

**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: Электрические и электронные аппараты

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ**

|   |  |
|---|--|
| <b>Блок:</b>  | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                                      |
| <b>Часть образовательной программы:</b>   | Обязательная   |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>  | Б1.О.22  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>  | 5 семестр - 5;<br>6 семестр - 4;<br>всего - 9                            |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>   | 324 часа   |
| <b>Лекции</b>   | 5 семестр - 32 часа;<br>6 семестр - 28 часа;<br>всего - 60 часов         |
| <b>Практические занятия</b>   | 6 семестр - 14 часов;  |
| <b>Лабораторные работы</b>  | 5 семестр - 16 часов;<br>6 семестр - 12 часов;<br>всего - 28 часа        |
| <b>Консультации</b>   | 5 семестр - 18 часов;<br>6 семестр - 2 часа;<br>всего - 20 часов         |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | 5 семестр - 109,2 часов;<br>6 семестр - 87,5 часа;<br>всего - 196,7 часа |
| <b>в том числе на КП/КР</b>   | 5 семестр - 44,70 часа;  |
| <b>Иная контактная работа</b>   | 5 семестр - 4 часа;  |
| <b>включая:</b><br>Тестирование<br>Лабораторная работа<br>Расчетно-графическая работа<br>Контрольная работа |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>  |  |
| Защита курсового проекта  | 5 семестр - 0,4 часа;  |
| Экзамен   | 5 семестр - 0,4 часа;  |
| Экзамен   | 6 семестр - 0,5 часа;  |
|   | всего - 1,3 часа   |

**Москва 2019**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |  |                               |
|--|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец   | Молоканов О.Н.                |
|  | Идентификатор                                      | R28e375f0-MolokanovON-815ccd6 |

(подпись)

О.Н. Молоканов

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

|  |  |                               |
|--|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец   | Курбатов П.А.                 |
|  | Идентификатор                                      | R1a0c0ffa-KurbatovPA-23b01cca |

(подпись)

П.А. Курбатов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

М.Г. Киселев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение многообразия электрических аппаратов низкого напряжения и силовых электронных аппаратов, их функций, процессов и явлений, связанных с их работой

### Задачи дисциплины

- освоение теоретических основ физических явлений, определяющих функционирование электрических аппаратов разных видов, а именно: теории электромагнитных, электродинамических явлений, теории процессов коммутации электрических цепей, теории процессов тепло- и массообмена;
- изучение различных видов и областей применения электрической аппаратуры;
- приобретение навыков обоснования конкретных технических решений при последующем конструировании систем распределения электрической энергии и управления потоками энергии на уровне конечного потребления;
- формирование представления о современных низковольтных электрических аппаратах;
- приобретение навыков выбора аппаратуры управления и распределения электрической энергии;
- формирование представления об основных типах силовых полупроводниковых приборов и их характеристиках, а также элементах систем управления электронных аппаратов;
- приобретение навыков расчета потерь в силовых электронных ключах;
- изучение основных схем статических коммутационных аппаратов, электронных регуляторов и силовых электронных преобразователей электрической энергии.

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   |
|--|---|---|
| ОПК-4 Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин | ИД-БОПК-4 Применяет знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов | знать:<br>- базовые понятия электротехники;<br>- схемы, структуры и принципы работы статических коммутационных аппаратов, электронных регуляторов и силовых электронных преобразователей электрической энергии;<br>- элементную базу электронных аппаратов (основные характеристики силовых электронных ключей, элементов систем управления и пассивных компонентов);<br>- теоретические основы физических явлений, определяющих функционирование электрических аппаратов;<br>- классификацию, функции и области применения электрических аппаратов низкого напряжения как средства защиты и регулирования параметров электротехнических и электроэнергетических систем.<br><br>уметь:<br>- использовать типовые методы расчета |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения   |
|--------------------------------|--|---|
|                                |  | <p>переходных процессов в электрических цепях;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать потери в силовых электронных ключах;</li> <li>- выполнять теоретический анализ работы силовых электронных устройств и определять параметры элементов схем регуляторов;</li> <li>- выбирать аппараты управления и распределения электрической энергии в соответствии с заданными техническими требованиями и обосновывать принятие конкретных технических решений при разработке и проектировании электротехнических устройств на основе электрических аппаратов низкого напряжения;</li> <li>- применять физико-математический аппарат для теоретического анализа работы электрических аппаратов.</li> </ul> |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные законы физики по электромагнитным и тепловым явлениям
- знать теоретические основы электротехники
- знать высшую математику
- знать электронику
- уметь осуществлять поиск информации в технической литературе и каталогах
- уметь оформлять результаты работы с использованием современных текстовых редакторов и САД программ

