

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Б1.В.02.02  
(индекс дисциплины)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Диагностика электрооборудования**

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки  
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

направленность (профиль)  
Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем

Форма обучения: очная

Год набора: 2020

Общая трудоемкость: 4 ЗЕ

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр	3	Итого
Форма контроля	зачет	
Вид занятий		
Лекции	16	16
Лабораторные		
Практические	32	32
Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР		
Промежуточная аттестация	0,25	0,25
Контактная работа	48,25	48,25
Самостоятельная работа	95,75	95,75
Контроль		
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>144</b>

Рабочую программу составил(и):

профессор, доцент, д.т.н., Кувшинов А.А.

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рецензирование рабочей программы дисциплины:



Отсутствует



Рецензент

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

---

**Срок действия рабочей программы дисциплины до «31» августа 2022 г.**

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры

«Электроснабжение и электротехника»

---

(протокол заседания № 3 от «26» сентября 2019 г.)

## 1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – обучение студентов базовым теоретическим знаниям и практическим навыкам организации и проведения диагностики основных видов электроэнергетического оборудования с использованием современных методик и технических средств. Изучение методов определения фактического технического состояния электрооборудования, прогнозирования динамики изменения фактического технического состояния и определения остаточного ресурса. Умение применять методы технической диагностики для определения оптимального момента прекращения эксплуатации электрооборудования. Формирование профессиональных компетенций.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина относится Блоку1 «Дисциплины (модули)» (вариативная часть). Дисциплины, учебные курсы, на освоении которых базируется данная дисциплина (учебный курс) – «Теоретические основы электротехники», «Организация эксплуатации и ремонта электрооборудования», «Производственная практика (научно-исследовательская работа)».

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины (учебного курса) – «Системный анализ и принятие решений по повышению надежности систем электроснабжения», «Автоматизация систем электроснабжения», «Расчетно-экспериментальные исследования динамики систем электроснабжения», «Производственная практика (научно-исследовательская работа)», выпускная квалификационная работа.

## 3. Планируемые результаты обучения

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
ПК-2 Способен управлять деятельностью по эксплуатации объектов электроэнергетики	ПК-2.1. Проводит анализ статистики, формирует заключение об эксплуатационном состоянии электрооборудования, причинах отклонений от НТД, выдает рекомендации по созданию наиболее надежной схемы электрических соединений объектов электроэнергетики	Знать: основы общей теории технической диагностики, методы прогнозирования технического состояния основных видов электрооборудования
		Уметь: применять алгоритмы поиска дефектов для решения практических задач, определять причины отказов электрооборудования, применять методы технической диагностики для определения фактического состояния электрооборудования
		Владеть: методами технической диагностики, теоретического анализа технического состояния

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		объектов диагностирования
	ПК-2.2. Оценивает эффективность управляющих воздействий при изменении эксплуатационного состояния объектов электроэнергетики	Знать: нормативно-технические документы в области методов и средств технической диагностики электрооборудования; требования к электроэнергетическим и электротехническим системам в области надежности; методы диагностирования внешней и внутренней изоляции электрооборудования
		Уметь: разрабатывать структурные схемы средств технической диагностики; рассчитывать параметры диагностических признаков электрооборудования
		Владеть: методами технической диагностики, теоретического анализа технического состояния объектов диагностирования; методами определения мест повреждения кабельных и воздушных линий высокого напряжения с сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью; навыками выбора диагностических признаков для определения технического состояния электрооборудования

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Б1.В.02.02 «Диагностика электрооборудования»

Семестр изучения 3

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Раздел1. Характеристика электроустановок как объектов диагностирования	Лек.	Задачи диагностирования. Диагностические признаки. Алгоритм и средства диагностирования	3	2			Вопросы входного контроля
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)	3	4			
	Пр.	Диагностические признаки высоковольтного электрооборудования	3	2			Комплект задач, темы докладов
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)	3	4			
	Пр.	Структурные схемы средств диагностики. Алгоритмы диагностирования электрооборудования	3	2			Комплект задач, темы докладов

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Раздел 2. Методы прогнозирования технического состояния электроустановок	Лек.	Характеристика задачи прогнозирования. Основные разновидности алгоритмов поиска дефектов. Типовые структуры систем диагностирования. Показатели технических средств диагностирования	3	2	-	-	
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)	3	6	-	-	
	Пр.	Последовательный алгоритм	3	2	-	-	Темы докладов
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)	3	6			
	Пр.	Расчет показателей технических средств диагностирования	3	2			Комплект задач, темы докладов

