

**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 бакалавриата  
по направлению подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,  
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)  
Тимониным В.С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Тепловые процессы в устройствах электроснабжения**

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль): Электроснабжение

Форма обучения: Очно-заочная

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: 01.06.2022

## 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-3** - Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач;

**ОПК-5** - Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности;

**ПК-2** - Способен проводить экспертизу и проектирование систем электроснабжения, производить необходимые расчеты, в том числе, с применением средств автоматизированного проектирования.

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 4 з.е. (144 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	Сем. №9
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	40	40
В том числе:		
Занятия лекционного типа	24	24
Занятия семинарского типа	16	16

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 104 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.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	<p>Введение. Понятие о нагрузочной способности проводника.</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>Дифференциальное уравнение нагрева однородного тела.</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 по-верхности 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>Электрическая аналогия тепловых процессов.</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>Влияние температуры на состояние изоляции. Закон Аррениуса.</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>Выделение тепла в силовых масляных трансформаторах и системы их охлаждения.</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>Принципы расчета температур обмоток и масла трансформаторов.</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></ul>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> <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>
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 электродвигателей. 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>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
12	<p>Практика применения тепловизоров в системе электроснабжения.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- практика применения тепловизоров на тяговых подстанциях и контактной сети железных дорог, в электросетях РАО ЕС и в системе электроснабжения Московского метрополитена;</li> <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

№ 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 допуще-ниями.</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>

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	В результате работы на практическом занятии, студент получает навык расчета температур масла и обмоток трансформаторов в конце периода перегрузки.
9	Тепловые расчеты силовых полупроводниковых приборов. 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. 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. В результате практического занятия студент получает понятие об особенностях систем охлаждения электродвигателей.
12	Тепловидение, как способ бесконтактного дистанционного контроля температуры токоведущих частей. В результате занятия студент получает понятие: - об инфракрасном излучении и основных законах излучения; - о приёмниках инфракрасного излучения.
13	Практика применения тепловизоров на тяговых подстанциях и кон-тактной сети. 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. 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.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	выполните курсовой работы
2	подготовка к практическим занятиям
3	работа с лекционным материалом и литературой
4	подготовка к текущему контролю и промежуточной аттестации
5	Выполнение курсовой работы.
6	Подготовка к промежуточной аттестации.
7	Подготовка к текущему контролю.

#### 4.4. Примерный перечень тем курсовых работ

Тепловой расчет трансформатора выполняется для заданной мощности трансформатора и соответствующей ему конструкции бака. Расчет заключается в определении средней температуры масла верхних слоев трансформатора при различных режимах его работы по условиям нагрузки и по времени года. Примерный перечень тем курсовых проектов представлен в

Приложении 1 к рабочей программе. Варианты исходных условий определяются заданием к курсовому проекту (примеры заданий см. Приложение 1). Различия определяются:

- Длительностью периода интенсивной нагрузки в минутах
- отношением потерь КЗ к потерям ХХ
- постоянной времени масла в минутах
- постоянной времени обмотки в минутах
- эквивалентной температурой охлад. среды в градусах Цельсия
- максимальной летней температурой охл. среды в градусах Цельсия

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

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Электроснабжение электрифицированных железных дорог. -М.: Транспорт - 528 с. Марквардт К.Г. 1982	НТБ РУТ(МИИТ) ( <a href="http://library.miit.ru">http://library.miit.ru</a> ),
2	Расчет трансформаторов. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Энергия - 432 с. Тихомиров П.М. 1976	Электронно-библиотечной системы «Лань» ( <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a> )
1	Нормы проектирования контактной сети СТН ЦЭ 141-99. Департамент электрификации и электроснабжения МПС РФ. 2001	НТБ РУТ(МИИТ) ( <a href="http://library.miit.ru">http://library.miit.ru</a> ),
2	Нагревание и охлаждение электрических двигателей: Учебное пособие по курсу «Теория автоматизированного электропривода». М: МЭИ - 92 с. Горнов А.О. 1980	Электронно-библиотечной системы «Лань» ( <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a> )
3	Выбор мощности масляного трансформатора: Методические указания для выполнения домашнего задания по дисциплине «Тепловые процессы в устройствах электроснабжения». -М.: МИИТ Смирнов Д.В. 2010	НТБ РУТ(МИИТ) ( <a href="http://library.miit.ru">http://library.miit.ru</a> ),

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

<http://scbist.com> - СЦБИСТ Железнодорожный информационный портал: Фотоматериалы, новая техника, информационные материалы, вопросы и ответы. Информационный портал Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)) Научно-техническая библиотека РУТ



(МИИТ) (<http://library.miiit.ru>) 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).

Меловая (маркерная) доска или проектор

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 9 семестре.

Курсовая работа в 9 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  
Председатель учебно-методической  
комиссии

М.В. Шевлюгин

С.В. Володин