

**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**  
**СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА НА ИХ**  
**ОСНОВЕ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Вариативная
№ дисциплины по учебному плану:	Б4.В.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 59,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Реферат	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатова Е.П.
	Идентификатор	R51c6ebe0-KurbatovaYP-a15ccd6f

Е.П. Курбатова

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ширинский С.В.
	Идентификатор	Rac9f4bfa-ShirinskiiSV-a85b725f

С.В. Ширинский

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:** Целью освоения дисциплины является получение знаний в области применения перспективных сверхпроводящих материалов в электротехническом оборудовании, приобретении навыков моделирования и изучение средств анализа электромагнитных систем с применением сверхпроводников для последующего использования в научных исследованиях и проектно-конструкторской деятельности.

### Задачи дисциплины

- изучение явления сверхпроводимости, свойств и характеристик современных сверхпроводящих материалов, выпускаемых промышленностью;
- изучение типовых конструкций магнитных систем электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами, применяемых в электроэнергетике, электрических машинах, электрических аппаратах, на транспорте, в медицине и физических установках;
- освоение методов экспериментальных исследований и моделирования свойств сверхпроводящих материалов в выпускаемой промышленностью номенклатуре;
- изучение методов расчета параметров магнитных систем различного назначения с ВТСП элементами с применением компьютерных программных средств моделирования электромагнитных полей и магнитных цепей.

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-3 Способен участвовать в научно-исследовательской работе в области профессиональной деятельности	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание современных средств в области электротехнических объектов и методы их исследования и разработки	знать: - свойства и основные физические явления, возникающие в сверхпроводящих материалах; - принципы действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами в электроэнергетике, электрических машинах, электрических аппаратах, на транспорте в медицине и физических установках.  уметь: - применять методы математического моделирования для проектирования электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами; - применять методы и программные средства для моделирования элементов из сверхпроводящих материалов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам 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.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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	Физические основы сверхпроводимости	18	3	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр.12-54 [3], стр. 12-54	
1.1	Физические основы сверхпроводимости	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-		
2	Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.199-205, 272-279,312-320	
2.1	Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-		
3	Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов	22.5		8	-	4	-	-	-	-	-	10.5	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.121-145, 163-173, 230-253,297-313	
3.1	Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов	22.5		8	-	4	-	-	-	-	-	10.5	-		
4	Применение ВТСП в электротехнических устройствах	49.2		16	-	4	-	-	-	-	-	29.2	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 12-50	
4.1	Применение ВТСП в электротехнических устройствах	49.2		16	-	4	-	-	-	-	-	29.2	-		
	Зачет с оценкой	0.3		-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</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>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	<b>-</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. Физические основы сверхпроводимости

##### 1.1. Физические основы сверхпроводимости

Понятие сверхпроводимости. Критические параметры. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Мейснера. Смешанное состояние. Вихри Абрикосова. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников. Сверхпроводящие материалы. Объемные сверхпроводники. ВТСП ленты и проводники..

#### 2. Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников

##### 2.1. Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников

Математические модели для описания свойств ВТСП. Модели для плотности тока, модели для намагниченности, комбинированные модели..

#### 3. Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов

##### 3.1. Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов

Численный анализ магнитных систем с ВТСП элементами. Анализ "захваченного" электромагнитного поля в FC и ZFC режимах. Расчет силовых характеристик объемных сверхпроводников. Моделирование ВТСП лент и обмоток. Расчет ВАХ сверхпроводящих катушек. Анализ потерь в сверхпроводящих элементах..

#### 4. Применение ВТСП в электротехнических устройствах

##### 4.1. Применение ВТСП в электротехнических устройствах

ВТСП кабели. Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии (СПИН). Сверхпроводниковые ограничители тока. Сверхпроводниковые трансформаторы. Магнитная левитация. Электрические машины с объемными сверхпроводниками. Электрические машины с ВТСП обмотками..

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

1. Моделирование магнитных систем электрических машин с применением ВТСП;
2. Расчет характеристик ВТСП подвеса;
3. Моделирование и расчет ВТСП проводников и обмоток;
4. Расчет силовых характеристик сверхпроводящих элементов в FC и ZFC режимах;
5. Анализ распределение электромагнитного поля в объемных сверхпроводниках в FC и ZFC режимах;
6. Расчет параметров и анализ работы СПИН.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **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>						
принципы действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами в электроэнергетике, электрических машинах, электрических аппаратах, на транспорте в медицине и физических установках	ИД-1ПК-3				+	Реферат/Сверхпроводимость в электротехнике и энергетике
свойства и основные физические явления, возникающие в сверхпроводящих материалах	ИД-1ПК-3	+				Тестирование/Основы сверхпроводимости
<b>Уметь:</b>						
применять методы и программные средства для моделирования элементов из сверхпроводящих материалов	ИД-1ПК-3		+			Контрольная работа/Силовые характеристики ВТСП образца
применять методы математического моделирования для проектирования электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами	ИД-1ПК-3			+		Контрольная работа/Моделирование СПИН



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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Моделирование СПИН (Контрольная работа)
2. Основы сверхпроводимости (Тестирование)
3. Сверхпроводимость в электротехнике и энергетике (Реферат)
4. Силовые характеристики ВТСП образца (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

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

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

1. "Электрические машины и устройства на основе массивных высокотемпературных сверхпроводников", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2010 - (396 с.)

[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59571;](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59571)

2. Антонов Ю. Ф., Данилевич Я. Б.- "Сверхпроводниковые топологические электрические машины", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2009 - (368 с.)

[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2100;](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2100)

3. Антонов, Ю. Ф. Сверхпроводниковые топологические электрические машины / Ю. Ф. Антонов, Я. Б. Данилевич . – М. : Физматлит, 2009 . – 368 с. - ISBN 978-5-9221-1092-1 ..

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
4. OpenModelica;
5. 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)

3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

4. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - [Http:\\proinfosoft.ru](http://proinfosoft.ru);  
<http://docs.cntd.ru/>

#### **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

<b>Тип помещения</b>	<b>Номер аудитории, наименование</b>	<b>Оснащение</b>
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-207, Лекционная аудитория	стол, стул, шкаф, лабораторный стенд
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-207, Лекционная аудитория	стол, стул, шкаф, лабораторный стенд
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-207, Лекционная аудитория	стол, стул, шкаф, лабораторный стенд
Помещения для самостоятельной работы	Е-107/2, Лаборатория каф. "ЭМЭЭА"	
Помещения для консультирования	Е-107/1, Лаборатория каф. "ЭМЭЭА"	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Сверхпроводящие материалы и устройства на их основе

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Основы сверхпроводимости (Тестирование)
- КМ-2 Силовые характеристики ВТСП образца (Контрольная работа)
- КМ-3 Моделирование СПИН (Контрольная работа)
- КМ-4 Сверхпроводимость в электротехнике и энергетике (Реферат)

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

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Физические основы сверхпроводимости					
1.1	Физические основы сверхпроводимости		+			
2	Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников					
2.1	Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников			+		
3	Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов					
3.1	Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов				+	
4	Применение ВТСП в электротехнических устройствах					
4.1	Применение ВТСП в электротехнических устройствах					+
Вес КМ, %:			10	25	25	40