

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрические аппараты управления и распределения энергии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 5; 2 семестр - 6; всего - 11
Часов (всего) по учебному плану:	396 часа
Лекции	1 семестр - 16 часов; 2 семестр - 32 часа; всего - 48 часа
Практические занятия	1 семестр - 16 часов; 2 семестр - 16 часов; всего - 32 часа
Лабораторные работы	2 семестр - 16 часов;
Консультации	1 семестр - 18 часов; 2 семестр - 18 часов; всего - 36 часа
Самостоятельная работа	1 семестр - 125,2 часа; 2 семестр - 129,2 часа; всего - 254,4 часа
в том числе на КП/КР	1 семестр - 44,7 часа; 2 семестр - 44,7 часа; всего - 89,4 часа
Иная контактная работа	1 семестр - 4 часа; 2 семестр - 4 часа; всего - 8 часов
включая: Лабораторная работа Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсового проекта	1 семестр - 0,4 часа;
Экзамен	1 семестр - 0,4 часа;
Защита курсового проекта	2 семестр - 0,4 часа;
Экзамен	2 семестр - 0,4 часа;
	всего - 1,6 часа

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ведешенков Н.А.
	Идентификатор	RBe190841-VedeshenkovNA-05f6da

Н.А. Ведешенков


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киселев М.Г.
	Идентификатор	R572ca413-KiselevMG-f37ee096

М.Г. Киселев

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киселев М.Г.
	Идентификатор	R572ca413-KiselevMG-f37ee096

М.Г. Киселев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение современных методов проектирования и конструирования электромеханических аппаратов автоматики, высоковольтных электрических аппаратов управления и защиты, системных аппаратов управления и аппаратов распределительных устройств, аппаратов высокого напряжения.

Задачи дисциплины

- познакомиться с этапами инженерного проектирования электрических аппаратов и современными средствами автоматизации проектирования технических объектов;;
- получить информацию об особенностях проектирования и расчета электромеханических аппаратов автоматики, высоковольтных электрических аппаратов управления и защиты, системных аппаратов управления и аппаратов распределительных устройств, аппаратов высокого напряжения и методах расчетов их узлов;
- научиться принимать и обосновывать конкретные технические решения при проектировании и конструировании электромеханических аппаратов автоматики, высоковольтных электрических аппаратов управления и защиты, системных аппаратов управления и аппаратов распределительных устройств, аппаратов высокого напряжения, оценивать экономическую эффективность принимаемых решений.

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-2 Способен по результатам исследований выбирать и проектировать новые эффективные технические решения в области профессиональной деятельности	ИД-1 _{ПК-2} Анализирует надежность электротехнических объектов на стадии проектирования	знать: - лк3-2 Теоретические основы инженерных методов расчёта процессов при гашении дуги; - лк2-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта параметров контактной системы; - лк1-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта контактных систем при коммутации; - лк3-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта электромагнитных систем; - лк4-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта динамики срабатывания; - лк1-2 Критерии оценки эффективности дугогасительных систем; - лк2-2 Теоретические основы инженерных методов расчёта параметров дугогасительной системы.
ПК-2 Способен по результатам исследований выбирать и проектировать новые эффективные технические решения в области профессиональной деятельности	ИД-2 _{ПК-2} Формулирует критерии оптимальности при выборе известных технических решений и проектировании новых электротехнических объектов	знать: - лр4-1 Особенности устройства контактных систем; - лр3-1 Особенности динамики работы; - лр2-1 Особенности устройства электромагнитных систем; - лр1-1 Особенности устройства дугогасительных систем.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
деятельности		уметь: - лр4-1 Экспериментально определять характеристики контактных систем; - лр3-1 Экспериментально определять динамические характеристики коммутационного оборудования; - лр2-1 Экспериментально определять характеристики электромагнитных систем; - лр1-1 Экспериментально определять характеристики дугогасительных систем.
ПК-2 Способен по результатам исследований выбирать и проектировать новые эффективные технические решения в области профессиональной деятельности	ИД-4 _{ПК-2} Применяет стандартные средства автоматизированного проектирования электротехнических устройств и прикладные программы для проектирования элементов электрических и электронных аппаратов	знать: - лк4-2 Подходы к математическому моделированию низковольтного коммутационного оборудования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электрические аппараты управления и распределения энергии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать законы в области естественнонаучных дисциплин;
- знать основы теории электрических аппаратов: тепловые процессы, электромагнитные явления, электродинамические процессы, коммутационные и дуговые процессы;
- знать методы анализа научно-технической информации, отечественной и зарубежной литературы по тематике исследования.
- уметь использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области;
- уметь использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- уметь выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

