лекции (Л)	24	24
	- в том числе в интерактивной форме	6	6
	- практические занятия (ПЗ)	12	12
	- в том числе в интерактивной форме	4	4
	- лабораторные работы (ЛР)	32	32
	- в том числе в интерактивной форме	2	2
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
3	Самостоятельная работа студентов (СРС)	108	108
	- изучение теоретического материала (ИТМ)	51	51
	- расчётные работы по тематике практических занятий (РПЗ)	5	5
	- индивидуальные задания по тематике лабораторных работ (ИЗЛР)	6	6
	- индивидуальные задания по модулю (ИЗМ)	10	10
	- выполнение курсовой работы (КР)	36	36

4	Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине: <i>экзамен</i>	36	36
5	Трудоёмкость дисциплины, всего: в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ)	216 6	216 6

4 Содержание учебной дисциплины

4.1 Модульный тематический план

Общая структура содержания дисциплины представлена тематическим планом, который задаёт распределение трудоёмкости разделов и тем содержания по видам аудиторной и самостоятельной работы (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Тематический план по модулям учебной дисциплины

Номер учеб- ного мо- дуля	Номер раз- дела дис- цип- лины	Номер темы дисциплины	Количество часов и виды занятий (очная форма обучения)							Трудо- ём- кость, ч/ЗЕ	
			аудиторная работа					само- стоя- тель- ная ра- бота	Ито- го- вый кон- троль		
			всего	Л	ПЗ (С)	ЛР	КСР				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1	Введение	0,5	0,5							0,5
		1						4			4
		2	9	3	2	4		7			14
		3	2	2				12			7
											2
											5
											2
							1				1
	Всего по модулю:		11,5	5,5	2	4	1	23			35,5/0,98
2	2	4	4			4		7			9
		5	2	1	1			5			6
		6	14	4	2	8		7			21
		7	9	3	2	4		9			15
											2
											3
											1
							2				2
	Всего по модулю:		29	8	5	16	2	28			59/1,64
3	3	8	9	4	1	4		5			14
		9	10	4	2	4		9			15
		10	8	2	2	4		7			13
		Заключе- ние	0,5	0,5							0,5
											2
											2
											2
		Курсовой						36			36

	проект								
						1			1
	Всего по модулю:	27,5	10,5	5	12	1	57		85,5/2,38
Промежуточная аттестация								36	36
	Итого:	68	24	12	32	4	108	36	216/6

4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Модуль 1

Математическое описание объектов и систем автоматического управления

Л – 5,5ч, ПЗ -2ч, ЛР – 4ч, СРС – 23ч.

Раздел 1. Математическое описание объектов и систем автоматического управления

Введение. Цели, предмет и задачи курса «Теория автоматического управления»; содержание дисциплины. Исторический путь развития автоматики. Роль русских ученых в развитии теории управления и кибернетики. Управление и информатика. Библиографический список. Терминология.

Тема 1. Объекты и системы управления; классификация САУ.

Виды объектов управления: объекты с самовыравниванием и без самовыравнивания, объекты с запаздыванием. Передаточные функции объектов.

Классификация систем управления по закону изменения выходной функции, по фундаментальным принципам управления, по числу контуров и регулируемых параметров, по наличию источников вспомогательной энергии в регуляторе, по характеру изменения переменных во времени, по виду дифференциальных уравнений, описывающих работу системы, по свойствам в установившемся режиме, по виду коэффициентов в дифференциальных уравнениях, по способу оптимизации параметров.

Структурные схемы систем управления объектами: общие принципы системной организации, обобщенная структурная схема САУ, типовая структурная схема трех - координатной системы.

Тема 2. Математические модели объектов и систем управления.

Формы представления моделей систем.

Дифференциальное уравнение общего вида для 3-координатной системы управления. Линеаризация уравнения. Линеаризованное дифференциальное уравнение системы для окрестности рабочей точки. Условия линеаризации уравнения. Понятие пространства состояний объекта или системы. Решение дифференциальных уравнений САУ методом пространства состояний. Методы вычислений матрицы перехода. Матричная передаточная функция. Понятие о графах. Графы систем управления. Определение передаточной функции системы. Правило написания передаточной функции замкнутой системы управления. Преобразование систем с неединичной обратной связью к системам с единичной обратной связью. Эталонная передаточная функция системы. Определение переходной и импульсной переходной функций САУ. Интеграл свертки.

