

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**  
**(РУТ (МИИТ))**



Рабочая программа дисциплины (модуля),  
как компонент образовательной программы  
высшего образования - программы специалитета  
по специальности  
23.05.05 Системы обеспечения движения поездов,  
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)  
Тимониным В.С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Тепловые процессы в устройствах электроснабжения**

Специальность: 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов

Специализация: Электроснабжение железных дорог

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде  
электронного документа выгружена из единой  
корпоративной информационной системы управления  
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)  
ID подписи: 3221  
Подписал: заведующий кафедрой Шевлюгин Максим  
Валерьевич  
Дата: 05.11.2025

## 1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины (модуля) являются:

- формирование у студентов необходимых знаний и понимания процессов выделения тепла от токоведущих частей и отведения этого тепла в охлаждающую среду;

- подготовка специалистов-электроэнергетиков, способных в практической деятельности оценивать нагрузочную способность элементов системы электроснабжения.

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- дать специалистам теоретические знания и практические навыки, необходимые для осуществления ими профессиональной деятельности.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

**ОПК-4** - Способен выполнять проектирование и расчет транспортных объектов в соответствии с требованиями нормативных документов;

**ПК-4** - Способен выполнять подбор электротехнических материалов на основе знаний об области их применения, свойствах и характеристиках в ходе проектирования и эксплуатации устройств электроснабжения железных дорог.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

### **Знать:**

- основные положения физики, химической кинетики, старения твёрдой изоляции, и трансформаторного масла;

- методы расчёта температур проводов, полупроводников и обмоток трансформаторов.

### **Уметь:**

- рассчитывать температуры проводов, полупроводниковых приборов и трансформаторов при различных нагрузках;

- выбирать оборудование исходя из нагрузочной способности устройств;

- разрабатывать и использовать методы оценки нагрузочной способности устройств, исходя из результатов замеров температур.

### **Владеть:**

теорией инфракрасного излучения и практикой применения тепловизионных диагностических приборов для дистанционного измерения температуры токоведущих частей электроустановок.

### 3. Объем дисциплины (модуля).

#### 3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 3 з.е. (108 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

| Тип учебных занятий                                       | Количество часов |            |
|-----------------------------------------------------------|------------------|------------|
|                                                           | Всего            | Семестр №6 |
| Контактная работа при проведении учебных занятий (всего): | 64               | 64         |
| В том числе:                                              |                  |            |
| Занятия лекционного типа                                  | 32               | 32         |
| Занятия семинарского типа                                 | 32               | 32         |

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 44 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