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 11 зачетных единиц, 396 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	1. Общие вопросы проектирования ЭА	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение теоретического материала для подготовки к лекциям. Перед каждой лекцией студенту, в соответствии с указанием преподавателя, необходимо ознакомиться с разделами учебника.</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], пп. 1.1 и 1.2, стр. 12–25</p>	
1.1	1.1 Основные подходы к проектированию электрических аппаратов.	3		1	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
2	2. Инженерные методы расчёта контактной системы	19		3	-	4	-	-	-	-	-	12	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение теоретического материала для подготовки к лекциям. Перед каждой лекцией студенту, в соответствии с указанием преподавателя, необходимо ознакомиться с разделами учебника.</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [6], п. 7.1–7.4, стр. 257–285 [9], стр. 8-27</p>
2.1	2.1 Понятие электрического контакта	3		1	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
2.2	2.2 Физические явления в контактах.	16		2	-	4	-	-	-	-	-	10	-		
3	3. Инженерные методы расчёта электромагнитной системы	28		7	-	4	-	2	-	-	-	15	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение теоретического материала для подготовки к лекциям. Перед каждой лекцией студенту, в соответствии с указанием преподавателя, необходимо ознакомиться с разделами учебника.</p>
3.1	3.1 Расчёты приводов контакторов постоянного и	18		2	-	4	-	2	-	-	-	10	-		

	переменного токов.												<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], п. 7.1–7.4, стр. 144–191 [4], гл. 10, стр. 359–399
3.2	3.2 Динамика процессов включения электромагнитов.	2	1	-	-	-	-	-	-	1	-		
3.3	3.3 Расчёт магнитных систем расцепителей автоматических выключателей.	4	2	-	-	-	-	-	-	2	-		
3.4	3.4 Расчёт трансформаторов тока.	4	2	-	-	-	-	-	-	2	-		
4	4. Инженерные методы расчёта токоведущей системы	31	5	-	8	-	-	-	-	18	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение теоретического материала для подготовки к лекциям. Перед каждой лекцией студенту, в соответствии с указанием преподавателя, необходимо ознакомиться с разделами учебника. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [6], п. 5.1–5.4, стр. 185–205 [11], пп. 3.1	
4.1	4.1 Расчёт параметров токоведущей системы.	13	1	-	4	-	-	-	-	8	-		
4.2	4.2 Расчёт напряжённости собственного магнитного поля.	4	2	-	-	-	-	-	-	2	-		
4.3	4.3 Расчёт тепловых расцепителей автоматических выключателей.	14	2	-	4	-	-	-	-	8	-		
	Экзамен	33.9	-	-	-	-	-	-	0.4	-	33.5		
	Курсовой проект (КП)	65.1	-	-	-	16	-	4	-	0.4	44.7	-	
	Всего за семестр	180.0	16	-	16	16	2	4	-	0.8	91.7	33.5	
	Итого за семестр	180.0	16	-	16	18		4		0.8	125.2		
5	5. Инженерные методы расчёта дугогасительной системы	59	2	28	4	-	-	-	-	-	27	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение теоретического материала для подготовки к лекциям. Перед каждой лекцией студенту, в соответствии с указанием преподавателя, необходимо ознакомиться с разделами учебника. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], пп. 3.2, стр. 349-398
5.1	5.1 Условие гашение дуги постоянного тока.	2	1	-	-	-	-	-	-	1	-		
5.2	5.2 Условия гашения дуги постоянного тока	2	1	-	-	-	-	-	-	1	-		
5.3	5.3 Расчёт параметров	4	2	-	-	-	-	-	-	2	-		

8.1	8.1 Программное обеспечение для численного анализа электромагнитной системы	3	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [12], пп. 1 [14], пп. 1
8.2	8.2 Постановка задачи на моделирование электромагнитной системы	10	-	4	2	-	-	-	-	-	4	-	
9	9. Численные методы расчёта токоведущей системы	9	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Численные методы расчёта токоведущих систем" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [12], пп. 1
9.1	9.1 Программное обеспечение для численного анализа тепловых процессов.	3	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	
9.2	9.2 Постановка задачи на моделирование тепловых процессов	6	-	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
10	10. Численные методы расчёта механической системы	13	-	4	4	-	-	-	-	-	5	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Численные методы расчёта механической системы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [13], пп. 1
10.1	10.1 Программное обеспечение для численного анализа динамики работы механической системы.	3	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	
10.2	10.2 Постановка задачи на моделирование механической системы	10	-	4	2	-	-	-	-	-	4	-	
	Экзамен	35.9	-	-	-	-	2	-	-	0.4	-	33.5	
	Курсовой проект (КП)	65.1	-	-	-	16	-	4	-	0.4	44.7	-	
	Всего за семестр	216.0	32	16	16	16	2	4	-	0.8	95.7	33.5	
	Итого за семестр	216.0	32	16	16	18	4	0.8	129.2				
	ИТОГО	396.0	-	48	16	32	36	8	1.6	254.4			

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. 1. Общие вопросы проектирования ЭА

1.1. 1.1 Основные подходы к проектированию электрических аппаратов.

