

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрический транспорт

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.08.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>6 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>6 семестр - 28 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>6 семестр - 28 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>6 семестр - 12 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>6 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>6 семестр - 73,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>6 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Девликамов Р.М.
	Идентификатор	R220836e3-DevlikamovRM-de4b9a5

Р.М. Девликамов

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Глушенков В.А.
	Идентификатор	R5e5809b4-GlushenkovVA-5aef358

В.А. Глушенков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Румянцев М.Ю.
	Идентификатор	R4b7b75d7-RumyantsevMY-eafe305

М.Ю. Румянцев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение методов расчета и проектирования тяговых электрических машин для последующего использования при разработке тяговых электроприводов.

### Задачи дисциплины

- Дать представление об особенностях конструкции тяговых электрических машин;
- Познакомить обучающихся с методами расчета элементов тяговых машин;
- Научить принимать и обосновывать технические решения при проектировании тяговых машин.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-5 Способен учитывать параметры и характеристики основных элементов, применяемых в устройствах тягового электроснабжения	ИД-1 <sub>ПК-5</sub> Демонстрирует знание характеристик и режимов работы основного оборудования тяговых подстанций	знать: - Влияние питающего напряжения на работу тяговых машин.  уметь: - Анализировать особенности питания тяговых машин от выпрямительных установок.
ПК-5 Способен учитывать параметры и характеристики основных элементов, применяемых в устройствах тягового электроснабжения	ИД-2 <sub>ПК-5</sub> Демонстрирует понимание принципов построения и функционирования систем тягового электроснабжения	знать: - Основные источники научно-технической информации по конструкциям и стандартам защиты электромеханических преобразователей.  уметь: - Рассчитывать основные элементы тяговых электрических машин и оценивать их механическую прочность.
ПК-6 Способен рассчитывать и обеспечивать требуемые режимы работы тягового электрооборудования	ИД-2 <sub>ПК-6</sub> Демонстрирует способность производить расчет требуемых режимов работы тягового электрооборудования	знать: - Информационные технологии и современные средства компьютерной графики при проектировании тяговых машин.  уметь: - Уметь планировать экспериментальные исследования.
ПК-6 Способен рассчитывать и обеспечивать требуемые режимы работы тягового электрооборудования	ИД-3 <sub>ПК-6</sub> Демонстрирует способность производить расчет элементов тягового электрооборудования	знать: - Технические средства для измерения параметров и характеристик тяговых электрических машин.  уметь: - Самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электрический транспорт (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основные источники научно-технической информации по конструкциям и стандартам защиты электромеханических преобразователей
- знать Информационные технологии и современные средства компьютерной графики
- знать Технические средства для измерения параметров и характеристик тяговых электрических машин
- знать Методы графического отображения геометрических образов элементов тяговых машин
- уметь Рассчитывать основные элементы тяговых электрических машин
- уметь Планировать экспериментальные исследования
- уметь Самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи
- уметь Анализировать информацию о новых типах и технологиях производства тяговых машин

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания		
				Контактная работа							СР					
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль			
КПР	ГК	ИККП	ТК													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	Условия работы тяговых электрических машин	12	6	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 6</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[3], 6-9</p>		
1.1	Тяговые электрические машины	12		4	-	4	-	-	-	-	-	-	4		-	
2	Характеристики тяговых машин постоянного тока	21		4	4	4	-	1	-	-	-	-	8		-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 6 -33</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 143-233</p> <p>[3], 11-17</p> <p>[4], 20-48, 102-125</p> <p>[5], 1-15</p>
2.1	Характеристики тяговых машин постоянного тока	21		4	4	4	-	1	-	-	-	-	8		-	
3	Коммутация в машинах постоянного тока	14		5	-	4	-	-	-	-	-	-	5		-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 34 - 61</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[2], 293-295</p> <p>[3], 35-43</p>
3.1	Коммутация в машинах постоянного тока	14		5	-	4	-	-	-	-	-	-	5		-	
4	Тяговые машины пульсирующего тока	12		4	-	4	-	-	-	-	-	-	4		-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 63 - 97</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[3], 21-30</p>
4.1	Тяговые машины пульсирующего тока	12		4	-	4	-	-	-	-	-	-	4		-	
5	Бесколлекторные тяговые машины	21		5	4	4	-	-	-	-	-	-	8		-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 98 - 140</p>
5.1	Бесколлекторные	21		5	4	4	-	-	-	-	-	-	8		-	