Частотные характеристики объектов и систем управления.

Теорема о предельном (конечном) значении функции. Определения статической и астатической систем по каналам управления и возмущения. Статизм регулирования. Статические и астатические регуляторы. Статические характеристики звеньев и объектов САУ. Динамические характеристики систем управления. Типовые входные воздействия.

Тема 3. Фундаментальные принципы управления.

Задачи решаемые САУ. Передаточные функции объекта по управляющему и возмущающему воздействиям. Варьируемые параметры в законе управления объектом и способы решения задач управления. Управляемость и наблюдаемость, инвариантность и чувстви-

тельность систем управления.

Принцип управления по возмущению (принцип компенсации, принцип Понселе).

Структурная схема системы управления и её описание. Достоинства принципа управления по возмущению и затруднения в реализации этого принципа. Пример реализации принципа Понселе.

Принцип обратной связи (принцип управления по отклонению контролируемой функции от входного воздействия, принцип Ползунова-Уатта).

Математическое описание и структурная схема системы регулирования выходной координаты объекта. Физические процессы в системе с реализацией принципа Ползунова-Уатта. Достоинства и недостатки принципа обратной связи. Пример реализации принципа регулирования по отклонению.

Комбинированный принцип управления.

Структурная схема системы с комбинированным принципом управления. Описание работы системы. Достоинства и недостатки комбинированного принципа управления.

Самостоятельная работа студентов

Темы для самостоятельного изучения теоретического материала (ИТМ): 1,2,3.

Индивидуальные задания на выполнение ИТМ включают:

– ЗИТМ-1 (темы 2, 3).

Тема для выполнения индивидуального задания по тематике лабораторных работ:

– ИЗЛР-1 (пункт 4.4, 5).

Тема индивидуального задания по модулю 1 (ИЗМ-1): построение ЛЧХ разомкнутых и замкнутых автоматических систем различными методами.

Модуль 2

Преобразование структурных схем и анализ устойчивости и качества САУ; синтез систем управления

Л – 8 ч, ПЗ – 5 ч, ЛР – 16 ч, СРС – 28 ч.

Раздел 2. Преобразование структурных схем и анализ устойчивости и качества САУ; синтез систем управления.

Тема 4. Типовые динамические звенья систем управления.

Статические (позиционные) звенья (апериодические звенья 1-го и 2-го порядков, колебательное звено), консервативное и неустойчивое звенья второго порядка, интегрирующие и дифференцирующие звенья, трансцендентные звенья. Переходные и передаточные функции звеньев, частотные характеристики.

Тема 5. Передаточные функции систем различной структуры и преобразование структурных схем; методика построения логарифмических частотных характеристик САУ.

Последовательное соединение звеньев, встречно-параллельное включение звеньев, последовательно-параллельное включение звеньев. Передаточные функции разомкнутых и замкнутых контуров систем. Преобразование структурных схем.

Построение логарифмических частотных характеристик статических разомкнутых систем (в форме алгоритма). Построение логарифмических частотных характеристик астатических разомкнутых систем. ЛЧХ контура с отрицательной обратной связью.

Тема 6. Устойчивость и качество САУ

Определение устойчивости. Свободные и вынужденные колебания в системе. Влияние корней характеристического уравнения системы на устойчивость. Теоремы А. М. Ляпунова. Определение критерия устойчивости САУ. Необходимые (условия Рауса) и достаточные условия устойчивости. Критерии устойчивости Гурвица и Рауса. Принцип аргумента и критерий устойчивости Найквиста. Запасы устойчивости. Структурно-устойчивые и структурно-неустойчивые системы. Абсолютно устойчивые и условно устойчивые системы.

Определение терминов "качество САУ", "показатель качества", "анализ САУ". Требования, предъявляемые к системам автоматического управления.

Анализ статических ошибок в системе. Ошибка на выходе системы и рассогласование в системе. Коэффициенты ошибок.

Анализ качества САУ в динамике: прямые и косвенные показатели качества САУ.

Методы анализа систем управления.

Понятие регуляторов состояния. Модальное управление.

Идентификация систем автоматического управления.

Тема 7. Синтез систем управления.