Классификация объектов проектирования.. Общие понятия и определения.. Основные задачи, решаемые в автоматизированном проектировании.. Этапы проектирования: этап формирования технического задания, этап предварительного проектирования, этап эскизного проектирования.. Автоматизация, как путь повышения качества и эффективности проектирования.. Особенности проектирования сильноточных аппаратов..

2. 2. Инженерные методы расчёта контактной системы

2.1. 2.1 Понятие электрического контакта

Виды контактов.. Функции контактов.. Материалы контактов..

2.2. 2.2 Физические явления в контактах.

Явления при размыкании контактов.. Жидкометаллический мостик.. Эрозия контактов слаботочных и сильноточных.. Стабилизирующий эффект металлокерамических контактов.. Сваривание контактов..

3. 3. Инженерные методы расчёта электромагнитной системы

3.1. 3.1 Расчёты приводов контакторов постоянного и переменного токов.

Критерии выбора типа магнитных систем приводов.. Методы расчётов проводимостей магнитных систем.. Определение параметров ампервитков срабатывания при известных значениях противодействующих сил и зазоров магнитных систем..

3.2. 3.2 Динамика процессов включения электромагнитов.

Переходные процессы в электромагнитах постоянного и переменного тока.. Факторы, влияющие на динамику переходных процессов.. Сравнение расчётных значений токов катушке и токами срабатывания расцепителей с экспериментальными.

3.3. 3.3 Расчёт магнитных систем расцепителей автоматических выключателей.

Расчёт параметров магнитных систем расцепителей автоматических выключателей.. Методы расчётов проводимостей магнитных систем.. Определение параметров ампервитков срабатывания при известных значениях противодействующих сил и зазоров магнитных систем, сравнение с экспериментальными и паспортными характеристиками..

3.4. 3.4 Расчёт трансформаторов тока.

Трансформатор тока электромагнитного принципа действия.. Оценка параметров магнитной цепи в зависимости от коэффициента трансформации и области применения трансформатора.. Определение размеров магнитопровода при равномерном размещении вторичной обмотки, определения её вторичных параметров..

4. 4. Инженерные методы расчёта токоведущей системы

4.1. 4.1 Расчёт параметров токоведущей системы.

Определение параметров токоведущей системы аппарата, определение коэффициента теплоотдачи для различных конструкций аппарата.. Конструирование контактных узлов, обеспечивающих максимальную величину напряжённости собственного магнитного поля..

4.2. 4.2 Расчёт напряжённости собственного магнитного поля.

Конструктивные особенности контактных узлов и их влияние на поведение дуги при размыкании контактов.. Влияние конфигурации токоведущего контура и сечения токоведущих элементов на величину полубесконечной длины токоведущего контура сечения, обеспечивающего получение максимальной величины напряжённости собственного магнитного поля.

4.3. 4.3 Расчёт тепловых расцепителей автоматических выключателей.

Допущения, принимаемые при расчётах, способы нагрева биметаллов.. Конструктивные особенности исполнения биметаллических расцепителей и их связь с методикой расчётов.. Требования к материалам биметаллов тепловых расцепителей..

5. 5. Инженерные методы расчёта дугогасительной системы

5.1. 5.1 Условие гашение дуги постоянного тока.

Баланс носителей в столбе дуги.. Аппроксимация вольтамперной характеристики дуги.. Токи критических условий гашения дуги.. Требования к выбору раствора контактов контакторов, системе магнитного дутья..

5.2. 5.2 Условия гашения дуги постоянного тока

Факторы, определяющие восстанавливаемую прочность: раствор контактов, материалы контактов, скорость расхождения контактов, тип дугогасительного устройства, особенность перемещения дуги по контактам.. Влияние напряжённости собственного магнитного поля токоведущего контура на значение восстанавливаемой прочности..

5.3. 5.3 Расчёт параметров дугогасительных систем постоянного тока с серийной системой магнитного дутья.

Требования к выбору раствора контактов, критерии к определению напряжённости внешнего магнитного поля, обеспечивающего минимальный износ контактов.. Анализ конфигурации контактно дугогасительной системы, обеспечивающий оптимальный вход дуги в систему дугогашения.. Выбор геометрии параметров лабиринтной системы дугогашения с серийной дугогасительной системой..

5.4. 5.4 Расчёт параметров дугогасительных систем постоянного тока с шунтовой системой магнитного дутья.

Области наиболее эффективного использования.. Требования к выбору раствора контактов, критерии к определению напряжённости внешнего магнитного поля, обеспечивающего минимальный износ контактов.. Анализ конфигурации контактно дугогасительной системы, обеспечивающий оптимальный вход дуги в систему дугогашения.. Выбор геометрии параметров широкощелевой системы дугогашения с шунтовой дугогасительной системой..

5.5. 5.5 Комбинированная система дугогашения на постоянном токе.