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 9 зачетных единиц, 324 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     | Модуль 1. Электрические аппараты защиты и управления. Устройство, принцип действия, основные характеристики. | 38                    | 5       | 16   | 8   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 14                | -                                 | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение теоретического материала для подготовки к лекциям. Перед каждой лекцией студенту, в соответствии с указанием преподавателя, необходимо познакомиться с разделами учебника.</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение теоретического материала, подготовка к проведению эксперимента и оформлению отчета о выполнении лабораторной работы.</p> <p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Изучение теоретического материала, выполнение расчетов, выбор электрических аппаратов, оформление РПЗ, оформление графического материала.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение материалов лекций и литературы для подготовки к тестированию и защите лабораторных работ</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 5-8<br/>[3], 15-92<br/>[4], 4-28</p> |   |
| 1.1   | Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы     | 6                     |         | 4  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 2                                 |  | - |
| 1.2   | Электромеханические аппараты систем распределения электрической энергии при низком напряжении                | 18                    |         | 8  | 4   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 6                                 |  | - |
| 1.3   | Электромеханические аппараты управления  | 14                    |         | 4  | 4   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 6                                 |  | - |
| 2     | Модуль 2. Физические основы работы   | 41                    |         | 16   | 8   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 17                                |  | - |

|     |   |               |   |           |           |          |           |          |            |          |            |               |   |   |
|-----|---|---------------|---|-----------|-----------|----------|-----------|----------|------------|----------|------------|---------------|---|---|
|     | электрических аппаратов   |               |   |           |           |          |           |          |            |          |            |               | для подготовки к тестированию и защите лабораторных работ |   |
| 2.1 | Тепловые процессы в электрических аппаратах   | 14            |   | 4         | 4         | -        | -         | -        | -          | -        | -          | 6             | -   | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение теоретического материала для подготовки к лекциям. Перед каждой лекцией студенту, в соответствии с указанием преподавателя, необходимо познакомиться с разделами учебника.  |
| 2.2 | Электрические контакты  | 4             |   | 2         | -         | -        | -         | -        | -          | -        | -          | 2             | -   |   |
| 2.3 | Электрическая дуга и процесс коммутации   | 14            |   | 4         | 4         | -        | -         | -        | -          | -        | -          | 6             | -   |   |
| 2.4 | Электродинамическая стойкость электрических аппаратов   | 3             |   | 2         | -         | -        | -         | -        | -          | -        | -          | 1             | -   | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение теоретического материала, подготовка к проведению эксперимента и оформлению отчета о выполнении лабораторной работы.   |
| 2.5 | Электромагниты  | 6             |   | 4         | -         | -        | -         | -        | -          | -        | -          | 2             | -   | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 9,34-38, 96-102<br>[2], 238-240, 349-351,430,528-531<br>[3], 94-224  |
|     | Экзамен   | 35.9          |   | -         | -         | -        | -         | 2        | -          | -        | 0.4        | -             | 33.5  |   |
|     | Курсовой проект (КП)  | 65.10         |   | -         | -         | -        | 16        | -        | 4          | -        | 0.4        | 44.70         | -   |   |
|     | <b>Всего за семестр</b>   | <b>180.00</b> |   | <b>32</b> | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>16</b> | <b>2</b> | <b>4</b>   | <b>-</b> | <b>0.8</b> | <b>75.70</b>  | <b>33.5</b>   |   |
|     | <b>Итого за семестр</b>   | <b>180.00</b> |   | <b>32</b> | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>18</b> | <b>4</b> | <b>0.8</b> | <b>-</b> | <b>0.8</b> | <b>109.20</b> | <b>-</b>  |   |
| 3   | Силовые электронные ключи и системы управления электронных аппаратов                                      | 49            | 6 | 12        | 3         | 10       | -         | -        | -          | -        | -          | 24            | -   | <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение материалов лекций и учебников для подготовки к тестированию (защите типового расчета).   |
| 3.1 | Принцип действия, классификация, характеристики и режимы работы силовых электронных ключей. Расчет потерь | 23            |   | 4         | 1         | 6        | -         | -        | -          | -        | -          | 12            | -   | <b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетного задания выполняются расчеты переходных процессов для определения токов и напряжений в схеме с транзистором, осуществляется расчет статических и динамических потерь в выбранном транзисторе, тепловой расчет, строятся соответствующие графические зависимости. |
| 3.2 | Обеспечение безопасной работы транзисторов и  | 18            |   | 4         | 2         | 4        | -         | -        | -          | -        | -          | 8             | -   | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение теоретического материала,  |