Этапы проектирования САУ. Методы синтеза систем управления (классическая схема, ПИД – регуляторы, метод размещения полюсов, метод ЛЧХ, комбинированное управление, множество стабилизирующих регуляторов).

Платформы, на которых строятся стабилизирующие алгоритмы:

1. Классическая (дифференциальные уравнения - временные и частотные методы);
2. Нечеткая логика;
3. Нейронные сети;
4. Гибридные алгоритмы;
5. Генетические и муравьиные алгоритмы.

Системы подчиненного регулирования переменных. Принципы построения САУ по модульному и симметричному оптимуму.

Принципы построения инвариантных систем автоматического управления. Критерий абсолютной инвариантности. Условия инвариантности систем по управляющему и возмущающему воздействиям.

Самостоятельная работа студентов

Темы для самостоятельного изучения теоретического материала: 4,5,6,7.

Индивидуальное задание на выполнение ИТМ – ЗИТМ-2 (тема 6).

Темы для выполнения индивидуальных заданий по тематике лабораторных работ:

- ИЗЛР-2 (пункт 4.4, 1);
- ИЗЛР-3 (пункт 4.4, 2);
- ИЗЛР-4 (пункт 4.4, 3);
- ИЗЛР-5 (пункт 4.4, 4).

Тема индивидуального задания по модулю 2 (ИЗМ-2): определение передаточных функций многосвязных объектов четырьмя способами.

Модуль 3

Дискретные, нелинейные, оптимальные, адаптивные, стохастические САУ

Л – 10,5 ч, ПЗ – 5, ЛР – 12 ч, СРС – 57 ч.

Раздел 3. Дискретные, нелинейные, оптимальные, адаптивные, стохастические САУ

Тема 8. Дискретные системы

Математическое описание работы дискретных САУ

Понятие импульсного (прерывистого) управления. Классификация дискретных САУ.

Микропроцессорные САУ: назначение ЦВМ в САУ, функциональная и структурная схемы, математическое описание экстраполятора нулевого порядка, выбор величины периода квантования сигналов, статическая погрешность аналого-цифрового преобразователя сигналов.

Математическое описание амплитудно-импульсного модулятора 1-го рода во временном пространстве и в пространстве Фурье. Теорема Котельникова-Шеннона. Решётчатые функции: физические процессы в аналого-цифровом преобразователе и его математическое описание посредством решётчатых функций, физические процессы в цифро-аналоговом преобразователе и решётчатая функция цифро-аналогового модулятора.

Дискретное преобразование Лапласа. Z – преобразование. Основные свойства и теоремы z – преобразования. W – преобразование.

Разностные уравнения: прямая и обратная разности, неполная и полная суммы, уравнения в конечных разностях m – го порядка, условие устойчивости систем.

Дискретная передаточная функция микроЭВМ, работающей в контуре управления аналоговым объектом. Линейный в форме разностного уравнения закон управления объектом.

Логарифмические псевдочастотные характеристики цифровых систем. Методы построения ЛПЧХ исходных (нескорректированных) разомкнутых цифровых систем.

Устойчивость работы цифровых САУ

Условие устойчивости цифровых систем. Корневой критерий устойчивости. Использование конформного отображения на основе билинейного преобразования для применения алгебраических критериев устойчивости. Критерий Гурвица. Критерий Михайлова. Критерий Найквиста. Критерий Найквиста для ЛПЧХ.

Качество работы цифровых САУ

Анализ точности работы цифровых систем в установившемся режиме. Оценка качества САУ по показателю колебательности. Три типа желаемых ЛПЧХ цифровых систем. Учёт постоянного временного запаздывания в цифровых системах.

Синтез цифровых управляющих алгоритмов цифро-аналоговых систем

Методы синтеза цифровых управляющих алгоритмов. Стандартные цифровые регуляторы. Системы с конечной длительностью затухания переходных процессов. Программная реализация алгоритмов управления в цифровых системах.

Тема 9. Нелинейные системы

Статика нелинейных систем управления

Определение нелинейной системы. Линеаризуемые и нелинеаризуемые нелинейности в системе. Принципиально новые свойства в динамике нелинейных систем.

Типовая структурная схема нелинейной системы. Виды нелинейностей: звено с релейной характеристикой, звено с зоной нечувствительности и релейной характеристикой, звено с характеристикой типа «ограничение» и с зоной нечувствительности.

