

**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: Электрооборудование летательных аппаратов

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ**  
**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.08.07
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	7 семестр - 3;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	108 часов
<b>Лекции</b>	7 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Лабораторные работы</b>	7 семестр - 32 часа;
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	7 семестр - 59,7 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b>	
<b>Лабораторная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	7 семестр - 0,3 часа;

Москва 2022

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

**Преподаватель**

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Сизякин А.В.
	Идентификатор	R72ca4137-SiziakinAV-d27fe096

(подпись)

**А.В. Сизякин**

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель образовательной программы**

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Липай Б.Р.
	Идентификатор	R8a549539-LipaiBR-275b674e

(подпись)

**Б.Р. Липай**

(расшифровка подписи)

**Заведующий выпускающей кафедры**

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Румянцев М.Ю.
	Идентификатор	R4b7b75d7-RumyantsevMY-eafe30f

(подпись)

**М.Ю.**

**Румянцев**

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение принципов моделирования различных режимов работы электромеханических устройств с применением метода конечных элементов

### Задачи дисциплины

- освоение программы Cedrat Flux для моделирования электромеханических устройств;
- освоение принципов моделирования электромеханических устройств методом конечных элементов;
- приобретение навыков интерпретации результатов моделирования.

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-9 Способен проводить расчеты и исследования электронных и электромеханических устройств	ИД-2ПК-9 Составляет и анализирует модели электромеханических преобразователей методом конечных элементов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Пользовательский интерфейс программы Cedrat Flux;</li><li>- Основные принципы построения конечно-элементных моделей;</li><li>- цели и задачи поверочного расчёта электромеханического преобразователя;</li><li>- Методы моделирования устройств силовой электроники в программе Cedrat Flux.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Строить модель в программе Cedrat Flux и создать сценарии решения;</li><li>- Получать характеристики объекта исследования;</li><li>- Интерпретировать полученные с помощью моделирования характеристики как результаты поверочного расчёта;</li><li>- Создавать модели, содержащие электромеханический и электронный преобразователи.</li></ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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	Интерфейс программы Cedrat Flux. Построение геометрии моделей, сетки, определение физических свойств объекта исследования.	23.7	7	4	8	-	-	-	-	-	-	11.7	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Интерфейс программы Cedrat Flux. Построение геометрии моделей, сетки, определение физических свойств объекта исследования" материалу.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 5-112</p>
1.1	Построение геометрии объекта исследования. Разделение на конечные элементы.	11.7		2	4	-	-	-	-	-	-	5.7	-	
1.2	Параметризация модели. Определение свойств материалов	12		2	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
2	Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в статическом режиме	28		4	8	-	-	-	-	-	-	16	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в статическом режиме" материалу.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 206-209</p>
2.1	Моделирование магнитоэстатического режима	14		2	4	-	-	-	-	-	-	8	-	
2.2	Составление схем замещения магнитной цепи	14		2	4	-	-	-	-	-	-	8	-	

3	Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в динамическом режиме	28	4	8	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в динамическом режиме" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 50-98
3.1	Моделирование переходных процессов в магнитных цепях	14	2	4	-	-	-	-	-	-	8	-	
3.2	Моделирование электромеханической системы	14	2	4	-	-	-	-	-	-	8	-	
4	Анализ результатов моделирования	28	4	8	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Анализ результатов моделирования" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 1-104
4.1	Построение внешней характеристики генератора	14	2	4	-	-	-	-	-	-	8	-	
4.2	Построение механической характеристики электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов	14	2	4	-	-	-	-	-	-	8	-	
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	<b>-</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	<b>-</b>	

**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. Интерфейс программы Cedrat Flux. Построение геометрии моделей, сетки, определение физических свойств объекта исследования.

1.1. Построение геометрии объекта исследования. Разделение на конечные элементы. Основные элементы пользовательского интерфейса программы Cedrat Flux.. Инструменты для быстрого построения геометрии модели.. Параметризация геометрии.. Основные принципы наложения сетки на модели. Автоматическая сетка..

1.2. Параметризация модели. Определение свойств материалов  
Создание и импорт электротехнических материалов.. Физические параметры. Примеры простейших магнитных схем..

#### 2. Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в статическом режиме

2.1. Моделирование магнитостатического режима  
Создание сценария моделирования.. Управление геометрическими и физическими параметрами через сценарии..

2.2. Составление схем замещения магнитной цепи  
Решение магнитостатических задач.. Составление эквивалентной электрической схемы замещения магнитной цепи.

#### 3. Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в динамическом режиме

3.1. Моделирование переходных процессов в магнитных цепях  
Создание сценария для решения полностью электродинамической задачи.. Электрическая схема в Cedrat Flux и её связь с конечно-элементной моделью..