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Раздел 3. Методы и средства диагностирования внешней изоляции	Лек.	Контроль сопротивления изоляции. Диагностирование гирлянды изоляторов на основе тока утечки. Диагностирование изоляторов на основе анализа распределения напряжения на гирлянде. Диагностирование изоляции на основе инфракрасного излучения. Диагностирование изоляторов на основе оптического излучения. Диагностирование изоляторов на основе регистрации частичных разрядов и высокочастотных электромагнитных излучений.	3	2	-	-	Комплект задач
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)	3	8	-	-	
	Пр.	Технические средства диагностики изоляторов на основе тока утечки	3	2	-	-	Комплект задач, темы докладов

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)		8			
	Пр.	Технические средства диагностирования изоляции на основе инфракрасного излучения		2			Комплект задач, темы докладов
Раздел 4. . Методы и средства диагностирования внутренней изоляции	Лек.	Основные виды внутренней изоляции и причины отказов. Диагностирование на основе измерения диэлектрических потерь изоляции. Контроль сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции. Контроль состояния изоляции по изменению емкости. Контроль изоляции по параметрам частичных разрядов. Контроль состояния изоляции трансформатора по частотным характеристикам. Метод выявления дефектов в изоляции по анализу газов, растворенных в масле.	3	2	-	-	Комплект задач



Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)	3	6	-	-	
	Пр.	Технические средства измерения диэлектрических потерь изоляции	3	2	-	-	Комплект задач
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)		6			
	Пр.	Технические средства измерения параметров частичных разрядов		2			Комплект задач, темы докладов
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)		8			
	Пр.	Технические средства контроля изоляции по частотным характеристикам		2			Комплект задач, темы докладов

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Раздел 5. Методы и средства диагностирования аппаратов высокого напряжения	Лек.	Основные причины отказов. Диагностирование маслонаполненных и воздушных выключателей. Диагностирование вводов высокого напряжения. Диагностирование силовых конденсаторов.	3	2	-	-	Темы докладов, комплект задач
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)	3	5	-	-	
	Пр.	Основные виды отказов маслонаполненных и воздушных выключателей	3	2	-	-	Комплект задач
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)	3	5			
	Пр.	Основные виды отказов вводов высокого напряжения и силовых конденсаторов	3	2			Комплект задач, темы докладов

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Лек.	Диагностирование измерительных трансформаторов тока и напряжения. Диагностирование разрядников и ограничителей перенапряжений.	3	2			
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)	3	5			
	Пр.	Основные виды отказов измерительных трансформаторов тока и напряжения	3	2			Комплект задач, темы докладов
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)	3	5			
	Пр.	Основные виды отказов разрядников и ограничителей перенапряжений	3	2			Комплект задач, темы докладов
Раздел 6. Диагностирование кабельных и воздушных линий высокого напряжения	Лек.	Основные причины отказов кабельных линий. Методы определения мест отказов кабельных линий. Основные виды отказов элементов воздушных линий.	3	2	-	-	Темы докладов

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)	3	4	-	-	
	Пр.	Структурная схема технических средств для дистанционных методов определения места отказа кабельных линий	3	2	-	-	Темы докладов
	Лек.	Методы и средства определения мест повреждения на воздушных линиях 6...35 кВ. Методы и технические средства определения мест повреждения воздушных линий 110 кВ и выше	3	2			
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (подготовка доклада)	3	4			
	Пр.	Структурная схема технических средств для топографических методов определения места отказа кабельных линий	3	2			Комплект задач, тестов

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям (решение задач)	3	6,75			
	Пр.	Микропроцессорные индикаторы определения расстояния до места повреждения	3	2			Комплект задач, тестов
	Ср.	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к промежуточной аттестации	3	6			
	ПА	Сдача зачета	3	0,25			
<b>Итого:</b>				<b>144</b>			

## **5. Образовательные технологии**

Для оценки знаний, умения и уровня профессиональных компетенций, приобретаемых выпускником в процессе изучения дисциплины «Диагностика электрооборудования», используются технологии традиционного обучения:

- лекции;
- практические занятия с устным опросом обучающихся и закреплением теоретического материала;
- индивидуальные и групповые консультации по теоретическим и практическим вопросам курса;
- выполнение практических заданий, которые позволяют приобрести практические знания и навыки решения задачи и работы с нормативной, методической, научно-технической и справочной литературой;
- проведение различных форм самостоятельной работы, которая включает подготовку к лекционным и практическим занятиям, подготовку доклада и его презентации к защите на практическом занятии.