Структурное преобразование нелинейной САУ к типовой.

Устойчивость нелинейных САУ

Понятие устойчивости нелинейных систем. Методы определения устойчивого положения равновесия.

Абсолютная устойчивость процессов. Критерий абсолютной устойчивости В.М.Попова.

Теорема А.М.Ляпунова (второй метод).

Анализ нелинейных объектов и систем управления

Обзор методов исследования нелинейных систем.

Метод фазовых траекторий: основные понятия о методе, свойства фазовой плоскости, построение фазовых траекторий, построение кривой переходного процесса нелинейной САУ. Анализ поведения нелинейной САУ в фазовом пространстве. Автоколебания и их устойчивость.

Метод гармонической линеаризации: общая характеристика метода гармонической линеаризации, комплексный передаточный коэффициент нелинейного элемента, уравнение Л.С.Гольдфарба, определение наличия и устойчивости автоколебаний по методам Л.С.Гольдфарба и А.А.Вавилова.

Оценка качества переходных процессов в нелинейных системах.

Некоторые вопросы синтеза нелинейных систем.

Тема 10. Оптимальные, адаптивные и стохастические САУ

Оптимальные системы

Понятие оптимальных систем управления. Задача оптимального управления. Целевая функция оптимального автоматического управления.

Базовые методы решения задач оптимального управления: классическое вариационное исчисление – теорема и уравнение Эйлера, принцип максимума Л.С. Понтрягина, динамическое программирование Р. Беллмана.

Адаптивные системы

Определение адаптивной системы. Актуальность применения адаптивных систем. Робастные системы. Классификация и примеры адаптивных систем. Методы синтеза адаптивных систем. Наблюдатели состояния. Адаптивные классические, нечёткие, нейросетевые и гибридные регуляторы.

Стохастические системы

Случайные процессы в системах. Основные характеристики случайных процессов. Функции распределения. Средние значения по времени и множеству. Гипотеза об эргодичности. Условия стационарности случайных процессов.

Корреляционные функции и их свойства. Спектральная плотность, ее связь с корреляционной функцией.

Связь вероятностных характеристик переменных линейной стационарной системы.

Методы анализа и синтеза линейных стационарных систем при случайных воздействиях. Синтез линейных систем по минимуму среднеквадратичного отклонения.

Заключение. Л – 0,5 ч.

Современные тенденции развития теории и практики САУ.

Самостоятельная работа студентов

Темы для самостоятельного изучения теоретического материала: 8,9,10.

Индивидуальное задание на выполнение ИТМ – ЗИТМ-3 (темы 8,9).

Тема для выполнения индивидуального задания по тематике лабораторных работ:

– ИЗЛР-6 (пункт 4.4, 6);

– ИЗЛР-7 (пункт 4.4, 7);

– ИЗЛР-8 (пункт 4.4, 8).

Тема индивидуального задания по модулю 3 (ИЗМ-3): реализация дискретного управляющего алгоритма САУ.

4.3 Перечень тем практических занятий

Таблица 4.2 – Темы практических занятий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия
1	2,3	Получение навыков математического описания объектов САУ.
2	5	Получение навыков построения частотных характеристик звеньев и систем управления технологическими объектами.
3	6	Получение навыков расчета устойчивости автоматических систем.
4	7	Получение навыков анализ качества САУ в статике и динамике.
5	8	Получение навыков синтеза САУ.
6	9,10	Получение навыков математического описания цифровых САУ и синтеза алгоритмов управления цифровых систем.

4.4 Перечень тем лабораторных работ

Таблица 4.3 – Темы лабораторных работ

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы лабораторной работы
--------	-----------------------	---------------------------------------