3.2. Моделирование электромеханической системы  
Моделирование идеализированных полупроводниковых приборов в составе электрической схемы замещения.

#### 4. Анализ результатов моделирования

4.1. Построение внешней характеристики генератора  
Вывод и обработка результатов моделирования.. Построение характеристики электромеханического преобразователя.. Поверочный расчёт с помощью моделирования.

4.2. Построение механической характеристики электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов  
Вывод и обработка результатов моделирования.. Построение характеристики электродвигателя..

### **3.3. Темы практических занятий не предусмотрено**

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Построение геометрии объекта исследования. Разделение на конечные элементы. Параметризация модели. Определение свойств материалов;
2. Моделирование магнитоэстатического режима. Составление схем замещения магнитной цепи;
3. Моделирование переходных процессов в магнитных цепях. Моделирование электромеханической системы;
4. Построение внешней характеристики генератора. Построение механической характеристики электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов.

### **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	
<b>Знать:</b>						
Методы моделирования устройств силовой электроники в программе Cedrat Flux	ИД-2ПК-9				+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №4
цели и задачи поверочного расчёта электромеханического преобразователя	ИД-2ПК-9		+	+	+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №4
Основные принципы построения конечно-элементных моделей	ИД-2ПК-9		+	+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №3 Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №2
Пользовательский интерфейс программы Cedrat Flux	ИД-2ПК-9	+				Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1
<b>Уметь:</b>						
Создавать модели, содержащие электромеханический и электронный преобразователи	ИД-2ПК-9		+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №2
Интерпретировать полученные с помощью моделирования характеристики как результаты поверочного расчёта	ИД-2ПК-9				+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №4
Получать характеристики объекта исследования	ИД-2ПК-9			+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №3
Строить модель в программе Cedrat Flux и создать сценарии решения	ИД-2ПК-9	+				Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1



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

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

**7 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторной работы №3 (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы №4 (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №7)*

Оценка выставляется по совокупности полученных в течение семестра оценок

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

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

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

1. Сугробов, А. М. Поверочные электромагнитные расчеты электромеханических преобразователей энергии электротехнических комплексов автономных объектов : учебное пособие по курсам "Проектирование систем электрооборудования летательных аппаратов" и "Системы электроснабжения летательных аппаратов" по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / А. М. Сугробов, С. Ю. Останин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 104 с. - ISBN 978-5-383-00088-5 .;
2. Сугробов А.М. , Русаков А.М. - "Проектирование электрических машин автономных объектов", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2012 - (304 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72272;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72272)
3. Магнитные материалы, обмоточные, монтажные и бортовые провода для систем электрооборудования летательных аппаратов : учебное пособие по курсам "Проектирование систем электрооборудования летательных аппаратов" и "Системы электроснабжения летательных аппаратов" по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" и специальности "Электрооборудование летательных аппаратов" / С. А. Грузков, С. Ю. Останин, А. М. Сугробов, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 182 с. - ISBN 5-7046-1080-3 ..

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

1. Windows / Операционная система семейства Linux;
2. Libre Office.

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

1. База данных **Web of Science** - <http://webofscience.com/>
2. База данных **Scopus** - <http://www.scopus.com>
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-602, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	М-609, Учебная многофункциональная аудитория	стол преподавателя, стол компьютерный, стол учебный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, ноутбук, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-609, Учебная многофункциональная аудитория	стол преподавателя, стол компьютерный, стол учебный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, ноутбук, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-608/1, Аудитория каф. "ЭКАОиЭТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, кондиционер, 3D-принтер

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Компьютерное моделирование электромеханических преобразователей

(название дисциплины)

#### 7 семестр

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

- КМ-1 Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа)
- КМ-2 Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа)
- КМ-3 Защита лабораторной работы №3 (Лабораторная работа)
- КМ-4 Защита лабораторной работы №4 (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	6	8	12	16
1	Интерфейс программы Cedrat Flux. Построение геометрии моделей, сетки, определение физических свойств объекта исследования.					
1.1	Построение геометрии объекта исследования. Разделение на конечные элементы.		+			
1.2	Параметризация модели. Определение свойств материалов		+			
2	Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в статическом режиме					
2.1	Моделирование магнитостатического режима			+	+	
2.2	Составление схем замещения магнитной цепи			+		+
3	Разработка сценариев моделирования и получение результатов моделирования в динамическом режиме					
3.1	Моделирование переходных процессов в магнитных цепях			+	+	+
3.2	Моделирование электромеханической системы			+	+	
4	Анализ результатов моделирования					
4.1	Построение внешней характеристики генератора					+
4.2	Построение механической характеристики электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов					+
Вес КМ, %:			20	25	25	30