### 4. Содержание дисциплины (модуля).

#### 4.1. Занятия лекционного типа.

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | <p><b>Введение. Понятие о нагрузочной способности проводника.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- температура проводника, как фактор ограничения токовой нагрузки;</li> <li>- понятие о нагрузочной способности проводника вообще и основного оборудования системы электроснабжения, в частности – силовых трансформаторов, силовых полупроводниковых приборов, контактных проводов и электродвигателей.</li> </ul>                                                                                                                                                  |
| 2        | <p><b>Дифференциальное уравнение нагрева однородного тела.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- нагрев однородного тела при неизменной и меняющейся мощности нагрева;</li> <li>- понятие о полной теплоемкости тела и её зависимости от удельной теплоемкости материала, от объёма и массы тела;</li> <li>- коэффициент теплоотдачи и его зависимость от поверхности контакта;</li> <li>- постоянная времени нагрева тела;</li> <li>- дифференциальное уравнение нагрева однородного тела и его решение;</li> <li>- уравнение нагрева для расчетов на ЭВМ.</li> </ul> |
| 3        | <p><b>Электрическая аналогия тепловых процессов.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- закон Ома для тепловых цепей;</li> <li>- закон теплопроводности Фурье;</li> <li>- тепловые со-противления и тепловые проводимости;</li> <li>- удельная теплопроводность;</li> <li>- понятие о проводниках тепла и теплоизоляторах;</li> <li>- таблица конкретных значений удельной теплопроводности для материалов, применяемых в электроаппаратах;</li> <li>- схема замещения процесса нагрева однородного тела.</li> </ul>                                                    |
| 4        | <p><b>Влияние температуры на состояние изоляции. Закон Аррениуса.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- межвитковая бумажная изоляция, как элемент, лимитирующий срок службы трансформатора;</li> <li>- механическая и электрическая прочность бумажной межвитковой изоляции;</li> <li>- показатель старения изоляции обмоток трансформатора;</li> <li>- закон Аррениуса;</li> <li>- абсолютный и относительный износ изоляции обмоток;</li> <li>- связь износа изоляции обмоток со сроком службы трансформатора.</li> </ul>                                           |
| 5        | <p><b>Выделение тепла в силовых масляных трансформаторах и системы их охлаждения.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- источники тепла;</li> <li>- зависимость мощности тепловыделений в обмотках от тока нагрузки, а мощности тепловыделений в магнитопроводе от напряжения питания;</li> <li>- схема отведения тепла от обмоток работающего масляного трансформатора;</li> <li>- системы охлаждения отечественных силовых масляных трансформаторов.</li> </ul>                                                                                                      |
| 6        | <p><b>Принципы расчета температур обмоток и масла трансформаторов.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- упрощающие допущения;</li> <li>- понятие о тепловых моделях;</li> <li>- двумерная тепловая модель силового масляного трансформатора;</li> <li>- определение установившихся значений перегревов масла над охлаждающей средой и обмотки над маслом;</li> <li>- постоянные времени нагрева масла и обмоток трансформаторов, применяемых в системе электроснабжения железных дорог.</li> </ul>                                                                    |

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7        | <p><b>Выбор мощности силового масляного трансформатора по износу</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зависимость износа от нагрузки трансформатора;</li> <li>- определение периодов «сгущений» поездов, как режимов перегрузок трансформаторов тяговых подстанций;</li> <li>- практика проектирования систем электроснабжения и расчета необходимой мощности трансформаторов – формулы ВНИИЖТа;</li> <li>- «упрощенный» метод выбора мощности силового масляного трансформатора – метод, предписанный стандартом ГОСТ 14209.</li> </ul>                                                                                                                                                                                  |
| 8        | <p><b>Расчет температур силового трансформатора и расчет относительного износа изоляции обмоток.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проверка трансформатора на перегрев в конце периода интенсивной нагрузки;</li> <li>- допустимые значения температур масла и обмоток трансформаторов, применяемых в системе электроснабжения железных дорог;</li> <li>- расчет относительного износа изоляции обмоток трансформатора в интенсивные сутки и расчетные периоды этих суток;</li> <li>- переход от среднесуточного износа изоляции к среднегодовому.</li> </ul>                                                                                                                                                          |
| 9        | <p><b>Тепловые расчеты и тепловые модели силовых полупроводниковых приборов.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- полупроводниковый прибор, как система выделения и отведения тепловой энергии;</li> <li>- два типа конструкций силовых полупроводниковых приборов – штыревые и таблеточные;</li> <li>- виды систем охлаждения силовых полупроводниковых приборов;</li> <li>- определение порогового напряжения и дифференциального сопротивления вентиля по его вольт-амперной характеристике;</li> <li>- среднее и эффективное значения преобразованного вентилем тока и коэффициент формы.</li> </ul>                                                                                                                  |
| 10       | <p><b>Тепловые расчеты электродвигателей.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- электродвигатель, как система выделения тепловой энергии;</li> <li>- зависимость работоспособности элементов конструкции электродвигателя от температурного режима;</li> <li>- закон Аррениуса и правило Монтзингера;</li> <li>- виды систем охлаждения электро-двигателей. Их тепловые модели;</li> <li>- общий вид уравнений и частные случаи – теплоотвод только через внешнюю поверхность электродвигателя и теплоотвод только через его внутреннюю поверхность.</li> </ul>                                                                                                                                                            |
| 11       | <p><b>Инфракрасное излучение и применение тепловизоров в системе</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- тепловидение, как способ бесконтактного дистанционного контроля температуры токоведущих частей;</li> <li>- история инфракрасной техники;</li> <li>- инфракрасное излучение и его визуализация;</li> <li>- теория термографии и законы излучения – теория Бора, закон Стефана-Больцмана, закон Планка, закон Вина;</li> <li>- абсолютно черные тела, серые тела и селективные излучатели;</li> <li>- истинная и радиационная температура тела;</li> <li>- приемники инфракрасного излучения, коэффициент теплового излучения;</li> <li>- устройство тепловизоров и пирометров, особенности их применения.</li> </ul> |
| 12       | <p><b>Практика применения тепловизоров в системе электроснабжения.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- практика применения тепловизоров на тяговых подстанциях и контактной сети железных дорог, в</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <p>электросетях РАО ЕС и в системе электроснабжения Московского метрополитена;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- контролируемые параметры и температурные критерии тепловизионного контроля электрооборудования в России и за рубежом;</li> <li>- метод продольного и поперечного сравнения температур;</li> <li>- метод определения дефектности контактных соединений;</li> <li>- периодичность тепловизионного контроля.</li> </ul> |
| 13       | <p>Тепловые процессы в контактных проводах.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- уравнение теплового баланса контактного провода с учетом солнечной радиации;</li> <li>- защита контактных проводов от токовых перегрузок, учитывающая солнечную радиацию, скорость ветра и токовую нагрузку.</li> </ul>                                                                                                 |