|     |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |  |
|-----|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|--|
|     | основы теплового расчета. Применение электромагнитных компонентов и конденсаторов в электронных аппаратах |    |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  | подготовка к выполнению и оформлению отчета.<br><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Проработка лекций по темам "Характеристики и режимы работы силовых электронных ключей", "Обеспечение безопасной работы транзисторов" для подготовки к защите лабораторной работы.<br><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Изучение материалов практических занятий и проработка материалов учебника (примеров решения задач и заданий для самостоятельного решения).<br><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br>Повторение теории по теме "Методы расчета переходных процессов в электрических цепях" из курса "Теоретические основы электротехники". Изучение лекционного материала по теме "Расчет статических и динамических потерь в силовых электронных ключах".<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение основного и дополнительного материала в соответствии с содержанием раздела "Силовые электронные ключи и системы управления электронных аппаратов" на основе лекций и учебников.<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[3], 255-334, 342-356<br>[5], 255-334, 342-356<br>[6], 8-37, 45-57<br>[8], п. 2.3, 2.6, 2.7, 2.10, 2.11, 2.12 |
| 3.3 | Структура и функциональные узлы системы управления электронного аппарата                                  | 8  | 4  | - | - | - | - | - | - | - | 4  | - |  |  |
| 4   | Статические коммутационные аппараты и преобразователи электрической                                       | 59 | 16 | 9 | 4 | - | - | - | - | - | 30 | - |  | <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br>Изучение материалов лекций и учебников для подготовки к тестированию (защите типового расчета).<br><b><u>Подготовка расчетно-графического</u></b>   |

| энергии |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |  |
|---------|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|--|
| 4.1     | Тиристорные и транзисторные контакторы. Гибридные коммутационные аппараты | 9  | 4 | - | - | - | - | - | - | - | 5  | - | <p><b>задания:</b> В рамках расчетного задания выполняется расчет переходных процессов для определения токов и напряжений в схеме импульсного регулятора постоянного тока, осуществляется расчет параметров элементов и характеристик регулятора, проводится расчет токов и напряжений в схеме инвертора, строятся соответствующие графические зависимости.</p> <p><b>Подготовка к аудиторным занятиям:</b> Проработка лекций по темам "Тиристорные регуляторы", "Регуляторы постоянного тока", "Инверторы напряжения" для подготовки к защитам лабораторных работ.</p> <p><b>Подготовка к лабораторной работе:</b> Изучение теоретического материала, подготовка к выполнению и оформлению отчета.</p> <p><b>Подготовка к контрольной работе:</b> Изучение материалов практических занятий и проработка материалов учебника (примеров решения задач и заданий для самостоятельного решения).</p> <p><b>Подготовка к практическим занятиям:</b> Изучение лекционного материала по теме "Импульсные регуляторы постоянного тока".</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> Изучение основного и дополнительного материала в соответствии с содержанием раздела "Статические коммутационные аппараты и преобразователи электрической энергии" на основе лекций и учебников.</p> <p><b>Изучение материалов литературных источников:</b><br/> [3], 357-377, 404-427<br/> [5], 357-377, 404-427<br/> [6], 59-79, 145-152, 179-192, 162-173<br/> [7], 5-12, 20-36, 37-54</p> |  |
| 4.2     | Тиристорные регуляторы и устройства на их основе. Выпрямители             | 13 | 4 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | 5  | - |  |  |
| 4.3     | Регуляторы постоянного тока   | 21 | 4 | 3 | 2 | - | - | - | - | - | 12 | - |  |  |
| 4.4     | Инверторы напряжения. Четырехквadrантные преобразователи                  | 16 | 4 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | 8  | - |  |  |



|  |                  |               |   |           |           |           |           |   |          |   |            |    |               |  |
|--|------------------|---------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----------|---|------------|----|---------------|--|
|  | Экзамен          | 36.0          |   | -         | -         | -         | -         | 2 | -        | - | 0.5        | -  | 33.5          |  |
|  | Всего за семестр | 144.0         |   | 28        | 12        | 14        | -         | 2 | -        | - | 0.5        | 54 | 33.5          |  |
|  | Итого за семестр | 144.0         |   | 28        | 12        | 14        | 2         |   | -        |   | 0.5        |    | 87.5          |  |
|  | <b>ИТОГО</b>     | <b>324.00</b> | - | <b>60</b> | <b>28</b> | <b>14</b> | <b>20</b> |   | <b>4</b> |   | <b>1.3</b> |    | <b>196.70</b> |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Модуль 1. Электрические аппараты защиты и управления. Устройство, принцип действия, основные характеристики.