## **6. Методические указания по освоению дисциплины**

6.1. Обучающимся необходимо ознакомиться: с содержанием рабочей программы дисциплины (далее – РПД), с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине.

6.2. Методические указания по подготовке к лекционным занятиям.

В ходе лекций рассматриваются основные понятия тем, связанные с ними теоретические и практические проблемы, даются рекомендации для самостоятельной работы и подготовке к практическим занятиям. Поэтому изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Обучающимся необходимо: перед каждой лекцией просматривать рабочую программу дисциплины, ее основные вопросы, рекомендуемую литературу, что позволит сэкономить время на освоение темы на аудиторном занятии; перед очередной лекцией необходимо просмотреть/повторить материалы предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам.

6.3. Методические указания по подготовке к практическим занятиям.

В ходе практических занятий углубляются и закрепляются знания обучающихся по ряду рассмотренных на лекциях вопросов, знаний по современным методам проектирования систем потребителей различных предприятий и основных способах построения систем электроснабжения; по методам решения оптимизационных задач в электроснабжении и вопросам оптимизации структуры и режимов электрических сетей предприятий; умения производить выбор экономически обоснованных схем и режимов систем электроснабжения. На практических занятиях развиваются способности использовать современные информационные технологии, управлять информацией с применением прикладных программ; использовать сетевые компьютерные технологии, базы данных и пакеты прикладных продуктов. При подготовке к практическим занятиям каждый обучающийся должен:

- изучить рекомендованную литературу;
- изучить материалы лекций;
- подготовить ответы на все вопросы по изучаемой теме;
- выполнить домашнее задание, рекомендованное преподавателем при изучении каждой темы занятия.

По заданию преподавателя обучающийся должен подготовить доклад по теме практического занятия. В процессе подготовки к практическим занятиям обучающиеся могут воспользоваться консультациями преподавателя.

6.4. Самостоятельная работа включает в себя выполнение различного рода заданий и самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к практическим занятиям. Контроль самостоятельной работы обучающихся над программой курса осуществляется в ходе практических занятий (устный опрос, решение задач, публичное выступление с докладом по выбранной теме, тестирование).

## **7. Оценочные средства**

### **7.1. Паспорт оценочных средств**

<b>Семестр</b>	<b>Код контролируемой компетенции (или ее части)</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
3	ПК-2 (ПК-2.1)	Тестовые задания № 1-50 Задачи № 1-6 Вопросы к зачету № 1-19
3	ПК-2 (ПК-2.2)	Тестовые задания № 51-100 Задачи № 7-12 Вопросы к зачету № 20-40

#### **7.2.1. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля по дисциплине «Диагностика электрооборудования»**

##### **7.2.1.1. Входной контроль**

###### **Вопросы входного контроля:**

1. Основные задачи технической диагностики электроэнергетического оборудования.
2. Основные задачи технической диагностики электроэнергетического оборудования.
3. Параметры диагностирования.
4. Классификация отказов.
5. Математические модели в задачах диагностики.
6. Прогнозирование ресурса оборудования. Остаточный ресурс.
7. Методы диагностики электротехнического оборудования.
8. Тепловые методы диагностики.
9. Вибродиагностика. Вибрационный мониторинг.
10. Метод частичных разрядов.

###### **Краткое описание и регламент выполнения**

Входной контроль проводится на первой лекции. Он представляет собой контрольный срез знаний из 10 основных вопросов, ответы на которые обучающийся должен знать в результате изучения предыдущих дисциплин по программе бакалавриата. Контроль проводится по оценке остаточных знаний по дисциплинам «Теоретические основы электротехники», «Организация эксплуатации и ремонта электрооборудования», «Электрические станции и подстанции». Поставленные вопросы требуют точных и коротких ответов. Входной контроль проводится в письменном виде в течение 15-20 минут. Итоги входного контроля используются для корректировки методик проведения лекционных и практических занятий.

###### **Критерии оценки:**

- отметка «зачтено» выставляется обучающемуся, если даны правильные ответы на 4-10 вопросов;
- отметка «не зачтено», если правильных ответов менее 4-х.