1	3,4	<i>Экспериментальное исследование динамических характеристик типовых звеньев систем управления.</i> Изучение методики проведения исследований моделей объектов САУ в интегрированной среде MATLAB 6.5 / Simulink 5. Приобретение навыков проведения исследований путём определения временных и частотных характеристик типовых звеньев систем автоматического управления. Изучение динамических свойств типовых звеньев: апериодических звеньев 1-го и 2-го порядков, колебательного, идеального и реального интегрирующих и дифференцирующих звеньев, звена чистого запаздывания, неминимально - фазового звена.
2	6	<i>Исследование устойчивости линейных систем автоматического управления.</i> Экспериментальное исследование устойчивости линейных САУ, исследование влияния параметров системы на устойчивость, определение критического передаточного коэффициента разомкнутой системы. Модельно-экспериментальное определение временных и частотных характеристик САУ. Определение запасов устойчивости. Исследование устойчивости системы управления уровнем жидкости в резервуаре. Исследование устойчивости системы управления вертикальным взлётом самолёта (аналогичен старт ракеты).
3	6	<i>Исследование качества линейных систем автоматического управления.</i> Экспериментальное исследование влияния астатизма системы и параметров САУ на качество работы в установившемся и динамическом режимах работы. Овладение методикой расчёта и способами измерения качества САУ. Принятие компромиссных решений, когда требования к качеству системы вступают в противоречие. Оценка влияния возмущения на выходную функцию системы и оценка чувствительности системы к изменению параметров.
4	7	<i>Синтез линейных систем автоматического управления.</i> Приобретение умений и навыков исследования и коррекции САУ различными методами: 1. Аналитический метод синтеза ПИД-регулятора; 2. Синтез системы управления с апериодической реакцией; 3. Синтез системы управления с корректирующей гибкой обратной связью.
5	2,7	<i>Анализ и синтез САУ методами пространства состояний.</i> Исследование моделей систем в переменных состояния (дифференциальные уравнения состояния в компактном и развёрнутом виде, сигнальные графы, алгоритмические схемы). Применение метода синтеза систем второго порядка с полной обратной связью по состоянию, метода синтеза размещением полюсов с помощью обратных связей по состоянию, метода Аккермана.
6	9	Использование программных систем MATLAB и Simulink для синтеза систем с обратными связями по состоянию. <i>Исследование нелинейных систем автоматического управления.</i> Приобретение умений и навыков расчётов и исследований нелинейных автоматических систем различными способами метода гармонического баланса.

7	8	Закрепление знаний и получение навыков использования метода фазовых траекторий. Приобретение навыков исследования и стабилизации релейных САУ. Исследование нелинейной САУ, содержащей идеальное реле (компаратор). Исследование нелинейной системы автоматического управления, содержащей нелинейность типа “люфт”. <i>Исследование импульсных и цифровых систем автоматического управления.</i>
8	10	Разработка математических моделей линейных импульсных и цифровых систем управления, анализ качества работы дискретных САУ, исследования влияния периода дискретизации на качество работы систем, синтез дискретных алгоритмов управления объектами, расчёт параметров цифровых стабилизирующих алгоритмов САУ. <i>Оптимальное управление техническими объектами.</i> Закрепление знаний и приобретение навыков разработки математических моделей для оптимальной настройки параметров ПИД-регуляторов нелинейных автоматических систем, синтеза оптимальных нелинейных алгоритмов управления объектами на основе принципа максимума Л.С.Понтрягина и метода фазовых траекторий, расчёта оптимального передаточного коэффициента разомкнутой системы и исследование его влияния на величину среднеквадратической ошибки следящей системы, расчёта оптимальной передаточной функции и анализ работы системы при случайных воздействиях.

4.5. Курсовой проект (курсовая работа)

Тема типовой курсовой работы:

«Анализ и синтез линейных стационарных систем (по вариантам)».

Цель проектирования: закрепление, обобщение и углубление полученных студентами теоретических знаний, формирование готовности работать над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и их компонентов.

В процессе выполнения проекта студент получает навыки самостоятельного решения инженерно-технических задач, навыки работы с литературой, навыки проектирования систем, рационального выбора решений в условиях противоречивых требований к системе. Защита работы помогает выработке инженерной эрудиции.

Структура и содержание работы

Техническое задание

Введение

Глава 1. *Исследование объекта управления системы*

- 1.1. Техническое описание объекта управления.
- 1.2. Формирование требований к системе управления.
- 1.3. Проектирование функциональной схемы САУ.
- 1.4. Выбор элементов функциональной схемы и определение их параметров.
- 1.5. Построение структурной схемы САУ.
- 1.6. Исследование устойчивости и качества переходных процессов.