1.1. Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы

Общие понятия об электрических и электронных аппаратах. Классификация электрических и электронных аппаратов по назначению, по току и напряжению, по области применения. Применение электрических и электронных аппаратов в системах электроснабжения, электропривода и электрического оборудования..

1.2. Электромеханические аппараты систем распределения электрической энергии при низком напряжении

Устройство и принципы действия, основные параметры предохранителей, автоматических выключателей, электромагнитных и тепловых расцепителей. Защитные характеристики, выбор уставок. Селективность токовая и временная. Назначение и принцип действия аппаратуры защитного отключения (ВДТ). Схемы подключения ВДТ. Выбор автоматических выключателей и ВДТ..

1.3. Электромеханические аппараты управления

Устройство и принципы действия, основные параметры контакторов, пускателей, электромагнитных и тепловых реле. Категории применения контакторов. Классы расцепления тепловых реле. Выбор контакторов, пускателей и тепловых реле для управления электродвигателями..

#### 2. Модуль 2. Физические основы работы электрических аппаратов

2.1. Тепловые процессы в электрических аппаратах

Источники теплоты в электрических аппаратах. Способы передачи теплоты. Уравнение Ньютона-Рихмана. Стационарный тепловой режим. Дифференциальное уравнение нагрева и остывания, постоянная времени переходного процесса. Повторно-кратковременный режим и коэффициент перегрузки. Условие адиабатического нагрева. Кривые адиабатического нагрева проводниковых материалов. Термическая стойкость электрических аппаратов..

2.2. Электрические контакты

Понятие электрического контакта. Площадка соприкосновения. Модель Хольма. Сопrotивление электрического контакта. Влияние контактов на нагрев проводников. Уравнение Хольма-Кольрауша и Ом-Вольтная характеристика контактов. Сваривание контактов. Контактные материалы. Силы Двайта и способы их компенсации в электрических аппаратах..

2.3. Электрическая дуга и процесс коммутации

Плазма электрической дуги. Процессы ионизации и деионизации. Вольт-Амперная характеристика. Условия равновесия в цепи постоянного тока с электрической дугой. Динамическая Вольт-Амперная характеристика. Условия незажигания электрической дуги после нуля тока. Дугогасительные камеры. Системы магнитного дутья..

2.4. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов

Силы Ампера – электродинамические усилия. Понятие о коэффициенте контура электродинамических усилий. Электродинамические усилия при переменном токе.

Электродинамическая стойкость электрических аппаратов. Связь электродинамической стойкости с включающей способностью..

## 2.5. Электромагниты

Электромагниты как элементы привода электромеханических аппаратов. Виды магнитных систем. Магнитные цепи. Магнитная проводимость. Правила Кирхгоффа для магнитных цепей. Намагничивание магнитной цепи электромагнита. Сила тяги электромагнита. Тяговая характеристика электромагнита постоянного тока. Ее согласование с типичной характеристикой противодействующих усилий электромеханического аппарата. Коэффициенты удержания и возврата. Особенности поляризованных электромагнитов. Особенности электромагнитов переменного тока..

## 3. Силовые электронные ключи и системы управления электронных аппаратов

3.1. Принцип действия, классификация, характеристики и режимы работы силовых электронных ключей. Расчет потерь

Принцип действия и основные характеристики диодов, тиристоров и транзисторов. Идеализированные статические вольт-амперные характеристики (ВАХ), статические потери.. Математические модели ключей в режимах включения и выключения, динамические ВАХ, коммутационные потери..

3.2. Обеспечение безопасной работы транзисторов и основы теплового расчета. Применение электромагнитных компонентов и конденсаторов в электронных аппаратах

Область безопасной работы силовых транзисторов. Цепи формирования траектории переключения (ЦФТП).. Теплоотвод в электронных ключах и их конструктивное исполнение.. Функции, параметры и особенности применения электромагнитных компонентов и конденсаторов в силовых электронных устройствах..

3.3. Структура и функциональные узлы системы управления электронного аппарата

Структура типовой системы управления электронных аппаратов. Основные функциональные узлы системы управления: формирователи импульсов управления (драйверы), обеспечение гальванической развязки, датчики тока и напряжения.. Использование микропроцессоров и микроконтроллеров для управления электронными аппаратами..

