

**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 машины объектов энергетики:  
проектирование, эксплуатация, техническое диагностирование

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА НА ИХ**  
**ОСНОВЕ**

|                                                           |                                              |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Блок:                                                     | Блок 4 «Факультативы»                        |
| 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:<br>Тестирование<br>Контрольная работа<br>Реферат |                                              |
| Промежуточная аттестация:                                 |                                              |
| Зачет с оценкой                                           | 3 семестр - 0,3 часа;                        |

**Москва 2025**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

|  |                                                    |                                |
|--|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец                                           | Курбатова Е.П.                 |
|  | Идентификатор                                      | R51c6ebe0-KurbatovaYP-a15ccd67 |

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-1 Способен ставить задачи и планировать исследования и разработки, выбирать методы экспериментальной и проектной деятельности, интерпретировать и представлять результаты научных исследований и разработок | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Критически анализирует свойства современных средств в области электромеханических преобразователей энергии и возможности методов их исследования и разработки | знать:<br>- свойства и основные физические явления, возникающие в сверхпроводящих материалах;<br>- принципы действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами в электроэнергетике, электрических машинах, электрических аппаратах, на транспорте в медицине и физических установках.<br><br>уметь:<br>- применять методы и программные средства для моделирования элементов из сверхпроводящих материалов;<br>- применять методы математического моделирования для проектирования электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам основной профессиональной образовательной программе Электрические машины объектов энергетики: проектирование, эксплуатация, техническое диагностирование (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.

| №<br>п/п | Разделы/темы<br>дисциплины/формы<br>промежуточной<br>аттестации | Всего часов<br>на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |     |      |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/<br>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                | -                                 | <u>Изучение материалов литературных источников:</u><br>[2], стр.12-54<br>[3], стр. 12-54          |  |
| 1.1      | Физические основы сверхпроводимости                             | 18                       |         | 4                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -   | -    | 10                | -                                 |                                                                                                   |  |
| 2        | Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников      | 18                       |         | 4                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -   | -    | 10                | -                                 | <u>Изучение материалов литературных источников:</u><br>[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              | -                                 | <u>Изучение материалов литературных источников:</u><br>[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              | -                                 | <u>Изучение материалов литературных источников:</u><br>[1], стр. 12-50                            |  |
| 4.1      | Применение ВТСП в электротехнических устройствах                | 49.2                     |         | 16                                                                   | -   | 4  | -            | - | -   | -   | -    | 29.2              | -                                 |                                                                                                   |  |
|          | Зачет с оценкой                                                 | 0.3                      |         | -                                                                    | -   | -  | -            | - | -   | -   | -    | 0.3               | -                                 | -                                                                                                 |  |
|          | Всего за семестр                                                | 108.0                    |         | 32                                                                   | -   | 16 | -            | - | -   | -   | -    | 0.3               | 59.7                              | -                                                                                                 |  |
|          | Итого за семестр                                                | 108.0                    | 32      | -                                                                    | 16  | -  |              | - |     | 0.3 | 59.7 |                   |                                   |                                                                                                   |  |

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

### **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<br>(в соответствии с разделом 1)                                                                                                                                                          | Коды<br>индикаторов | Номер раздела<br>дисциплины (в<br>соответствии с<br>п.3.1) |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование)                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|---|---|---|------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                             |                     | 1                                                          | 2 | 3 | 4 |                                                            |
| <b>Знать:</b>                                                                                                                                                                                                                               |                     |                                                            |   |   |   |                                                            |
| принципы действия и конструкции магнитных систем<br>электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами в<br>электроэнергетике, электрических машинах, электрических<br>аппаратах, на транспорте в медицине и физических установках | ИД-2ПК-1            |                                                            |   |   | + | Реферат/Сверхпроводимость в<br>электротехнике и энергетике |
| свойства и основные физические явления, возникающие в<br>сверхпроводящих материалах                                                                                                                                                         | ИД-2ПК-1            | +                                                          |   |   |   | Тестирование/Основы<br>сверхпроводимости                   |
| <b>Уметь:</b>                                                                                                                                                                                                                               |                     |                                                            |   |   |   |                                                            |
| применять методы математического моделирования для<br>проектирования электротехнических устройств со<br>сверхпроводящими элементами                                                                                                         | ИД-2ПК-1            |                                                            |   | + |   | Контрольная<br>работа/Моделирование СПИН                   |
| применять методы и программные средства для моделирования<br>элементов из сверхпроводящих материалов                                                                                                                                        | ИД-2ПК-1            |                                                            | + |   |   | Контрольная работа/Силовые<br>характеристики ВТСП образца  |



#### **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

| Тип помещения                                                           | Номер аудитории,<br>наименование   | Оснащение                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Ж-120, Машинный зал ИВЦ            | сервер, кондиционер                                                                                                                                |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | Е-207, Лекционная аудитория        | стол, стул, шкаф, лабораторный стенд                                                                                                               |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий                   | Е-209, Лаборатория электромеханики | стол, стул, доска меловая, лабораторный стенд                                                                                                      |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | Е-207, Лекционная аудитория        | стол, стул, шкаф, лабораторный стенд                                                                                                               |
| Помещения для самостоятельной работы                                    | НТБ-303, Лекционная аудитория      | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования                                          | Е-206.1, Преподавательская         | парта со скамьей, стеллаж для хранения книг, стол преподавателя, стул, доска меловая                                                               |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря                | ЭЭА-26, 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   |