Глава 2. *Синтез САУ классическими и современными методами*

- 2.1. Построение ЛЧХ разомкнутой нескорректированной системы регулирования скорости двигателя и определение частоты среза $\omega_{ср.исх}$.
- 2.2. Выбор формы ЛЧХ требуемой системы и оптимизация её параметров.

- 2.3. Определение оптимального закона регулирования в аналоговой и цифровой формах.
- 2.4. Исследование влияния возмущения и компенсация его влияния.

Глава 3. Синтез цифровой САУ

- 3.1. Цифровая модель позиционной системы микропроцессорного управления.
- 3.2. Выбор управляющей микроЭВМ.
- 3.3. Расчёт установившегося режима контура пути.
- 3.4. Анализ линейной цифровой нескорректированной САУ.
- 3.5. Построение ЛПЧХ и расчёт линейной программы коррекции.
- 3.6. Расчёт времени постоянного запаздывания по цепи ЦД-микроЭВМ-ЦАП.
- 3.7. Построение и анализ переходной функции линейной цифровой САУ.
- 3.8. Влияние нелинейностей на работу системы.

Заключение

Приложение

Библиографический список

4.6. Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.7. Расчетно-графические работы

- РРПЗ-1. Определение матрицы перехода и решение дифференциального уравнения в пространстве состояния в MATLAB (2 ч);
- РРПЗ-2. Расчёт параметров ПИД-регулятора методом Зиглера – Никольса (1 ч);
- РРПЗ-3. Расчёт устойчивости дискретной системы автоматического регулирования частоты вращения ротора газотурбинного двигателя (2 ч).

4.8 Темы индивидуальных заданий по тематике лабораторных работ:

- ИЗЛР-1. Синтез систем путём размещения полюсов (1 ч);
- ИЗЛР-2. Статические и динамические характеристики объектов (1 ч);
- ИЗЛР-3. Методика анализа устойчивости систем (1 ч);
- ИЗЛР-4. Показатели качества САУ (1 ч);
- ИЗЛР-5. Методы синтеза САУ (0,5 ч);
- ИЗЛР-6. Исследование нелинейных САУ методом фазовых траекторий (0,5 ч);
- ИЗЛР-7. Система управления роботом (0,5 ч);
- ИЗЛР-8. Оптимальная настройка параметров ПИД - регуляторов (0,5 ч).

В индивидуальных заданиях предусмотрено составление отчета по лабораторной работе.

4.9 Типовые темы индивидуальных заданий по модулям дисциплины:

1) **модуль 1.** ИЗМ-1. Построение ЛЧХ разомкнутых и замкнутых автоматических систем различными методами.

Время выполнения задания – 10 ч.

2) **модуль 2.** ИЗМ-2. Определение передаточных функций многосвязных объектов четырьмя способами.

Время выполнения задания – 11 ч.

3) **модуль 3. ИЗМ-3. Реализация дискретного управляющего алгоритма САУ.**
Время выполнения задания – 10 ч.

Типовые темы индивидуальных комплексных заданий по тематике дисциплины не предусмотрены.

5. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Изучение дисциплины осуществляется в течение одного семестра, график изучения дисциплины приводится п.7.
5. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

5.1 Виды самостоятельной работы студентов

Таблица 5.1 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость, часов
1	Самостоятельное изучение теоретического материала.	4
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	
2	Самостоятельное изучение теоретического материала.	5
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	2
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	
3	Самостоятельное изучение теоретического материала.	5
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	2
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	5
4	Самостоятельное изучение теоретического материала.	5
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	2
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	
5	Самостоятельное изучение теоретического материала.	4
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	1
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	
6	Самостоятельное изучение теоретического материала.	7
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	

7	Самостоятельное изучение теоретического материала.	6
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	3
8	Самостоятельное изучение теоретического материала.	5
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	
9	Самостоятельное изучение теоретического материала.	5
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	2
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	2
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	
10	Самостоятельное изучение теоретического материала.	5
	Индивидуальные задания по тематике лабораторных работ.	
	Расчётные работы по тематике практических занятий.	
	Индивидуальное задание на выполнение СРС по модулю.	2
	Курсовая работа	36
	Итого: в ч / в 3Е	108/3

5.2 Изучение теоретического материала

Тематика вопросов:

Тема №1 - Структурные схемы систем управления объектами: общие принципы системной организации, обобщенная структурная схема САУ, типовая структурная схема трех - координатной системы.