## 4. Статические коммутационные аппараты и преобразователи электрической энергии

4.1. Тиристорные и транзисторные контакторы. Гибридные коммутационные аппараты

Общие сведения об электронных коммутационных аппаратах. Тиристорные контакторы постоянного тока с «жесткой» и «мягкой» коммутацией. Тиристорные контакторы переменного тока с естественной и принудительной коммутацией. Статические реле. Транзисторные контакторы.. Гибридный контактор переменного тока на основе встречноключенных тиристоров. Гибридные аппараты постоянного тока (последовательного, параллельного и параллельно-последовательного типа)..

4.2. Тиристорные регуляторы и устройства на их основе. Выпрямители

Тиристорные регуляторы переменного тока с активной, индуктивной и активно-индуктивной нагрузкой. Компенсация реактивной мощности и стабилизация напряжения при помощи тиристорных регуляторов.. Выпрямители с активной, индуктивной и активно-индуктивной нагрузкой, их регулировочные характеристики..

### 4.3. Регуляторы постоянного тока

Классификация и параметры регуляторов постоянного тока. Стабилизаторы напряжения непрерывного действия.. Импульсные регуляторы постоянного тока (понижающий, повышающий, инвертирующий): методы управления, режимы работы, характеристики..

### 4.4. Инверторы напряжения. Четырехквadrантные преобразователи

Инверторы напряжения: регулирование напряжения посредством изменения ширины импульсов, принцип синусоидальной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) напряжения.. Регулирование тока при помощи четырехквadrантных преобразователей, их использование для компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармоник..

## 3.3. Темы практических занятий

1. Расчет тока и напряжения на ключе в электрических цепях постоянного и переменного тока;
2. Расчет статических потерь в диодах и тиристорах;
3. Расчет статических потерь в транзисторах;
4. Расчет динамических потерь в схемах без ЦФТП;
5. Расчет динамических потерь в схемах с ЦФТП;
6. Расчет параметров элементов импульсных регуляторов постоянного тока в граничном режиме работы;
7. Определение пульсаций напряжения на выходе импульсных регуляторов.

## 3.4. Темы лабораторных работ

1. Аппараты токовой и тепловой защиты;
2. Контактор электромагнитный;
3. Тепловые процессы и режимы работы электрических аппаратов;
4. Исследование восстанавливающегося напряжения;
5. Цепи формирования траектории переключения силовых транзисторов;
6. Тиристорный регулятор и компенсация реактивной мощности;
7. Импульсные регуляторы постоянного тока;
8. Автономные инверторы напряжения.

## 3.5 Консультации

### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. 1. Получение задание на выполнение курсового проекта, пояснения по выполнению курсового проекта. 2. Расчет параметров трансформатора. Токов нагрузки. Выбор кабелей. Расчет падений напряжений в линиях. Расчет токов коротких замыканий. 3. Выбор модульных аппаратов (автоматический выключатель, выключатель дифференциального тока, автоматический выключатель дифференциального тока). 4. Выбор автоматического выключателя защиты двигателя, теплового реле, контактора электромагнитного. 5. Выбор силовых автоматических выключателей. Построение карты селективности. 6. Построение однолинейной схемы. Выполнение чертежа низковольтного комплектного устройства.

## 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

### 5 Семестр

Курсовой проект (КП)

Темы:

- Проектирование низковольтного комплектного устройства.

**График выполнения курсового проекта**

|   |       |        |         |                          |
|---|-------|--------|---------|--------------------------|
| Неделя                                  | 1 - 6 | 7 - 12 | 13 - 16 | Зачетная                 |
| Раздел курсового проекта                | 1     | 2      | 3       | Защита курсового проекта |
| Объем раздела, %                        | 30    | 40     | 30      | -                        |
| Выполненный объем нарастающим итогом, % | 30    | 70     | 100     | -                        |

|               |  |
|---------------|--|
| Номер раздела | Раздел курсового проекта                                 |
| 1             | Предварительные расчёты                                  |
| 2             | Выбор электрических аппаратов                            |
| 3             | Конструкторская проработка проекта и подготовка к защите |

