

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИИЭ

Матвеев А.С.
« 29 » 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2019 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ заочная

Математическое моделирование электромеханических систем			
Направление подготовки/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Промышленная электротехника и автоматизация		
Специализация	Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений		
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат		
Курс	5	семестр	10
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	3		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	10	
	Практические занятия	6	
	Лабораторные занятия	10	
	ВСЕГО	26	
Самостоятельная работа, ч		82	
ИТОГО, ч		108	

Вид промежуточной аттестации	Экзамен	Обеспечивающее подразделение	ОЭЭ ИШЭ
И.о. заведующего кафедрой - руководителя отделения на правах кафедры			Ивашутенко А.С.
Руководитель ООП			Воронина Н.А.
Преподаватель			Глазырин А.С.

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ПК(У)-1	Способен осуществлять сбор и анализ данных для проектирования объектов профессиональной деятельности	И.ПК(У)-1.2	Проводит работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований для проектирования объектов профессиональной деятельности	ПК(У)-1.2B4	Владеет навыками элементарных расчетов и испытаний силовых частей и систем управления автоматизированными электроприводами и системами электрооборудования
				ПК(У)-1.2У1	Умеет применять методы математического анализа при проведении научных исследований и решении прикладных задач в профессиональной сфере
				ПК(У)-1.234	Знает общие принципы идеализации электрических, механических и электромеханических систем при их математическом описании;

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД 1	Применять информационные и информационно-коммуникационные технологии, для решения профессиональных задач по расчету и анализу электрических устройств, объектов и систем.	И.ПК(У)-1.2
РД 2	Применять базовые, математические, естественнонаучные и профессиональные знания в профессиональной деятельности	И.ПК(У)-1.2

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Общие вопросы математического моделирования электромеханических систем	РД1,	Лекции	1
		Практические занятия	1
		Лабораторные занятия	1
		Самостоятельная работа	12

Раздел 2. Методы решения систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику линейных электромеханических систем	РД1	Лекции	1
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	12
Раздел 3. Математические модели электромеханических систем и их элементов	РД1, РД2	Лекции	2
		Практические занятия	1
		Лабораторные занятия	1
		Самостоятельная работа	12
Раздел 4. Анализ выходных процессов электромеханических систем с применением классических способов решения задачи Коши	РД1, РД2	Лекции	2
		Практические занятия	1
		Лабораторные занятия	2
		Самостоятельная работа	12
Раздел 5. Анализ динамики ЭМС с применением преобразования Лапласа	РД1, РД2	Лекции	1
		Практические занятия	1
		Лабораторные занятия	2
		Самостоятельная работа	12
Раздел 6. Моделирование электромеханических систем, представленных в пространстве состояний, с применением определителей Вандермонда	РД1, РД2	Лекции	2
		Практические занятия	1
		Лабораторные занятия	2
		Самостоятельная работа	12
Раздел 7. Моделирование электромеханических систем, с применением численных методов решения дифференциальных уравнений	РД1, РД2	Лекции	1
		Практические занятия	1
		Лабораторные занятия	2
		Самостоятельная работа	10

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Общие вопросы математического моделирования электромеханических систем

Классификация электромеханических систем. Классификация моделей. Статика и динамика. Представление моделей электромеханических систем в пространстве состояний. Общая постановка задачи Коши. Показатели качества регулирования по временным и частотным характеристикам. Линейные и нелинейные модели. Модели ЭМС в пространстве состояний. Применение интегральных преобразований и операционного исчисления в математическом моделировании ЭМС. Численные методы решения нелинейных уравнений: а) метод дихотомии, б) метод касательных, в) метод секущих. Применение методов решения нелинейных уравнений для нахождения показателей качества динамики электромеханических систем. Точные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ): а) метод Крамера, б) метод обратной матрицы, в) метод Гаусса.

Темы лекций:

1. Общие вопросы математического моделирования электромеханических систем

Темы практических занятий:

1. Анализ показателей качества динамики электромеханических систем на примере фильтра низких частот.

Темы лабораторных занятий:

1. Динамические характеристики электромеханических систем.