## 4.2. Занятия семинарского типа.

### Практические занятия

| №<br>п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | <p>Введение. Понятие о нагрузочной способности проводника.</p> <p>В результате занятия студент получает понятие о температуре проводника, как факторе ограничения токовой нагрузки и навык расчёта постоянных времени на-грева контактных проводов.</p>                                                                                                                                                  |
| 2        | <p>Нагрев однородного тела при неизменной и меняющейся мощности нагрева.</p> <p>В результате практического занятия студент получает навык расчёта температур тела в зависимости от мощности нагрева и времени её действия.</p>                                                                                                                                                                           |
| 3        | <p>Электрическая аналогия тепловых процессов.</p> <p>В результате занятия студент получает понятие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- о законе Ома для тепловых цепей;</li> <li>- о тепловых проводимостях и удельной теплопроводности;</li> <li>- о проводниках тепла и теплоизоляторах;</li> <li>- о связи удельной теплопроводности материалов и их электрической проводимости.</li> </ul> |
| 4        | <p>Влияние температуры обмоток трансформатора на состояние изоля-ции.</p> <p>В результате занятия студент получает понятие о состоянии бумажной изоляции, как о главном факторе, определяющем срок службы трансформатора.</p>                                                                                                                                                                            |
| 5        | <p>Выделение тепла в силовых масляных трансформаторах и системы их охлаждения.</p> <p>В результате занятия студент получает понятие об источниках тепла и путях его отвода от обмоток работающего масляного трансформатора, а также знакомится с системами охлаждения отечественных силовых масляных трансформаторов.</p>                                                                                |
| 6        | <p>Принципы расчета температур обмоток и масла силовых трансформаторов.</p> <p>В результате работы на практическом занятии, студент получает навык расчета температур обмоток и масла, знакомится с необходимыми упрощающими допущениями.</p>                                                                                                                                                            |
| 7        | <p>Выбор необходимой мощности силового масляного трансформатора по износу изоляции его обмоток.</p> <p>В результате работы на практическом занятии, студент получает навык выбора номинальной мощности трансформатора и определения периодов его перегрузок.</p>                                                                                                                                         |
| 8        | <p>Расчет температур обмоток и масла силового трансформатора в конце периода интенсивной нагрузки – проверка на перегрев.</p> <p>В результате работы на практическом занятии, студент получает навык расчета температур масла и обмоток трансформаторов в конце периода перегрузки.</p>                                                                                                                  |