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование)  |
|---|------------------|---|---|---|---|---|
|   |                  | 1   | 2 | 3 | 4 |   |
| <b>Знать:</b>   |                  |   |   |   |   |   |
| классификацию, функции и области применения электрических аппаратов низкого напряжения как средства защиты и регулирования параметров электротехнических и электроэнергетических систем | ИД-60ПК-4        | +   |   |   |   | Тестирование/Тест №2 «Аппараты защиты и управления. Назначение, характеристики, конструктивные особенности»   |
| теоретические основы физических явлений, определяющих функционирование электрических аппаратов  | ИД-60ПК-4        |   | + |   |   | Тестирование/Тест №3 «Физические процессы, связанные с функционированием электрических аппаратов»   |
| элементную базу электронных аппаратов (основные характеристики силовых электронных ключей, элементов систем управления и пассивных компонентов)   | ИД-60ПК-4        |   |   | + |   | Тестирование/Выполнение основной части и защита расчетного задания №1 «Расчет схемы с транзистором»<br>Лабораторная работа/Защита ЛР №1 «Цепи формирования траектории переключения силовых транзисторов»  |
| схемы, структуры и принципы работы статических коммутационных аппаратов, электронных регуляторов и силовых электронных преобразователей электрической энергии                           | ИД-60ПК-4        |   |   |   | + | Тестирование/Выполнение и защита расчетного задания №2 «Импульсный регулятор постоянного тока и автономный инвертор»<br>Лабораторная работа/Защита ЛР №2 «Тиристорный регулятор и компенсация реактивной мощности», ЛР №3 «Импульсные регуляторы постоянного тока», ЛР №4 «Автономные инверторы напряжения» |
| базовые понятия электротехники  | ИД-60ПК-4        | +   |   |   |   | Тестирование/Тест №1 «Оценка уровня базовых знаний по электротехнике»   |
| <b>Уметь:</b>   |                  |   |   |   |   |   |
| применять физико-математический аппарат для   | ИД-60ПК-4        |   | + |   |   | Лабораторная работа/Защита лабораторной   |

|  |           |   |  |   |   |
|--|-----------|---|--|---|---|
| теоретического анализа работы электрических аппаратов  |           |   |  |   | работы по теме: «Исследование восстанавливающегося напряжения»<br>Лабораторная работа/Защита лабораторной работы по теме: «Тепловые процессы и режимы работы электрических аппаратов»   |
| выбирать аппараты управления и распределения электрической энергии в соответствии с заданными техническими требованиями и обосновывать принятие конкретных технических решений при разработке и проектировании электротехнических устройств на основе электрических аппаратов низкого напряжения | ИД-60ПК-4 | + |  |   | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы по теме: «Аппараты токовой и тепловой защиты»<br>Лабораторная работа/Защита лабораторной работы по теме: «Контактор электромагнитный»  |
| выполнять теоретический анализ работы силовых электронных устройств и определять параметры элементов схем регуляторов  | ИД-60ПК-4 |   |  | + | Тестирование/Выполнение и защита расчетного задания №2 «Импульсный регулятор постоянного тока и автономный инвертор»<br>Контрольная работа/КР №2 «Расчет импульсных регуляторов постоянного тока»   |
| рассчитывать потери в силовых электронных ключах   | ИД-60ПК-4 |   |  | + | Тестирование/Выполнение основной части и защита расчетного задания №1 «Расчет схемы с транзистором»<br>Лабораторная работа/Защита ЛР №1 «Цепи формирования траектории переключения силовых транзисторов»<br>Контрольная работа/КР №1 «Расчет потерь в электронных ключах» |
| использовать типовые методы расчета переходных процессов в электрических цепях   | ИД-60ПК-4 |   |  | + | Расчетно-графическая работа/Выполнение 1-й части расчетного задания №1: определение токов и напряжений в схеме с транзистором   |

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

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

###### **5 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Тест №1 «Оценка уровня базовых знаний по электротехнике» (Тестирование)
2. Тест №2 «Аппараты защиты и управления. Назначение, характеристики, конструктивные особенности» (Тестирование)
3. Тест №3 «Физические процессы, связанные с функционированием электрических аппаратов» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы по теме: «Аппараты токовой и тепловой защиты» (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы по теме: «Исследование восстанавливающегося напряжения» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы по теме: «Контактор электромагнитный» (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы по теме: «Тепловые процессы и режимы работы электрических аппаратов» (Лабораторная работа)

###### **6 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. КР №1 «Расчет потерь в электронных ключах» (Контрольная работа)
2. КР №2 «Расчет импульсных регуляторов постоянного тока» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Выполнение 1-й части расчетного задания №1: определение токов и напряжений в схеме с транзистором (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Выполнение и защита расчетного задания №2 «Импульсный регулятор постоянного тока и автономный инвертор» (Тестирование)
2. Выполнение основной части и защита расчетного задания №1 «Расчет схемы с транзистором» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита ЛР №1 «Цепи формирования траектории переключения силовых транзисторов» (Лабораторная работа)
2. Защита ЛР №2 «Тиристорный регулятор и компенсация реактивной мощности», ЛР №3 «Импульсные регуляторы постоянного тока», ЛР №4 «Автономные инверторы напряжения» (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 №5)