Требования к системе дугогашения со стороны нагрузки.. Влияние типа дугогасительной системы на перенапряжения при отключении индуктивной нагрузки.. Комбинированная система дугогашения, состоящей из двух последовательно соединённых полюсов с шунтовым магнитным дутьём и полюс с ферромагнитной скобой..

5.6. 5.6 Дугогасительная система с ферромагнитной скобой на постоянном и переменном токе.

Физические явления, происходящие в процессе гашения дуги при использовании ферромагнитной скобы при отключении номинальных токов и токов в режиме редких коммутаций.. Требования к конструктивным параметрам скобы исходя их режимов коммутации в зависимости от частоты отключений..

5.7. 5.7 Газодинамические факторы при взаимодействии дуги с решёткой.

Газодинамические процессы при взаимодействии дуги с решёткой.. Давление и противодействие ударных волн перед решёткой.. Влияние числа пластин на противодействие перед решёткой.. Влияние различных факторов на время подхода и задержки перед пластинами.. Зависимость давления от расстояния между пластинами и от скорости движения дуги..

5.8. 5.8 Физика процессов взаимодействия дуги с ферромагнитной решёткой.

Силы взаимодействия дуги с ферромагнитной решёткой.. Факторы, влияющие на процесс вхождения дуги в решётку, граничные перепады напряжений для организации опорного пятна.. Факторы влияющие на создание опорного пятна на пластинах решётки.. Факторы влияющие на процесс вхождения дуги в решётку, толщина пластин и расстояние между пластинами..

5.9. 5.9 Факторы, влияющие на эффективность применения дугогасительной решётки.

Падение напряжения на единичном промежутке в дугогасительной камере с ферромагнитными пластинами.. Влияние расстояние между пластинами на степень эффективности отдачи тепла в пластины.. Влияние частоты переменного тока на эффективность входа дуги в промежутки.. Конструктивные модификации, способствующие использованию ферромагнитных пластин на высокой частоте..

5.10. 5.10 Падение напряжения на единичном промежутке в дугогасительной камере с ферромагнитными пластинами.

Влияние расстояние между пластинами на степень эффективности отдачи тепла в пластины.. Влияние частоты переменного тока на эффективность входа дуги в промежутки.. Конструктивные модификации, способствующие использованию ферромагнитных пластин на высокой частоте.. Влияние материала контактов на восстанавливающуюся прочность, температура анода перед переходом тока через нуль и факторы, влияющие на это.. Влияние характера нагрузки и момента размыкания контактов, частоты восстанавливающегося напряжения, влияние конфигурации токоведущей системы на начальную восстанавливающуюся прочность..

5.11. 5.11 Перспективные дугогасительные устройства.

Модификации дугогасительных систем типа дугогасительная решётка.. Использование постоянных магнитов и регулируемого по величине и направления напряжённости внешнего магнитного поля.. Использование керамических дугогасительных решёток с серийным магнитным дутьём..

5.12. 5.12 Расчёт дугогасительных систем в элегазовых выключателях.

Принцип гашения в элегазе.. Физико - технические особенности элегаза от воздуха и возможности их использования.. Конструктивные особенности контактных систем.. Требования к приводу в зависимости от принципа гашения в элегазе..

5.13. 5.13 Расчёт дугогасительных систем в вакуумных выключателях.

Расчёт отключающей способности ВДК и выбор контактной системы.. Определение параметров токоведущего контура с использованием тепловой модели расчета эрозии силовых контактов на основе тепловых режимов токоведущих частей и магнитных полей.. Применение прикладного программного обеспечения для проектирования ВДК.. Выбор изоляционных промежутков в ВДК.. Конструктивное выполнение элементов ВДК.. Особенности технологического изготовления ВДК..

6. 6. Особенности проектирования токоограничивающих аппаратов

6.1. 6.1 Механическая система токоограничивающих аппаратов.

Требования к динамике срабатывания.. Конструктивные возможности аппаратов, обеспечивающие их реализацию.. Расчёты контактных и возвратных отключающих пружин..

6.2. 6.2 Дугогасительная и контактная системы токоограничивающих аппаратов.

Материалы контактов и требования к их характеристикам.. Требования к дугогасительным системам реализующих минимальное время отключения..

7. 7. Численные методы расчёта контактной системы

7.1. 7.1 Программное обеспечение для численного анализа контактной системы
Системные требования.. Особенности интерфейса.. Задание геометрии..

7.2. 7.2 Постановка задачи на моделирование контактной системы

Выбор модуля для моделирования.. Формирование исходных данных.. Задание граничных условий.. Настройка решателя.. Обработка и интерпретация результатов моделирования..

8. 8. Численные методы расчёта электромагнитной системы

8.1. 8.1 Программное обеспечение для численного анализа электромагнитной системы
Системные требования.. Особенности интерфейса.. Особенности задание геометрии модели..