Тема №2 - Понятие пространства состояний объекта или системы. Решение дифференциальных уравнений САУ методом пространства состояний.

Тема №3 - Комбинированный принцип управления.

Тема №4 - Переходные и передаточные функции звеньев, частотные характеристики.

Тема №5 - Построение логарифмических частотных характеристик статических разомкнутых систем (в форме алгоритма).

Тема №6 - Принцип аргумента и критерий устойчивости Найквиста. Запасы устойчивости.

Тема №7 - Принципы построения САУ по модульному и симметричному оптимуму.

Тема №8 - Синтез цифровых управляющих алгоритмов цифро-аналоговых систем.

Тема №9 - Устойчивость нелинейных САУ.

Тема №10 - Адаптивные системы.

5.3 Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных и практических занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при которой учащиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности учащихся на достижение целей занятия.

6 Фонд оценочных средств дисциплины

6.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в следующей форме:

- опрос для анализа усвоения материала предыдущей лекции.

6.2 Промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Промежуточный контроль освоения заданных частей компетенций проводится по результатам выполнения различных индивидуальных заданий по видам самостоятельной работы по дисциплине.

Средствами контроля являются индивидуальные задания на выполнение запланированных видов самостоятельной работы и формы представления результатов выполненной работы.

Объектами промежуточного контроля являются компоненты заявленных дисциплинарных частей компетенций.

Формы промежуточного контроля: контрольные работы.

6.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Экзамен

Экзамен по дисциплине «Теория автоматического управления» проводится устно по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Первый теоретический вопрос относится к разделам 1 и 2, второй — к разделу 3. Задача выбрана так, чтобы выполнялось требование полного охвата содержания дисциплины. Оценка формируется с учётом полноты, точности и лаконичности ответов на вопросы билета, рациональности решения задачи и оценок текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций.

Фонд оценочных средств, включающий типовые задания, контрольные работы и методы оценки, критерии оценивания, перечень контрольных точек и таблица планирования результатов обучения, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины, входит в состав УМКД на правах отдельного документа, входят в состав РПД в виде приложения.

6.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Таблица 6.1 - Виды контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля					
	ТК	ПК	ИЗМ	ПР, ЛР	КР	Эк-замен
В результате освоения дисциплины студент:						
знает:						
– основы теории автоматического управления;	+	+				+
- методы исследования автоматических систем;	+	+				+
- методы проектирования оптимальных режимов функционирования автоматических систем;	+	+				+
- методы синтеза систем управления с ЭВМ в качестве управляющего устройства;	+	+				+
- методы анализа устойчивости и качества автоматических систем;	+	+				+
- математическое описание САУ;	+	+				+
- принципы управления объектами;	+	+				+
умеет:						
- строить функциональные и структурные схемы систем управления;			+	+	+	+
- строить алгоритмические схемы систем управления в интегрированной среде MATLAB;			+	+	+	
- выполнять построение статических и динамических характеристик исследуемых объектов и САУ;			+	+	+	+
- оценивать качество САУ;			+	+	+	+
- выполнять синтез оптимальных управляющих алгоритмов САУ;			+	+	+	+
- строить алгоритмические схемы систем управления в среде MATLAB;			+	+	+	+
владеет:						
- навыками математического описания типовых динамических звеньев САУ и навыками использования их при проектировании систем;			+	+	+	+
- навыками практической работы в интегрированной среде MATLAB для построения алгоритмических, функциональных и структурных схем систем управления;			+	+	+	
- навыками разработки оптимальных систем управления в среде MATLAB;			+	+	+	
- навыками построения статических и динамических характеристик исследуемых объектов и САУ;			+	+	+	+
- навыками синтеза оптимальных управляющих алгоритмов САУ.			+	+	+	+

ТК – текущий контроль в форме опроса для анализа усвоения материала предыдущей лекции (контроль знаний); ПК – промежуточный контроль в форме контрольных работ (контроль знаний); ПЗ, ЛР – практические занятия и лабораторные работы с подготовкой отчета (контроль умений и владений); КР – курсовая работа (контроль умений и владений); ИЗМ – индивидуальное задание по модулю (контроль умений и владений).

8 Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

8.1 Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

Б1.В.05 Теория автоматического управления.