### 7.2.1.2. Задачи

#### Типовые задачи:

**1. Дайте определения следующим понятиям: техническая диагностика, диагностирование, диагноз**

Техническая диагностика — область знаний, охватывающая теорию, методы, алгоритмы и средства оценки состояния технических объектов.

Диагностирование — процесс определения состояния технических объектов. Различают рабочее, при котором на объект подаются все необходимые для работы воздействия; тестовое, при котором состояние объекта определяется по его реакции на специальные тестовые воздействия.

Диагноз — результат диагностирования.

Объект, состояние которого оценивается, называется объектом диагностирования.

**2. Дайте определения следующим понятиям: работоспособность, штатное функционирование; неработоспособность, нештатное функционирование**

Работоспособность — состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих выполнение им заданных функций, находятся в установленных пределах. В этом случае объект функционирует штатно.

Неработоспособность — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего выполнение заданных функций, не соответствует установленным требованиям. При этом если объект выполняет часть заданных функций, то он функционирует нештатно.

**3. Дайте определения следующим понятиям: отказ, виды отказов; дефект, виды дефектов**

Отказ — событие, заключающееся в переходе объекта из работоспособного состояния в неработоспособное. Различают полный, частичный и перемежающийся отказы. *Полный*, когда неработоспособный объект не выполняет ни одной из заданных функций. *Частичный*, когда неработоспособный объект выполняет часть заданных функций. *Перемежающийся*, когда объект то работоспособен, то неработоспособен.

Дефект — причина отказа. Различают: отказ элемента сложного объекта, появление новых связей между элементами (например, короткое замыкание), отсутствие связи между элементами (например, обрыв).

**4. Определите задачи диагностики и их сочетания**

Техническая диагностика решает три задачи: контроль (проверка) работоспособности, поиск дефектов и прогнозирование изменения состояния объекта.

Контроль работоспособности (КР) - сравнение текущего состояния объекта, характеризуемого значением диагностического признака, с областью работоспособности, определяемой граничными значениями диагностических признаков (допуском). В качестве диагностических признаков используют параметры (физические величины) и характеристики (зависимости одной физической величины от другой). Различают: качественный (допусковый) и количественный (определение степени работоспособности) контроль.

Поиск дефектов (ПД) - определение причины отказа или резкого снижения запаса работоспособности. Реализуется с помощью алгоритмов поиска.

Прогнозирование изменения состояний (ПИС) — предсказание времени безотказной работы объекта или вероятности, с которой объект будет работоспособным в установленный момент времени.

На практике возможны следующие сочетания задач;



КР и ПД — для восстанавливаемых объектов;  
 КР и ПИС — для высоконадежных объектов;  
 КР, ПД и ПИС — для сложных, восстанавливаемых, высоконадежных объектов.

### 5. Определите процедуру диагностирования и виды диагнозов

В общем случае процедуру решения задач технической диагностики можно представить в следующем виде:

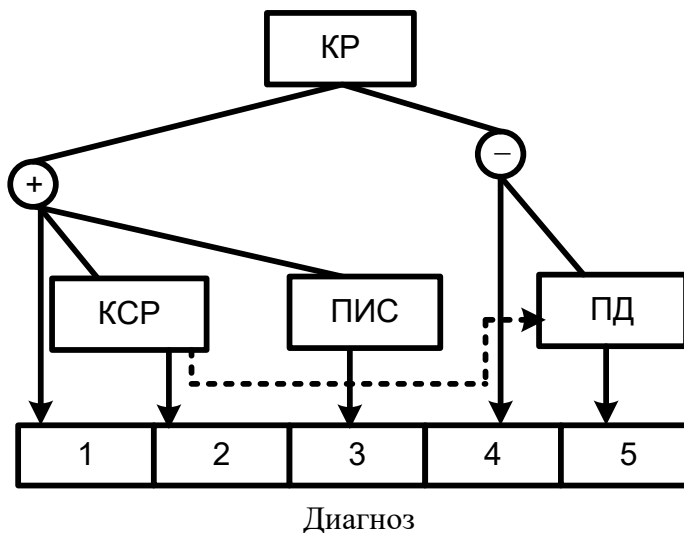


Рисунок – Процесс постановки диагноза

На рисунке приняты обозначения: КР — контроль работоспособности, КСР — контроль степени работоспособности, ПИС — прогнозирование изменения состояния, ПД — поиск дефектов, «+» — положительный результат контроля (работоспособен), «-» — отрицательный результат контроля (неработоспособен); — при резком снижении запаса работоспособности.