8.2. 8.2 Постановка задачи на моделирование электромагнитной системы

Формирование исходных данных.. Настройка модели.. Настройка решателя.. Обработка и интерпретация результатов моделирования..

9. 9. Численные методы расчёта токоведущей системы

9.1. 9.1 Программное обеспечение для численного анализа тепловых процессов.

Системные требования.. Особенности интерфейса.. Особенности задание геометрии модели..

9.2. 9.2 Постановка задачи на моделирование тепловых процессов

Выбор модуля для моделирования.. Формирование исходных данных.. Настройка модели.. Настройка решателя.. Обработка и интерпретация результатов моделирования..

10. 10. Численные методы расчёта механической системы

10.1. 10.1 Программное обеспечение для численного анализа динамики работы механической системы.

Системные требования.. Особенности интерфейса.. Особенности задания геометрии модели..

10.2. 10.2 Постановка задачи на моделирование механической системы

Выбор модуля для моделирования.. Формирование исходных данных.. Настройка модели.. Настройка решателя.. Обработка и интерпретация результатов моделирования..

3.3. Темы практических занятий

1. Создание математической модели контактной системы;
2. Создание математической модели электромагнитной системы;
3. Создание математической модели токоведущей системы;
4. Создание математической модели механической системы.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование дугогасительного устройства аппарата-прототипа;
2. Исследование электромагнитной подсистемы аппарата-прототипа;
3. Исследование динамики работы аппарата-прототипа;
4. Исследование контактной системы и электрической дуги аппарата-прототипа.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Дугогасительная система"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Токоограничение"

Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. В рамках часов на консультации выдаётся задание на КП в виде прототипа аппарата и со студентом в индивидуальном порядке обсуждаются основные особенности его конструкции. Подход к созданию конструктивного изображения аппарата в 3D, возможные упрощения компьютерной модели по сравнению с прототипом.
2. В рамках часов на консультации студенту даются индивидуальные методические рекомендации по измерению и расчёту переходного сопротивления контактов и контактного усилия прототипа.
3. В рамках часов на консультации студенту даются индивидуальные методические рекомендации по измерению и расчёту тяговой характеристики электромагнитного привода прототипа, а также измерению противодействующих характеристик, включая жесткости возвратной и контактной пружин.
4. В рамках консультации студенту даются индивидуальные методические рекомендации по измерению и расчёту параметров токоведущих шин. Обсуждаются вопросы влияния токоведущей системы на динамические характеристики аппарата.
5. Консультации проводятся по разделу "Численные методы расчёта контактной системы"
6. Консультации проводятся по разделу "Численные методы расчёта электромагнитной системы"
7. Консультации проводятся по разделу "Численные методы расчёта токоведущей системы"
8. Консультации проводятся по разделу "Численные методы расчёта механической системы"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

1 Семестр

Курсовой проект (КП)

Темы:

- Проектирование силовоточного коммутационного аппарата. Изучение конструкции и экспериментальное определение характеристик аппарата-прототипа.

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 16	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	4	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	15	25	25	35	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	15	40	65	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Измерение параметров контактно-токоведущей системы и её графическое представление
2	Исследование динамических параметров аппарата-прототипа
3	Построение нагрузочных характеристик аппарата-прототипа
4	Получение расчётным путём тяговой характеристики электромагнита контактора или магнитного расцепителя автоматического выключателя

2 Семестр

Курсовой проект (КП)

Темы:

- Проектирование силовоточного коммутационного аппарата. Расчёт параметров проектируемого аппарата.

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 16	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	4	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	15	20	35	30	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	15	35	70	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Расчёт параметров контактно-токоведущей системы
2	Определение параметров дугогасительной системы
3	Выполнение тепловых расчётов токоведущих систем в статическом и динамическом режимах
4	Расчёт динамических параметров аппарата прототипа с применением программного средства EasyMag 3D

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	8	9	10	
Знать:												
лк2-2 Теоретические основы инженерных методов расчёта параметров дугогасительной системы	ИД-1ПК-2					+						Контрольная работа/КР2-2. Процессы дугогашения в дугогасительных системах постоянного и переменного тока
лк1-2 Критерии оценки эффективности дугогасительных систем	ИД-1ПК-2					+						Контрольная работа/КР1-2. Оценка эффективности дугогасительных систем постоянного и переменного тока
лк4-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта динамики срабатывания	ИД-1ПК-2			+	+							Контрольная работа/КР4-1. Факторы, влияющие на динамику срабатывания контакторов и магнитных расцепителей
лк3-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта электромагнитных систем	ИД-1ПК-2			+								Контрольная работа/КР3-1. Задачи расчётов параметров магнитных систем приводов контакторов постоянного и переменного тока или расцепителей автоматических выключателей
лк1-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта контактных систем при коммутации	ИД-1ПК-2	+	+									Контрольная работа/КР1-1. Особенность явлений в контактах при включении и размыкании контактов с током
лк2-1 Теоретические основы инженерных методов расчёта параметров контактной системы	ИД-1ПК-2		+									Контрольная работа/КР2-1. Явления в контактах силовых аппаратов
лк3-2 Теоретические основы инженерных методов расчёта процессов при гашении дуги	ИД-1ПК-2					+	+					Контрольная работа/КР3-2. Особенности восстанавливающейся прочности в дуге низкого напряжения
лр1-1 Особенности устройства дугогасительных систем	ИД-2ПК-2							+				Лабораторная работа/ЛР1. Исследование дугогасительных устройств аппарата-прототипа
лр2-1 Особенности устройства	ИД-2ПК-2								+			Лабораторная работа/ЛР2. Исследование