	тяговые машины												<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], 98-138 [5], 24-30
6	Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин	10	3	-	4	-	-	-	-	-	3	-	<i><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></i> [2] <i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], 92-98
6.1	Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин	10	3	-	4	-	-	-	-	-	3	-	
7	Конструкция тяговых машин	20	3	4	4	-	1	-	-	-	8	-	<i><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></i> [1], стр. 169 - 224 <i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], 169-220
7.1	Конструкция тяговых машин	20	3	4	4	-	1	-	-	-	8	-	
	Экзамен	34.0	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	28	12	28	-	2	-	-	0.5	40	33.5	
	Итого за семестр	144.0	28	12	28		2		-	0.5		73.5	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## **3.2 Краткое содержание разделов**

### 1. Условия работы тяговых электрических машин

#### 1.1. Тяговые электрические машины

Назначение и виды электрических тяговых машин. Влияние факторов внешней среды (температура, осадки, механические частицы). Динамические нагрузки при движении электрического транспорта. Токовые нагрузки. Габаритные ограничения. Российские и международные стандарты защиты электрооборудования.

### 2. Характеристики тяговых машин постоянного тока

#### 2.1. Характеристики тяговых машин постоянного тока

Электромеханические и магнитные характеристики, номинальные и предельные параметры. Регулирование режимов работы тяговых машин. Способы регулирования скорости включением резистора в цепь якоря и изменением магнитного потока машины.

### 3. Коммутация в машинах постоянного тока

#### 3.1. Коммутация в машинах постоянного тока

Токомьем на коллекторе и требования к нему. Влияние механических возмущений на токомьем, материалы для щеточно-коллекторных узлов. Коммутация в установившихся режимах работы. Параметры, характеристики и расчет добавочных полюсов. Дугообразование на коллекторе и меры его предотвращения. Ограничения по межламельному напряжению и реактивной ЭДС, способы повышения потенциальной устойчивости тяговой машины.

### 4. Тяговые машины пульсирующего тока

#### 4.1. Тяговые машины пульсирующего тока

Область использования и особенности питания тяговых машин от выпрямительных установок. Снижение пульсаций тока. Магнитные поля в машинах пульсирующего тока. Особенности коммутационного процесса на коллекторе. Способы компенсации переменной составляющей реактивной ЭДС, особенности распределения напряжения по окружности коллектора. Добавочные потери в машинах пульсирующего тока. Регулирование скорости и силы тяги (торможения) ЭПС с тяговыми машинами пульсирующего тока.

### 5. Бесколлекторные тяговые машины

#### 5.1. Бесколлекторные тяговые машины

Сравнительные характеристики коллекторных и бесколлекторных тяговых машин. Типы бесколлекторных машин, применяемых на электрическом транспорте. Режимы работы и характеристики асинхронных тяговых машин. Частотное регулирование скорости и силы тяги (торможения). Схемы питания от статических преобразователей частоты, условия параллельной работы. Особенности конструкции и работы вентильных и линейных тяговых машин. Вентильно-индукторные тяговые машины, особенности конструкции и регулирования режимов работы.

### 6. Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин

#### 6.1. Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин

Особенности и способы импульсного регулирования на ЭПС. Элементная база и схемы импульсных регуляторов для коллекторных и бесколлекторных тяговых машин. Электромеханические и тяговые характеристики при импульсном регулировании. Особенности управления вентильно-индукторными тяговыми машинами, применение микропроцессорных систем для управления.

### 7. Конструкция тяговых машин

#### 7.1. Конструкция тяговых машин

Факторы, влияющие на конструкцию тяговых машин. Соотношения между основными параметрами тяговых машин и тяговых передач. Нагревание и охлаждение тяговых машин, допустимые температуры. Способы отвода тепла, системы вентиляции и их конструкция. Автоматизированное проектирование тяговых машин: программное обеспечение, состав исходных данных, представление результатов проектирования.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Исходные данные и методика расчета основных номинальных параметров тяговой машины;
2. Методика расчета активного слоя якоря;
3. Методика расчета магнитной цепи;
4. Методика расчета коммутации;
5. Методика расчета компенсационной обмотки;
6. Методика теплового расчета обмоток тяговой машины;
7. Методика расчета потерь и КПД в номинальном режиме работы тяговой машины.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Предельные параметры ТЭД;
2. Магнитные характеристики ТЭД;
3. Характеристики ТЭД в режиме электрического торможения;
4. Использование метода тепловых схем для определения нагрева ТЭД.