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 №5)

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 №6)

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

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

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

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

1. А. А. Чунихин- "Электрические аппараты: общий курс", (2-е изд., перераб. и доп.), Издательство: "Энергия", Москва, 1975 - (648 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=601596>;
2. Основы теории электрических аппаратов : учебник для вузов по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / ред. П. А. Курбатов . – 5-е изд., перераб. и доп. . – Санкт-Петербург : Лань, 2015 . – 592 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-1800-8 .;
3. Электрические аппараты : учебник и практикум для академического бакалавриата, для вузов по инженерно-техническим направлениям и специальностям / отв. ред. П. А. Курбатов . – М. : Юрайт, 2017 . – 250 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-9916-9715-6 .;
4. Молоканов, О. Н. Применение электрических аппаратов в системах электроснабжения низкого напряжения : учебное пособие по дисциплине "Электрические и электронные аппараты" по направлению подготовки бакалавров 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / О. Н. Молоканов, Е. А. Кузнецова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2020 . – 100 с. - ISBN 978-5-7046-2203-1 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11134](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11134);
5. Электрические и электронные аппараты : учебник и практикум для академического бакалавриата, для вузов по инженерно-техническим направлениям и специальностям / отв. ред. П. А. Курбатов . – М. : Юрайт, 2016 . – 440 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-9916-5890-4 .;
6. Розанов, Ю. К. Силовая электроника : учебник и практикум для академического бакалавриата по инженерно-техническим направлениям / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов ; ред. Ю. К. Розанов . – М. : Юрайт, 2018 . – 206 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-9916-9440-7 .;
7. Электрические и электронные аппараты. Расчетные задания : практикум по курсу "Электрические и электронные аппараты" по направлению 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов, М. Г. Киселев, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2020 . – 68 с. - Авторы указаны на обороте тит. л. - ISBN 978-5-7046-2364-9 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11328](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11328);

8. Справочник по силовой электронике / Ю. К. Розанов, П. А. Воронин, С. Е. Рывкин, Е. Е. Чаплыгин ; ред. Ю. К. Розанов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2014 . – 472 с. - ISBN 978-5-383-00872-0 ..

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

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. AutoCAD/ T Flex CAD (версия для обучающихся и преподавателей).

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
4. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <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 | Ж-120, Машинный зал ИВЦ  | сервер, кондиционер   |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | Д-416, Учебная аудитория                                       | тумба, доска меловая, мультимедийный проектор, экран  |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий                   | ЭЭА-10, Лаборатория общего курса                               | стол учебный, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, книги, учебники, пособия, наборы демонстрационного оборудования |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | Д-416, Учебная аудитория                                       | тумба, доска меловая, мультимедийный проектор, экран  |
| Помещения для самостоятельной работы                                    | НТБ-304, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой | стул, трибуна, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный  |
| Помещения для   | ЭЭА-13,  | стол преподавателя, стол учебный, стул,   |

|  |               |   |
|--|---------------|---|
| консультирования   | Аудитория     | экран, доска маркерная, наборы демонстрационного оборудования |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | ЭЭА-2б, Архив | стол, стул, документы   |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Электрические и электронные аппараты

(название дисциплины)

#### 5 семестр

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

- КМ-1 Тест №1 «Оценка уровня базовых знаний по электротехнике» (Тестирование)
- КМ-2 Тест №2 «Аппараты защиты и управления. Назначение, характеристики, конструктивные особенности» (Тестирование)
- КМ-3 Тест №3 «Физические процессы, связанные с функционированием электрических аппаратов» (Тестирование)
- КМ-4 Защита лабораторной работы по теме: «Аппараты токовой и тепловой защиты» (Лабораторная работа)
- КМ-5 Защита лабораторной работы по теме: «Контактор электромагнитный» (Лабораторная работа)
- КМ-6 Защита лабораторной работы по теме: «Тепловые процессы и режимы работы электрических аппаратов» (Лабораторная работа)
- КМ-7 Защита лабораторной работы по теме: «Исследование восстанавливающегося напряжения» (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 3    | 8    | 15   | 12   | 12   | 16   | 16   |
| 1             | Модуль 1. Электрические аппараты защиты и управления. Устройство, принцип действия, основные характеристики. |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы     |            | +    | +    |      | +    | +    |      |      |
| 1.2           | Электромеханические аппараты систем распределения электрической энергии при низком напряжении                |            |      | +    |      | +    | +    |      |      |
| 1.3           | Электромеханические аппараты управления  |            |      | +    |      | +    | +    |      |      |
| 2             | Модуль 2. Физические основы работы электрических аппаратов   |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Тепловые процессы в электрических аппаратах  |            |      |      |      | +    |      | +    | +    |
| 2.2           | Электрические контакты   |            |      |      |      | +    |      | +    | +    |
| 2.3           | Электрическая дуга и процесс коммутации  |            |      |      |      | +    |      | +    | +    |