электромагнитных систем												электромагнитной подсистемы аппарата-прототипа
лр3-1 Особенности динамики работы	ИД-2ПК-2										+	Лабораторная работа/ЛР3. Исследование динамики работы аппарата-прототипа
лр4-1 Особенности устройства контактных систем	ИД-2ПК-2										+	Лабораторная работа/ЛР4. Исследование контактной системы и электрической дуги аппарата-прототипа
лк4-2 Подходы к математическому моделированию низковольтного коммутационного оборудования	ИД-4ПК-2							+	+	+	+	Контрольная работа/КР4-2. Компьютерные программные средства для моделирования и анализа процессов при расчётах контакторов или автоматических выключателей
Уметь:												
лр1-1 Экспериментально определять характеристики дугогасительных систем	ИД-2ПК-2							+				Лабораторная работа/ЛР1. Исследование дугогасительных устройств аппарата-прототипа
лр2-1 Экспериментально определять характеристики электромагнитных систем	ИД-2ПК-2									+		Лабораторная работа/ЛР2. Исследование электромагнитной подсистемы аппарата-прототипа
лр3-1 Экспериментально определять динамические характеристики коммутационного оборудования	ИД-2ПК-2										+	Лабораторная работа/ЛР3. Исследование динамики работы аппарата-прототипа
лр4-1 Экспериментально определять характеристики контактных систем	ИД-2ПК-2										+	Лабораторная работа/ЛР4. Исследование контактной системы и электрической дуги аппарата-прототипа

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. КР1-1. Особенность явлений в контактах при включении и размыкании контактов с током (Контрольная работа)
2. КР2-1. Явления в контактах силовых аппаратов (Контрольная работа)
3. КР3-1. Задачи расчётов параметров магнитных систем приводов контакторов постоянного и переменного тока или расцепителей автоматических выключателей (Контрольная работа)
4. КР4-1. Факторы, влияющие на динамику срабатывания контакторов и магнитных расцепителей (Контрольная работа)

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. КР1-2. Оценка эффективности дугогасительных систем постоянного и переменного тока (Контрольная работа)
2. КР2-2. Процессы дугогашения в дугогасительных системах постоянного и переменного тока (Контрольная работа)
3. КР3-2. Особенности восстанавливающейся прочности в дуге низкого напряжения (Контрольная работа)
4. КР4-2. Компьютерные программные средства для моделирования и анализа процессов при расчётах контакторов или автоматических выключателей (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. ЛР1. Исследование дугогасительных устройств аппарата-прототипа (Лабораторная работа)
2. ЛР2. Исследование электромагнитной подсистемы аппарата-прототипа (Лабораторная работа)
3. ЛР3. Исследование динамики работы аппарата-прототипа (Лабораторная работа)
4. ЛР4. Исследование контактной системы и электрической дуги аппарата-прототипа (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №1)

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».)

Курсовой проект (КП) (Семестр №1)

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».)

Курсовой проект (КП) (Семестр №2)

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».)