| №<br>п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9        | Тепловые расчеты силовых полупроводниковых приборов.<br>В результате работы на практическом занятии студент получает понятие о системах охлаждения полупроводниковых приборов; получает понятие о пороговом напряжении и дифференциальном сопротивлении вентиля. |
| 10       | Режимы нагрузки и тепловые режимы полупроводниковых приборов.<br>В результате выполнения практического задания студент получает навык выбора типа охладителя полупроводникового прибора и расчета теплового поля в прибо-ре.                                     |
| 11       | Тепловые расчеты в электродвигателях.<br>В результате практического занятия студент получает понятие об особенностях систем охлаждения электродвигателей.                                                                                                        |
| 12       | Тепловидение, как способ бесконтактного дистанционного контроля температуры токоведущих частей.<br>В результате занятия студент получает понятие:<br>- об инфракрасном излучении и основных законах излучения;<br>- о приёмниках инфракрасного излучения.        |
| 13       | Практика применения тепловизоров на тяговых подстанциях и кон-тактной сети.<br>В результате работы на практическом занятии, студент получает навык работы с тепловизором и пирометром, знакомится с методами определения дефектности контактных соединений.      |
| 14       | Тепловые процессы в контактных проводах.<br>В результате занятия студент знакомится с принципиально новым подходом к тепловой защите проводов, учитывающая солнечную радиацию, скорость ветра и токовую нагрузку.                                                |

#### 4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

| №<br>п/п | Вид самостоятельной работы                   |
|----------|----------------------------------------------|
| 1        | подготовка к практическим занятиям           |
| 2        | работа с лекционным материалом и литературой |
| 3        | Выполнение курсовой работы.                  |
| 4        | Подготовка к промежуточной аттестации.       |
| 5        | Подготовка к текущему контролю.              |

#### 4.4. Примерный перечень тем курсовых работ

Примерный перечень тем (вариантов) курсовых проектов представлен в Приложении 1 к рабочей программе.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

| №<br>п/п | Библиографическое описание | Место доступа |
|----------|----------------------------|---------------|
|----------|----------------------------|---------------|

|   |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Крайнов, А. В. Тепловые процессы в энергосистемах : учебное пособие / А. В. Крайнов, Г. В. Швалова. — Томск : ТПУ, 2013. — 165 с.                                           | <a href="https://e.lanbook.com/book/45164">https://e.lanbook.com/book/45164</a><br>(дата обращения: 20.02.2024).   |
| 2 | Червенчук, В. Д. Электрические аппараты. Тепловые процессы в электрических аппаратах : учебное пособие / В. Д. Червенчук, А. Л. Иванов. — Омск : Омский ГАУ, 2016. — 135 с. | <a href="https://e.lanbook.com/book/221756">https://e.lanbook.com/book/221756</a><br>(дата обращения: 20.02.2024). |
| 3 | Некрасов, Д. А. Тепловые процессы. Теплопроводность материалов : учебное пособие / Д. А. Некрасов, Н. С. Захаров. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 70 с.                       | <a href="https://e.lanbook.com/book/226595">https://e.lanbook.com/book/226595</a><br>(дата обращения: 20.02.2024). |
| 4 | Фролов, Ю. М. Основы электроснабжения : учебное пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-1385-0.                   | <a href="https://e.lanbook.com/book/211058">https://e.lanbook.com/book/211058</a><br>(дата обращения: 20.02.2024). |

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

1. <http://scbist.com> - СЦБИСТ Железнодорожный информационный портал: Фотоматериалы, новая техника, информационные материалы, вопросы и ответы.

2. Информационный портал Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru))

3. Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miiit.ru>)

4. Российская Государственная Библиотека <http://www.rsl.ru>

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Office

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Маркерная доска или проектор

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 6 семестре.

Курсовая работа в 6 семестре.

## 10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

доцент, к.н. кафедры  
«Электроэнергетика транспорта»

А.С. Соловьева

Согласовано:

Заведующий кафедрой ЭЭТ

М.В. Шевлюгин

Председатель учебно-методической  
комиссии

С.В. Володин