При этом возможны следующие виды диагноза:

- а) «работоспособен», «годен», «да»;
- б) степень работоспособности — 70%;
- в) время безотказной работы — 300 ч;
- г) «сгорел резистор R15», «пробит конденсатор C4»;
- д) «неработоспособен», «негоден», «нет».

### 6. Приведите основные положения технической диагностики

**Ответ.** 1. Допущение о том, что рассматривается конечное множество состояний  $S$ , включающее подмножество работоспособных  $S_P$  и подмножество неработоспособных  $S_H$  состояний.

2. Диагностирование объекта предполагает анализ всего множества  $S$ , если отсутствует информация о состоянии объекта, или подмножества  $S_P$  ( $S_H$ ), если такая информация имеется.

3. В неработоспособном объекте дефект имеется всегда, в работоспособном объекте дефекты могут быть, если имеется избыточность (например, резервирование).

4. В процессе диагностирования в общем случае участвуют объект диагностирования (ОД), средства технического диагностирования (СТД) и человек-оператор (ЧО), которые образуют систему диагностирования (СД).

### 7. Охарактеризуйте метод диагностирования изоляции на основе инфракрасного излучения

Применительно к изоляции линий, находящихся под напряжением, диэлектрические потери в изоляторах создают температурные перепады между изолятором, окружающей средой и изоляторами в гирлянде при наличии дефектных изоляторов. Максимум теплового излучения изоляторов занимает полосу спектра электромагнитных колебаний от 9 до 13 мкм, т.е. находится в средневолновой области инфракрасного диапазона.

Оценив тепловое равновесие при рассеивании энергии в окружающую среду изолятором во время нагрева его диэлектрическими потерями и токами утечки, можно рассчитать температуру перегрева каждого изолятора для гирлянд, без дефектных изоляторов при нормальном распределении напряжения по изоляторам и для гирлянд с одним дефектным изолятором при разном расположении этого изолятора.

Метод предполагает регистрацию теплового (инфракрасного) излучения и последующее сравнение его с нормированными значениями. Для диагностирования тепловизионным методом применяют пирометры и тепловизоры.

#### **8. Определите сущность метода контроля гирлянд изоляторов на основе оптического излучения**

Физическая сущность метода контроля гирлянд изоляторов с целью определения наличия и количества нулевых изоляторов в гирляндах основана на зависимости силы света поверхностного частичного разряда (ПЧР) на изоляторе от величины напряжения на нем.

Установлено, что ПЧР на всех типах изоляторов возникают прежде всего в кольцевой зоне на границе «цементная армировка - изолирующая деталь». На границе армировки напряженность электрического поля имеет наибольшее значение, так как проводимость цемента достаточно высока и потенциал стержня выносится на край армировки. Кроме того, на границе армировки образуются кольцевые трещины, обусловленные различием температурных коэффициентов цемента и изолирующей детали (фарфор или стекло).

Напряженность поля в трещинах повышена, и поэтому они являются инициаторами разрядов. При росте напряжения на изоляторах сила света ПЧР возрастает как следствие роста разрядов, увеличения их числа и разветвления. При увлажнении изоляции напряжение возникновения ПЧР снижается, а сила света возрастает на 5 порядков по сравнению с нормальными условиями. При увлажнении загрязненной изоляции интенсивность оптического излучения ПЧР увеличивается еще больше. Поэтому контроль подвесной изоляции желательно проводить в условиях увлажнения изоляции.

Используется прибор «Филин-6М», основу которого составляют фотоэлектронные умножители.

#### **9. Охарактеризуйте метод диагностирования изоляторов на основе регистрации частичных разрядов**

Методами обнаружения частичных разрядов (ЧР) в газовых включениях изоляции могут быть: измерение интенсивности электромагнитных волн, излучаемых непосредственно разрядами (гальванический метод), и регистрация высокочастотных электромагнитных излучений (бесконтактный метод).

Основным источником сигналов является коронный разряд. Коронные разряды развиваются за  $10^{-8} \dots 10^{-7}$  с. Параметры тока: амплитуда около 2.5 мА, среднее время нарастания и спада импульса составляет соответственно 10 и 80 наносекунд.