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Акимов Е. Г., Белкин Г. С., Годжелло А. Г., Дегтярь В. Г.- "Основы теории электрических аппаратов", (5-е изд., перераб. и доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2015 - (592 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=61364;
2. Электрические и электронные аппараты : учебник для вузов по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" : в 2 т / Ред. А. Г. Годжелло, Ю. К. Розанов . – М. : АКАДЕМИЯ, 2010 . – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-6254-9 . Т.1 : Электромеханические аппараты / Е. Г. Акимов, [и др.] ; Ред. А. Г. Годжелло, Ю. К. Розанов . – 2010 . – 352 с. - ISBN 978-5-7695-6253-2 .;
3. Норенков И. П.- "Основы автоматизированного проектирования", (4-е, изд.), Издательство: "МГТУ им. Баумана", Москва, 2009 - (430 с.)
<https://e.lanbook.com/book/106527>;
4. Проектирование электрических аппаратов : Учебник для вузов по специальности "Электрические аппараты" / Ред. Г. Н. Александров . – Л. : Энергоатомиздат, 1985 . – 448 с.;
5. Буткевич, Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей / Г. В. Буткевич . – М. : Энергия, 1973 . – 264 с.;
6. Справочник по расчету и конструированию контактных частей силовых электрических аппаратов / Н. М. Адоньев, и др. ; Ред. В. В. Афанасьев . – Л. : Энергоатомиздат, 1988 . – 384 с.;
7. Брон, О. Б. Электрическая дуга в аппаратах управления / О. Б. Брон . – М-Л : Гос. энергетическое изд-во, 1954 . – 532 с.;
8. Таев, И. С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения / И. С. Таев . – М. : Энергия, 1973 . – 424 с.;
9. Белкин, Г. С. Проектирование вакуумных дугогасительных камер с применением ЭВМ : Методическое пособие по курсу "Проектирование электрических аппаратов" по специальности "Электрические и электронные аппараты" / Г. С. Белкин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 56 с.;
10. Электрические аппараты высокого напряжения : Учебное пособие для вузов по специальности "Электрические аппараты" / Ред. Г. Н. Александров . – Л. : Энергоатомиздат, 1989 . – 344 с. - ISBN 5-283-04439-4 .;
11. Ведешенков, Н. А. Учебное пособие по курсу "Аппараты высокого напряжения": Расчет напряженности собственного магнитного поля прямоугольных проводников конечных размеров / Н. А. Ведешенков ; Ред. Ю. С. Коробков ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1984 . – 44 с.;

12. Дергачев, П. А. Расчет электромагнитных полей : практикум по курсу "Расчет электромагнитных полей" по направлению подготовки бакалавров 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника", модулю подготовки "Электрические и электронные аппараты" / П. А. Дергачев, Е. П. Курбатова, П. А. Курбатов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 76 с. - ISBN 978-5-7046-2202-04 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10973>;
13. Курбатов, П. А. Математическое моделирование электромеханических систем электрических аппаратов : учебное пособие по курсам "Математическое моделирование электротехнических объектов", "Моделирование электромагнитных полей", "Механизмы электрических аппаратов" по специальности "Электрические и электронные аппараты" / П. А. Курбатов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 110 с. - ISBN 978-5-383-00092-2 .;
14. Курбатов, П. А. Расчет и проектирование магнитных систем электрических аппаратов : учебное пособие по курсам "Расчет и проектирование магнитных систем электротехнических устройств", "Электромеханические системы электрических аппаратов" по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / П. А. Курбатов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 116 с. - ISBN 978-5-7046-1635-1 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8109>;
15. Буль, О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS : учебное пособие для вузов по специальности "Электрические и электронные аппараты" направления "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / О. Б. Буль . – М. : Академия, 2006 . – 288 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 5-7695-2064-7 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Ansys / CAE Fidesys;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Libre Office;
6. EasyMag.

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
3. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
5. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>
<http://docs.cntd.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
	отсутствует	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Проектирование электрических аппаратов

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-5 КР1-1. Особенность явлений в контактах при включении и размыкании контактов с током (Контрольная работа)
- КМ-6 КР2-1. Явления в контактах силовых аппаратов (Контрольная работа)
- КМ-7 КР3-1. Задачи расчётов параметров магнитных систем приводов контакторов постоянного и переменного тока или расцепителей автоматических выключателей (Контрольная работа)
- КМ-8 КР4-1. Факторы, влияющие на динамику срабатывания контакторов и магнитных расцепителей (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	16	16	16	16
1	1. Общие вопросы проектирования ЭА					
1.1	1.1 Основные подходы к проектированию электрических аппаратов.		+			
2	2. Инженерные методы расчёта контактной системы					
2.1	2.1 Понятие электрического контакта		+			
2.2	2.2 Физические явления в контактах.			+		
3	3. Инженерные методы расчёта электромагнитной системы					
3.1	3.1 Расчёты приводов контакторов постоянного и переменного токов.				+	
3.2	3.2 Динамика процессов включения электромагнитов.					+
3.3	3.3 Расчёт магнитных систем расцепителей автоматических выключателей.				+	
3.4	3.4 Расчёт трансформаторов тока.				+	
4	4. Инженерные методы расчёта токоведущей системы					
4.1	4.1 Расчёт параметров токоведущей системы.					+
4.2	4.2 Расчёт напряжённости собственного магнитного поля.					+

4.3	4.3 Расчёт тепловых расцепителей автоматических выключателей.				+	
		Вес КМ, %:	25	25	25	25