(полное название дисциплины)

Блок 1. Дисциплины (модули)

(цикл дисциплины)

☐
☒

базовая часть цикла

вариативная часть цикла

☒
☐

обязательная

по выбору студента

13.03.02

(код направления подготовки)

Электроэнергетика и электротехника/ Электроснабжение

(полное название направления подготовки)

ЭЭ/ЭС

(аббревиатура направления подготовки)

Уровень подготовки: ☐ специалист
☒ бакалавр
☐ магистр

Форма обучения: ☒ очная
☒ заочная
☐ очно-заочная

2016

(год утверждения учебного плана ООП)

Семестр: 6

Количество групп: 1

Количество студентов: 25

Билоус Ольга Анатольевна, доцент, ЭТФ
кафедра МСА, телефон: 239-18-22,
e-mail: boa@msa.pstu.ac.ru

8.2. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1 Основная литература		
1	Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления: Учебник – СПб: Изд-во «Профессия», 2007-749 с.	52
2	Васильев Е.М., Коломыцев В.Г. Теория автоматического управления. Дискретные системы: Учебное пособие – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012-151с .	40+ЭБ
3	Васильев Е.М., Коломыцев В.Г. Теория автоматического управления. Нелинейные системы: Учебное пособие – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011-114с .	50+ЭБ
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебные и научные издания		
1	Душин С.Е., Зотов Н.С., Имаев Д.Х. и др. Под ред. В.Б.Яковлева. Теория автоматического управления: Учебник - М.: Изд-во «Высшая школа», 2005-567 с.	50
2	Иванов В.А. и др. Математические основы теории автоматического управления. В 3-х т. Под ред. Б.К. Чемоданова. М.: Изд. МГТУ, Т2, 2008-615с, Т3, 2009-350с.	Т2 – 9 Т3 – 2
3	Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью: Пер. с англ Учебник М.: Лаб. Базовых Знаний, 2001-616 с.	25
4	Лукас В.А. Теория управления техническими системами: Учебник- Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005-676с.	50
2.2 Периодические издания		
	Не используются	
2.3 Нормативно-технические издания		
	Не используются	
2.4 Официальные издания		
	Не используются	
2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины		
1	Электронная библиотека Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014- . – Режим доступа: http://elib.pstu.ru/ . – Загл. с экрана.	
2	Лань [Электронный ресурс : электрон.-библ. система : полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманит., естеств., и техн. наукам] / Изд-во «Лань». – Санкт-Петербург : Лань, 2010- . – Режим доступа: http://e.lanbook.com/ . – Загл. с экрана.	
3	Консультант Плюс [Электронный ресурс : справочная правовая система : документы и комментарии : универсал. информ. ресурс]. – Версия Проф, сетевая. – Москва, 1992– . – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, свободный	

Основные данные об обеспеченности на _____ 20____ г.
(дата составления рабочей программы)

Основная литература ☒ обеспечена ☐ не обеспечена

Дополнительная литература ☒ обеспечена ☐ не обеспечена

Зав. отделом комплектования
научной библиотеки _____ Н.В. Тюрикова

Данные об обеспеченности на _____
(дата составления рабочей программы)

Основная литература ☐ обеспечена ☐ не обеспечена

Дополнительная литература ☐ обеспечена ☐ не обеспечена

Зав. отделом комплектования
научной библиотеки _____ Н.В. Тюрикова

8.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.3.1 Перечень программного обеспечения, в том числе компьютерные обучающие и контролирующие программы

Таблица 8.1 – Программы, используемые для обучения и контроля

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Рег. номер	Назначение
1	2	3	4	5
	ЛР, ПЗ	MATLAB 7.9 Class-room	568405	Автоматизация расчетов. Моделирование систем

8.4 Аудио- и видео-пособия

Не предусмотрено

9 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

9.1 Специализированные лаборатории и классы

Таблица 9.1 – Специализированные лаборатории и классы

№ п.п.	Помещения			Площадь (м ²)	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1	Лаборатория моделирования и оптимизации электрических сетей и систем	Кафедра МСА	110	58	24

9.2 Основное учебное оборудование

Таблица 9.2 – Учебное оборудование

№ п.п.	Наименование и марка оборудования	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
	Системный блок с монитором	10	Оперативное управление	110

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		