Измерив падение напряжения  $\Delta U$  и  $C_X$ , определяют кажущийся заряд  $q_{ЧР}$ :

$$q_{ЧР} = \Delta U C_X.$$

По значению  $\Delta U$  рассчитывают энергию ЧР  $W_{ЧР}$ :

$$W_{ЧР} = q_{ЧР} U_{ЧР} / \sqrt{2},$$

где  $U_{ЧР}$  — порог срабатывания счетчика импульсов (СИ) измерительного устройства.

Контактный способ предполагает измерение напряжения и тока при наличии гальванической связи «изолятор- прибор». Бесконтактный способ требует измерения

высокочастотных электромагнитных излучений от тока разряда при разрядных процессах путем регистрации возникающего электромагнитного поля.

#### **10. Определите метод диагностирования изоляторов на основе регистрации высокочастотных электромагнитных излучений (ВЧЭМИ)**

Внешними проявлениями ВЧЭМИ в изоляции являются импульсы напряжения па объекте и ток переходного процесса в цепи, который распространяется по проводам линий электропередачи на значительные расстояния. Ток разряда не может быть измерен непосредственно, однако вызываемые им быстрые изменения электромагнитного поля могут быть зафиксированы чувствительными приборами.

В основу метода диагностирования изоляции по характеристикам частичных разрядов может быть положено измерение ВЧЭМИ от тока разряда при разрядных процессах. Этот метод позволяет выявить опоры с дефектными изоляторами, генерирующими различные виды разрядов: поверхностные разряды по трещине, разряды в воздушных полостях.

Существует взаимосвязь между состоянием изоляционного элемента и параметрами ВЧЭМИ: средней мощности излучения  $P$ , действующего значения напряженности поля  $E$ , напряжения на линии  $U$  и числа импульсов  $N$ , которые могут служить диагностическими признаками. Сравнивая дефектограммы, полученные по результатам измерений ВЧЭИ на линиях без дефектов и при наличии дефектных элементов, можно заключить о степени развития дефекта на изоляции ЛЭП.

В измерительных установках, применяемых для регистрации ВЧЭМИ, осуществляется электромагнитная связь измерительного элемента с измеряемым сигналом. Это позволяет проводить измерения разрядов под рабочим напряжением без отключения оборудования, что открывает широкую возможность использования таких установок при измерениях без снятия напряжения.

#### **11. Охарактеризуйте метод контроля состояния изоляции трансформатора по частотным характеристикам**

Увлажнение и старение внутриобмоточной твердой или жидкой изоляции трансформатора вызывает увеличение внутриобмоточных емкостей и приводит к уменьшению собственных частот составляющих обмотки (слоя, катушки) трансформатора и коэффициента передачи.

Значение амплитуды напряжения на разных экстремальных точках также изменяется в зависимости от состояния изоляции. Эти параметры можно использовать как диагностические признаки оценивания состояния внутренней изоляции силовых трансформаторов.

Для определения состояния витковой и слоевой изоляции во внутренних объемах обмотки необходимо, чтобы в процессе диагностирования участвовали емкости витковой  $K$  и слоевой  $C$  изоляции. Это может быть достигнуто подачей тестового сигнала с частотой менее критической:

При равенстве частоты приложенного напряжения  $\omega_{diag}$  собственной частоте  $\omega_c$  слоев, катушек или обмотки в них возникает резонанс.

Диагностирование состояния изоляции состоит в периодическом измерении уровней напряжения на выводах обмоток высокого напряжения (ВН) при подключении генератора ВЧ-сигнала к выводам обмотки низкого напряжения (НН) силового трансформатора. Частота высокочастотного сигнала для каждого габарита трансформаторов может быть определена расчетом или экспериментально и равна собственной частоте колебаний высоковольтной обмотки при состоянии изоляции, отвечающей требованиям норм эксплуатации силового трансформатора.

#### **12. Определите метод выявления дефектов в изоляции по анализу газов, растворенных в масле**

В процессе старения изоляция претерпевает ряд физико-химических изменений. При этом выделяются продукты разложения - твердые, жидкие и газообразные вещества. Твердые изоляционные материалы на основе целлюлозы (бумага, картон) при медленном старении выделяют газы; в их числе водород, низкомолекулярные углеводороды, а также окись и двуокись углерода, образующиеся при окислении целлюлозы.