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 ЛР1. Исследование дугогасительных устройств аппарата-прототипа (Лабораторная работа)
- КМ-2 ЛР2. Исследование электромагнитной подсистемы аппарата-прототипа (Лабораторная работа)
- КМ-3 ЛР3. Исследование динамики работы аппарата-прототипа (Лабораторная работа)
- КМ-4 ЛР4. Исследование контактной системы и электрической дуги аппарата-прототипа (Лабораторная работа)
- КМ-9 КР1-2. Оценка эффективности дугогасительных систем постоянного и переменного тока (Контрольная работа)
- КМ-10 КР2-2. Процессы дугогашения в дугогасительных системах постоянного и переменного тока (Контрольная работа)
- КМ-11 КР3-2. Особенности восстанавливающейся прочности в дуге низкого напряжения (Контрольная работа)
- КМ-12 КР4-2. Компьютерные программные средства для моделирования и анализа процессов при расчётах контакторов или автоматических выключателей (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-9	КМ-10	КМ-11	КМ-12
		Неделя КМ:	4	8	12	16	4	8	12	16
1	5. Инженерные методы расчёта дугогасительной системы									
1.1	5.1 Условие гашение дуги постоянного тока.								+	
1.2	5.2 Условия гашения дуги постоянного тока								+	
1.3	5.3 Расчёт параметров дугогасительных систем постоянного тока с серийной системой магнитного дутья.							+		
1.4	5.4 Расчёт параметров дугогасительных систем постоянного тока с шунтовой системой магнитного дутья.							+		
1.5	5.5 Комбинированная система дугогашения на постоянном токе.							+		
1.6	5.6 Дугогасительная система с ферромагнитной скобой на постоянном и переменном токе.							+		
1.7	5.7 Газодинамические факторы при взаимодействии дуги с решёткой.						+			

1.8	5.8 Физика процессов взаимодействия дуги с ферромагнитной решёткой.						+		
1.9	5.9 Факторы, влияющие на эффективность применения дугогасительной решётки.						+		
1.10	5.10 Падение напряжения на единичном промежутке в дугогасительной камере с ферромагнитными пластинами.						+		
1.11	5.11 Перспективные дугогасительные устройства.						+		
1.12	5.12 Расчёт дугогасительных систем в элегазовых выключателях.						+		
1.13	5.13 Расчёт дугогасительных систем в вакуумных выключателях.						+		
2	6. Особенности проектирования токоограничивающих аппаратов								
2.1	6.1 Механическая система токоограничивающих аппаратов.							+	
2.2	6.2 Дугогасительная и контактная системы токоограничивающих аппаратов.							+	
3	7. Численные методы расчёта контактной системы								
3.1	7.1 Программное обеспечение для численного анализа контактной системы								+
3.2	7.2 Постановка задачи на моделирование контактной системы	+							+
4	8. Численные методы расчёта электромагнитной системы								
4.1	8.1 Программное обеспечение для численного анализа электромагнитной системы								+
4.2	8.2 Постановка задачи на моделирование электромагнитной системы		+						+
5	9. Численные методы расчёта токоведущей системы								
5.1	9.1 Программное обеспечение для численного анализа тепловых процессов.								+

5.2	9.2 Постановка задачи на моделирование тепловых процессов				+				+
6	10. Численные методы расчёта механической системы								
6.1	10.1 Программное обеспечение для численного анализа динамики работы механической системы.								+
6.2	10.2 Постановка задачи на моделирование механической системы			+					+
Вес КМ, %:		15	15	15	15	10	10	10	10

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Проектирование электрических аппаратов

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:

- КМ-1 Выполнения 1-го раздела: «Измерение параметров контактно-токоведущей системы и её графическое представление»
- КМ-2 Выполнение 2-го раздела: «Исследование динамических параметров аппарата-прототипа»
- КМ-3 Выполнение 3-го раздела: «Построение нагрузочных характеристик аппарата-прототипа»
- КМ-4 Выполнение 4-го раздела: «Получение расчётным путём тяговой характеристики электромагнита контактора или магнитного расцепителя автоматического выключателя»

Вид промежуточной аттестации – защита КП.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Измерение параметров контактно-токоведущей системы и её графическое представление		+			
2	Исследование динамических параметров аппарата-прототипа			+		
3	Построение нагрузочных характеристик аппарата-прототипа				+	
4	Получение расчётным путём тяговой характеристики электромагнита контактора или магнитного расцепителя автоматического выключателя					+
Вес КМ, %:			15	25	25	35

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:

- КМ-1 Выполнение 5-го раздела: «Расчёт параметров контактно-токоведущей системы»
- КМ-2 Выполнение 6-го раздела: «Определение параметров дугогасительной системы»
- КМ-3 Выполнение 7-го раздела: «Выполнение тепловых расчётов токоведущих систем в статическом и динамическом режимах»
- КМ-4 Выполнение 8-го раздела: «Расчёт динамических параметров аппарата прототипа с применением программного средства EasyMag 3D»

Вид промежуточной аттестации – защита КП.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя	4	8	12	16

		КМ:				
1	Расчёт параметров контактно-токоведущей системы	+				
2	Определение параметров дугогасительной системы		+			
3	Выполнение тепловых расчётов токоведущих систем в статическом и динамическом режимах			+		
4	Расчёт динамических параметров аппарата прототипа с применением программного средства EasyMag 3D					+
		Вес КМ, %:	15	20	35	30