Раздел 2. Методы решения систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику линейных электромеханических систем

Классический метод решения систем дифференциальных уравнений. Алгоритм классического метода решения систем дифференциальных уравнений. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Операторный метод решения систем дифференциальных уравнений. Прямое и обратное преобразования Лапласа. Математическое описание. Свойства преобразования Лапласа (теоремы). Таблица преобразований Лапласа. Изображения по Лапласу стандартных заводов ЭМС (ступенька, линейное, гармоническое). Преобразования по Лапласу СДУ, описывающих ЭМС, с ненулевыми начальными условиями. Решение систем дифференциальных уравнений с применением специальных теорем. Использование интеграла Дюамеля. Применение теоремы Бореля. Решение систем дифференциальных уравнений с применением определителей Вандермонда.

Темы лекций:

2. Методы решения систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику линейных электромеханических систем

Раздел 3. Математические модели электромеханических систем и их элементов

Математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями первого порядка. Математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями второго порядка. Математическая модель фильтра низких частот (ФНЧ). Математическая модель фильтра высоких частот (ФВЧ). Математическая модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ). Математические модели силовых преобразователей в электромеханических системах. Математическая модель широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Математические модели регуляторов замкнутых ЭМС. Математическая модель П-регулятора. Математическая модель ПИ-регулятора. Математические модели замкнутых электромеханических систем. Математическая модель замкнутой электромеханической системой с П-регулятором, двигателем постоянного тока независимого возбуждения и силовым преобразователем, представленным апериодическим звеном 1-го порядка. Математическая модель замкнутой электромеханической системой с ПИ-регулятором, двигателем постоянного тока независимого возбуждения и силовым преобразователем, представленным пропорциональным звеном.

Темы лекций:

3. Математические модели электромеханических систем и их элементов

Темы практических занятий:

- 2 Исследование статических и динамических режимов работы двигателя постоянного тока.

Темы лабораторных занятий:

- 2 Двигатель постоянного тока как динамическая система.

Раздел 4. Анализ выходных процессов электромеханических систем с применением классических способов решения задачи Коши

Методы решения дифференциальных уравнений, описывающих простейшие электрические цепи. Примеры на RL-, RC- и RLC-цепях. Решение задачи Коши с нулевыми начальными условиями на примере нагруженного фильтра низких частот 2-го порядка. Анализ динамики пуска, реверса, останова, наброса и сброса нагрузки ДПТ НВ с применением классических способов решения задачи Коши. Анализ динамики замкнутой электромеханической системы (пуск, реверс, торможение, наброс и сброс нагрузки) с применением классических способов решения систем дифференциальных уравнений. Моделирование нестационарной ЭМС с применением классических способов решения СДУ.

Темы лекций:

4. Анализ выходных процессов электромеханических систем с применением классических способов решения задачи Коши

Темы практических занятий:

3. Исследование электромагнитных процессов и анализ частотных характеристик

трансформаторов.

Темы лабораторных занятий:

3. Динамические процессы в силовых трансформаторах.

Раздел 5. Анализ динамики ЭМС с применением преобразования Лапласа

Решение задачи Коши на примере RL- и RC-цепей. Решение задачи Коши на примере RLC-ФНЧ 2-го порядка с нулевыми и ненулевыми начальными условиями. Анализ динамики ДПТ НВ на холостом ходу (пуск, реверс) с применением преобразования Лапласа с нулевыми и ненулевыми начальными условиями. Моделирование системы «Двуполярный ШИП – ДПТ НВ» аналитически с применением преобразования Лапласа. Моделирование нестационарной ЭМС с ДПТ НВ с применением преобразования Лапласа с ненулевыми начальными условиями.

Темы лекций:

5. Анализ динамики ЭМС с применением преобразования Лапласа

Темы практических занятий:

4. Исследование электромеханических систем с использованием передаточных функций и частотных характеристик.

Темы лабораторных занятий:

4. Характеристики электромеханических систем, представленных передаточными функциями.

Раздел 6. Моделирование электромеханических систем, представленных в пространстве состояний, с применением определителей Вандермонда

Анализ динамики RLC-ФНЧ 2-го порядка в нагруженном режиме методом Вандермонда.