|            |   |   |    |    |    |    |    |    |
|------------|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 2.4        | Электродинамическая стойкость электрических аппаратов |   |    | +  |    |    | +  | +  |
| 2.5        | Электромагниты  |   |    | +  |    |    | +  | +  |
| Вес КМ, %: |   | 5 | 30 | 25 | 10 | 10 | 10 | 10 |

### 6 семестр

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

- КМ-1 Выполнение 1-й части расчетного задания №1: определение токов и напряжений в схеме с транзистором (Расчетно-графическая работа)
- КМ-2 Защита ЛР №1 «Цепи формирования траектории переключения силовых транзисторов» (Лабораторная работа)
- КМ-3 КР №1 «Расчет потерь в электронных ключах» (Контрольная работа)
- КМ-4 Выполнение основной части и защита расчетного задания №1 «Расчет схемы с транзистором» (Тестирование)
- КМ-5 КР №2 «Расчет импульсных регуляторов постоянного тока» (Контрольная работа)
- КМ-6 Выполнение и защита расчетного задания №2 «Импульсный регулятор постоянного тока и автономный инвертор» (Тестирование)
- КМ-7 Защита ЛР №2 «Тиристорный регулятор и компенсация реактивной мощности», ЛР №3 «Импульсные регуляторы постоянного тока», ЛР №4 «Автономные инверторы напряжения» (Лабораторная работа)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 13   | 14   |
| 1             | Силовые электронные ключи и системы управления электронных аппаратов   |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Принцип действия, классификация, характеристики и режимы работы силовых электронных ключей. Расчет потерь  |            | +    | +    | +    | +    |      |      |      |
| 1.2           | Обеспечение безопасной работы транзисторов и основы теплового расчета. Применение электромагнитных компонентов и конденсаторов в электронных аппаратах |            |      | +    | +    | +    |      |      |      |
| 1.3           | Структура и функциональные узлы системы управления электронного аппарата   |            |      | +    |      | +    |      |      |      |
| 2             | Статические коммутационные аппараты и преобразователи электрической энергии  |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Тиристорные и транзисторные контакторы. Гибридные коммутационные аппараты  |            |      |      |      |      |      | +    | +    |

|            |  |    |    |    |    |    |    |    |
|------------|--|----|----|----|----|----|----|----|
| 2.2        | Тиристорные регуляторы и устройства на их основе.<br>Выпрямители |    |    |    |    | +  | +  | +  |
| 2.3        | Регуляторы постоянного тока                                      |    |    |    |    | +  | +  | +  |
| 2.4        | Инверторы напряжения.<br>Четырехквadrантные преобразователи      |    |    |    |    | +  | +  | +  |
| Вес КМ, %: |  | 10 | 10 | 15 | 15 | 15 | 20 | 15 |

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА  
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Электрические и электронные аппараты**

(название дисциплины)

**5 семестр**

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:**

- КМ-1 РПЗ по первому разделу КП «Предварительные расчёты». Оценка правильности расчётов, соответствия оформления РПЗ требованиям и регулярности работы над данным разделом КП (сдачи КМ в установленный срок).
- КМ-2 РПЗ по второму разделу КП «Выбор электрических аппаратов». Оценка корректности принятых в КП решений по выбору аппаратов, соответствия оформления РПЗ требованиям и регулярности работы над данным разделом КП (сдачи КМ в установленный срок).
- КМ-3 Чертёж общего вида НКУ по третьему разделу КП «Конструкторская проработка проекта» и оформление окончательной версии РПЗ для допуска к защите. Оценка корректности построений и соответствия чертежа требованиям, регулярности работы над данным разделом КП (сдачи КМ в установленный срок), а также качества выполнения окончательного варианта РПЗ с учётом замечаний, полученных по результатам предыдущих КМ.

**Вид промежуточной аттестации – защита КП.**

| Номер раздела | Раздел курсового проекта/курсовой работы                 | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 |
|---------------|--|------------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 6    | 12   | 16   |
| 1             | Предварительные расчёты                                  |            | +    |      |      |
| 2             | Выбор электрических аппаратов                            |            |      | +    |      |
| 3             | Конструкторская проработка проекта и подготовка к защите |            |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 30   | 40   | 30   |