Газовыделение зависит от режима работы объекта, продолжительности использования примененных в нем материалов и ряда других факторов. Продукты разложения материалов накапливаются в изоляционном масле или в надмасляном пространстве оборудования; их можно обнаружить при анализе проб масла.

Анализ газов, растворенных в масле, обеспечивает раннее выявление дефектов. Диагностирование по содержанию растворенных в масле газов включает в себя выявление объектов с дефектами, оценку скорости развития дефектов и определение их характера и опасности. Простейшим методом контроля является определение общего газосодержания масла (объем растворенных в нем газов).

В практике энергосистем применяется газоадсорбционная хроматография, основанная на разделении анализируемой смеси при помощи различных адсорбентов — пористых веществ с сильно развитой поверхностью. Процесс газовой хроматографии состоит из двух этапов: разделения анализируемой смеси на компоненты (качественный анализ) и определения их концентраций (количественный анализ).

По результатам анализа газов строят хроматограммы. Последовательность (время) вывода из разделительной колонки конкретных газов известна для данных условий анализа. Это дает информацию о составе анализируемой смеси. Для получения количественных показателей определяется площадь пиков хроматограммы, которая на основании данных калибровки приводится к значениям концентрации соответствующих газов.

#### **Краткое описание и регламент выполнения**

Задание выполняется письменно. Оценивается правильность выполнения задания и количество допущенных при выполнении задания ошибок.

#### **Критерии оценки:**

- отметка «зачтено» выставляется обучающемуся, если задача решена правильно или решена с незначительными ошибками;
- отметка «не зачтено» выставляется обучающемуся, если задача не решена и/или допущены грубые ошибки.

### **7.2.1.3. Типовые тестовые задания**

#### **1. Раскройте содержание понятий интерполяции и экстраполяции:**

а) интерполяция — определение промежуточных значений функции по некоторым ее известным значениям; экстраполяция — определение значений функции за пределами интервала, где известны ее значения;

б) интерполяция — определение значений функции за пределами интервала, где известны ее значения; экстраполяция — определение промежуточных значений функции по некоторым ее известным значениям;

в) интерполяция — определение значений функции по ее известным значениям за пределами рассматриваемого интервала; экстраполяция — определение значений функции за пределами интервала, где известны ее значения.

#### **2. Что такое случайный процесс?**

- а) изменение случайной величины при изменении случайного параметра;
- б) изменение случайной величины при изменении неслучайного параметра;

в) изменение неслучайного параметра при изменении случайной величины.

**3. Какие процессы можно прогнозировать?**

- а) имеющие колебательный характер без тренда;
- б) предполагающие внезапные отказы;
- в) обладающие свойством монотонности и плавности.

**4. Чем отличается локальный прогноз от глобального?**

- а) при локальном прогнозируется работоспособность одного ОД, при глобальном - группы ОД;
- б) при локальном прогнозируется работоспособность одного ОД до отказа, при глобальном — группы ОД до отказа.
- в) при локальном прогнозируется работоспособность на незначительное время, при глобальном – до потери работоспособности.

**5. Что нужно сделать, чтобы составить таблицу дефектов?**

- а) выполнить моделирование дефектов и испытания;
- б) провести анализ диагностической модели и испытания;
- в) выполнить моделирование дефектов или анализ диагностической модели.

**6. Как представить алгоритм поиска дефектов в виде графа?**

- а) вершины — элементы, ветви — проверки;
- б) вершины — проверки, ветви — направления движения по результатам проверки;
- в) вершины — проверки, ветви — обнаруживаемые дефекты.

**7. Назовите основные свойства последовательного алгоритма поиска дефектов:**

- а) последовательное выполнение проверок;
- б) обнаружение каждой проверкой одного дефекта;
- в) последовательное разбиение ОД на равные части.

**8. Что необходимо иметь для построения алгоритма поиска дефектов способом «время - вероятность»?**

- а) время поиска каждого дефекта, вероятности отказов;
- б) функциональная схема, время поиска каждого дефекта и вероятность безотказной работы;
- в) функциональная схема и вероятность безотказной работы.

**9. Укажите последовательность действий при анализе таблицы чувствительности функций передачи для построения алгоритма поиска дефектов:**

- а) ранжирование строк по чувствительности, ранжирование параметров, к которым функция передачи параметров наиболее чувствительна;
- б) ранжирование параметров по чувствительностям к ним функций передач;
- в) ранжирование параметров по чувствительностям к ним функций передач, ранжирование функций передач к выбранным параметрам.