Анализ динамики ДПТ НВ с применением определителя Вандермонда

Темы лекций:

6. Моделирование электромеханических систем, представленных в пространстве состояний, с применением определителей Вандермонда

Темы лабораторных занятий:

5. Исследование электромеханических систем, представленных моделями в пространстве состояний.

Раздел 7. Моделирование электромеханических систем с применением численных методов решения дифференциальных уравнений

Явные численные методы решения СДУ: а) метод Эйлера, б) метод Эйлера-Коши, в) модифицированный метод Эйлера, г) метод предсказания и коррекции, д) методы Рунге-Кутты, е) метод Рунге-Кутты-Мерсона, ж) методы Адамса-Башфорта, з) методы Фельберга, и) методы Ингланда, к) методы Нюстрема, л) методы Милна, м) методы Хемминга. Численные методы решения дифференциальных уравнений, описывающих простейшие электрические цепи. Примеры на RL-, RC- и RLC-цепях. Решение задачи Коши с нулевыми начальными условиями численными методами на примере нагруженного фильтра низких частот 2-го порядка. Анализ динамики пуска, реверса, останова, наброса и сброса нагрузки ДПТ НВ с применением численных способов решения задачи Коши. Анализ динамики замкнутой электромеханической системы (пуск, реверс, торможение, наброс и сброс нагрузки) с применением численных способов решения систем дифференциальных уравнений. Моделирование нестационарной ЭМС с применением численных способов решения СДУ.

Темы лекций:

7. Моделирование электромеханических систем с применением численных методов решения дифференциальных уравнений

Темы практических занятий:

6. Исследование статических и динамических режимов работы двигателя пе-

ременного тока.

Темы лабораторных занятий:

6. Модель двигателя переменного тока в дифференциальных уравнениях.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Выполнение домашних заданий;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ;
- Подготовка к практическим занятиям;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература:

1. Глазырин А. С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы : учебное пособие [Электронный ресурс] / А. С. Глазырин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 5.7 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – Заглавие с титульного экрана. – Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m26.pdf>
2. Моделирование систем и процессов : учебник для академического бакалавриата / Национальный исследовательский Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого (НИ СПбГПУ); под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – Москва: Юрайт, 2015. – 450 с.: ил. – Бакалавр. Академический курс. – Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru. – Библиогр.: с. 387-388. – Предметный указатель: с. 441-445. – Именной указатель: с. 446-450. – Принятые сокращения: с. 10.. – ISBN 978-5-9916-5493-7.
3. Бурулько Л. К. Математическое моделирование электромеханических систем : лабораторный практикум : учебное пособие [Электронный ресурс] / Л. К. Бурулько; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 811 KB). — Томск: Изд-во ТПУ, 2014. — Заглавие с титульного экрана. — Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m337.pdf>

Дополнительная литература:

1. Аристов А. В. Имитационное моделирование электромеханических систем : учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] / А. В. Аристов, Л. А. Паюк; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 899 KB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Заглавие с титульного экрана. – Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m164.pdf>

6.2. Информационное и программное обеспечение

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы доступны по ссылке: <http://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Google Chrome

2. Microsoft Office 2013 Standard Russian Academic
3. Document Foundation LibreOffice
4. PTC Mathcad 15 Academic Floating
5. MathWorks MATLAB Full Suite R2017b (установлено vap.tpu.ru)

7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7 348	Комплект оборудования для проведения занятий: Компьютер - 1 шт.; Телевизор - 1 шт.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7 121	Комплект оборудования для проведения занятий: Компьютер - 16 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы «Промышленная электротехника и автоматизация» по специализации «Электрооборудование, электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (прием 2019 г., заочная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность		ФИО
Доцент ОЭЭ		Глазырин А.С.

Программа одобрена на заседании отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ (протокол от «27» июня 2019 г. №6).

И.о. заведующего кафедрой - руководителя отделения
на правах кафедры ОЭЭ ИШЭ, к.т.н.

 /А.С. Ивашутенко/

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЭЭ ИШЭ / (протокол)
2020/2021 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание дисциплины 4. Обновлен список литературы	от 01.09.2020 г. №1/1
2021/2022 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание дисциплины 4. Обновлен список литературы	от 11.05.2021 г. № 6/1
2022/2023 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание дисциплины 4. Обновлен список литературы	от 29.06.2022 №6