

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: 17.04.2024

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	Семестр 1
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	32	32
В том числе:		
Занятия лекционного типа	16	16
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 112 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"> - температура проводника, как фактор ограничения токовой нагрузки; - понятие о нагрузочной способности проводника вообще и основного оборудования системы электроснабжения, в частности – силовых трансформаторов, силовых полупроводниковых приборов, контактных проводов и электродвигателей.
2	<p>Дифференциальное уравнение нагрева однородного тела.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - нагрев однородного тела при неизменной и меняющейся мощности нагрева; - понятие о полной теплоемкости тела и её зависимости от удельной теплоемкости материала, от объёма и массы тела; - коэффициент теплоотдачи и его зависимость от по-верхности контакта; - постоянная времени нагрева тела; - дифференциальное уравнение нагрева однородного тела и его решение; - уравнение нагрева для расчетов на ЭВМ.
3	<p>Электрическая аналогия тепловых процессов.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - закон Ома для тепловых цепей; - закон теплопроводности Фурье; - тепловые со-противления и тепловые проводимости; - удельная теплопроводность; - понятие о проводниках тепла и теплоизоляторах; - таблица конкретных значений удельной теплопроводности для материалов, применяемых в электроаппаратах; - схема замещения процесса нагрева однородного тела.
4	<p>Влияние температуры на состояние изоляции. Закон Аррениуса.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - межвитковая бумажная изоляция, как элемент, лимитирующий срок службы трансформатора; - механическая и электрическая прочность бумажной межвитковой изоляции; - показатель старения изоляции обмоток трансформатора; - закон Аррениуса; - абсолютный и относительный износ изоляции обмоток; - связь износа изоляции обмоток со сроком службы трансформатора.
5	<p>Выделение тепла в силовых масляных трансформаторах и системы их охлаждения.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - источники тепла; - зависимость мощности тепловыделений в обмотках от тока нагрузки, а мощности тепловыделений в магнитопроводе от напряжения питания; - схема отведения тепла от обмоток работающего масляного трансформатора; - системы охлаждения отечественных силовых масляных трансформаторов.
6	<p>Принципы расчета температур обмоток и масла трансформаторов.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - упрощающие допущения; - понятие о тепловых моделях; - двумерная тепловая модель силового масляного трансформатора; - определение установившихся значений перегревов масла над охлаждающей средой и обмотки над маслом; - постоянные времени нагрева масла и обмоток трансформаторов, применяемых в системе электроснабжения железных дорог.
7	<p>Выбор мощности силового масляного трансформатора по износу</p>

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

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	электрооборудования в России и за рубежом; - метод продольного и поперечного сравнения температур; - метод определения дефектности контактных соединений; - периодичность тепловизионного контроля.
13	Тепловые процессы в контактных проводах. Рассматриваемые вопросы: - уравнение теплового баланса контактного провода с учетом солнечной радиации; - защита контактных проводов от токовых перегрузок, учитывающая солнечную радиацию, скорость ветра и токовую нагрузку.

4.2. Занятия семинарского типа.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Введение. Понятие о нагрузочной способности проводника. В результате занятия студент получает понятие о температуре проводника, как факторе ограничения токовой нагрузки и навык расчёта постоянных времени на-грева контактных проводов.
2	Нагрев однородного тела при неизменной и меняющейся мощности нагрева. В результате практического занятия студент получает навык расчёта температур тела в зависимости от мощности нагрева и времени её действия.
3	Электрическая аналогия тепловых процессов. В результате занятия студент получает понятие: - о законе Ома для тепловых цепей; - о тепловых проводимостях и удельной теплопроводности; - о проводниках тепла и теплоизоляторах; - о связи удельной теплопроводности материалов и их электрической проводимости.
4	Влияние температуры обмоток трансформатора на состояние изоля-ции. В результате занятия студент получает понятие о состоянии бумажной изоляции, как о главном факторе, определяющем срок службы трансформатора.
5	Выделение тепла в силовых масляных трансформаторах и системы их охлаждения. 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.
6	Принципы расчета температур обмоток и масла силовых трансформаторов. В результате работы на практическом занятии, студент получает навык расчета температур обмоток и масла, знакомится с необходимыми упрощающими допуще-ниями.
7	Выбор необходимой мощности силового масляного трансформатора по износу изоляции его обмоток. В результате работы на практическом занятии, студент получает навык выбора номинальной мощности трансформатора и определения периодов его перегрузок.
8	Расчет температур обмоток и масла силового трансформатора в конце периода интенсивной нагрузки – проверка на перегрев. 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

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	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 приборе.
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 контактной 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	выполнение 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	Крайнов, А. В. Тепловые процессы в энергосистемах : учебное пособие / А. В. Крайнов, Г. В. Швалова. — Томск : ТПУ, 2013. — 165 с.	https://e.lanbook.com/book/45164 (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.	https://e.lanbook.com/book/221756 (дата обращения: 20.02.2024).
1	Некрасов, Д. А. Тепловые процессы. Теплопроводность материалов : учебное пособие / Д. А. Некрасов, Н. С. Захаров. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 70 с.	https://e.lanbook.com/book/226595 (дата обращения: 20.02.2024).
2	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.	https://e.lanbook.com/book/211058 (дата обращения: 20.02.2024).

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) Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.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 7 семестре.

Курсовая работа в 7 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