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)							Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7		
<b>Знать:</b>										
Влияние питающего напряжение на работу тяговых машин	ИД-1ПК-5				+					Контрольная работа/Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин
Основные источники научно-технической информации по конструкциям и стандартам защиты электромеханических преобразователей	ИД-2ПК-5								+	Контрольная работа/Коммутация в машинах постоянного тока
Информационные технологии и современные средства компьютерной графики при проектировании тяговых машин	ИД-2ПК-6		+	+						Контрольная работа/Характеристики тяговых машин постоянного тока
Технические средства для измерения параметров и характеристик тяговых электрических машин	ИД-3ПК-6				+					Контрольная работа/Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин
<b>Уметь:</b>										
Анализировать особенности питания тяговых машин от выпрямительных установок	ИД-1ПК-5			+		+				Контрольная работа/Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин
Рассчитывать основные элементы тяговых электрических машин и оценивать их механическую прочность	ИД-2ПК-5	+								Контрольная работа/Характеристики тяговых машин постоянного тока
Уметь планировать экспериментальные исследования	ИД-2ПК-6								+	Контрольная работа/Бесколлекторные тяговые машины
Самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи	ИД-3ПК-6							+		Контрольная работа/Коммутация в машинах постоянного тока

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**6 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Бесколлекторные тяговые машины (Контрольная работа)
2. Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин (Контрольная работа)
3. Коммутация в машинах постоянного тока (Контрольная работа)
4. Характеристики тяговых машин постоянного тока (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №6)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Розенфельд, В. Е. Теория электрической тяги : Учебник для вузов железнодорожного транспорта / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Транспорт, 1983 . – 328 с.;
2. Беспалов, В. Я. Электрические машины : учебник для вузов по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец . – 4-е изд., перераб. и доп . – М. : Академия, 2013 . – 320 с. – (Высшее профессиональное образование . Бакалавриат) . - ISBN 978-5-7695-8497-8 .;
3. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины : учебник для вузов по специальностям железнодорожного транспорта / Д. Д. Захарченко . – М. : Транспорт, 1991 . – 343 с. - ISBN 5-277-01514-0 .;
4. Битюцкий И. Б., Музылева И. В.- "Электрические машины. Двигатель постоянного тока. Курсовое проектирование", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (168 с.) <https://e.lanbook.com/book/169008>;
5. Абакумов А. М., Григоровский Б. К.- "Конспект лекций по дисциплине "Электрические машины и электропривод". Ч. 1" Ч. 1, Издательство: "СамГУПС", Самара, 2006 - (135 с.) <https://e.lanbook.com/book/130260>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Компас 3D;
2. Scilab;
3. AutoCAD/ T Flex CAD (версия для обучающихся и преподавателей).

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
11. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
12. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
13. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
14. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
15. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
16. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
17. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Т-402, Учебная аудитория	стол, стул, трибуна, вешалка для одежды, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, указка лазерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-406, Вычислительный центр	стол, стол компьютерный, стул, шкаф, доска маркерная, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Т-406, Вычислительный центр	стол, стол компьютерный, стул, шкаф, доска маркерная, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-403, Учебная аудитория	стол, стул, трибуна, вешалка для одежды, доска меловая, мультимедийный проектор, ноутбук, стенд информационный
Помещения для самостоятельной работы	Т-124а, Кабинет сотрудников	стул, шкаф для документов, стол письменный
Помещения для консультирования	Т-201, Кабинет сотрудников	стеллаж для хранения книг, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-120, Кабинет сотрудников	стол, стул, шкаф



## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Тяговые электрические машины

(название дисциплины)

#### 6 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Характеристики тяговых машин постоянного тока (Контрольная работа)
- КМ-2 Коммутация в машинах постоянного тока (Контрольная работа)
- КМ-3 Бесколлекторные тяговые машины (Контрольная работа)
- КМ-4 Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Условия работы тяговых электрических машин					
1.1	Тяговые электрические машины		+			
2	Характеристики тяговых машин постоянного тока					
2.1	Характеристики тяговых машин постоянного тока		+			
3	Коммутация в машинах постоянного тока					
3.1	Коммутация в машинах постоянного тока		+			+
4	Тяговые машины пульсирующего тока					
4.1	Тяговые машины пульсирующего тока					+
5	Бесколлекторные тяговые машины					
5.1	Бесколлекторные тяговые машины					+
6	Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин					
6.1	Импульсные регуляторы напряжения и возбуждения тяговых машин			+		
7	Конструкция тяговых машин					
7.1	Конструкция тяговых машин			+	+	
Вес КМ, %:			25	25	25	25