**10. Как можно сократить число проверок для обнаружения всех дефектов при анализе таблицы состояний?**

- а) заполнить таблицу по правилу «проверка обнаруживает дефект — 0, не обнаруживает — 1» и исключить наименее информационную проверку;
- б) заполнить таблицу попарного сравнения проверок по правилу «различают дефект - 1, не различают — 0» и выбрать наиболее информативную;
- в) то и другое.

**11. Определите правильную последовательность действий при использовании метода распознавания образа:**

- а) составить таблицу неработоспособных состояний по результатам моделирования дефектов; построить образы дефектов в координатах рассматриваемых параметров; определить расстояние между текущим состоянием и образом; поставить диагноз;
- б) выбрать совокупность диагностических параметров; составить образы рассматриваемых дефектов; определить расстояние от текущего состояния до образов; поставить диагноз;

в) составить таблицу неработоспособных состояний по результатам моделирования дефектов; выбрать совокупность диагностических параметров; построить образы в координатах диагностических параметров; определить расстояние до образов дефектов; поставить диагноз.

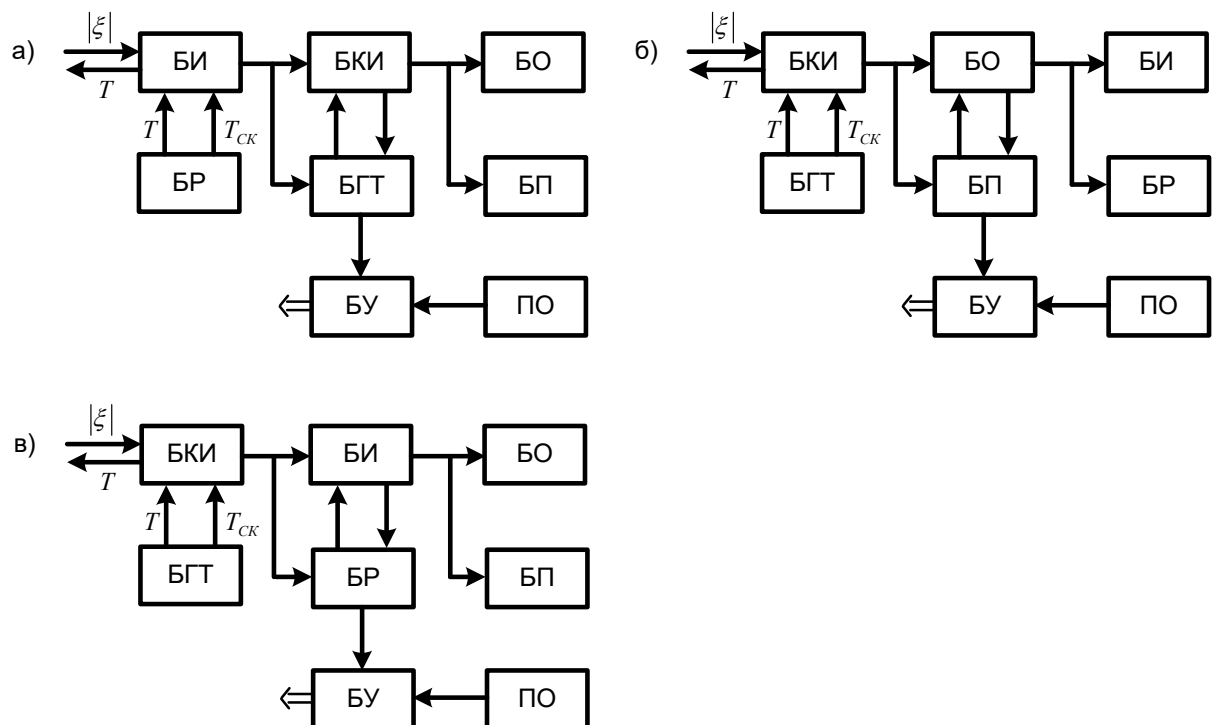
## 12. Охарактеризуйте электростанцию как ОД:

а) непрерывный, непрерывного использования, периодического диагностирования, единое целое, восстанавливаемый;

б) дискретный, периодического использования, непрерывного диагностирования, единое целое, невосстанавливаемый;

в) гибридный, непрерывного использования, непрерывного диагностирования, совокупность структурных единиц, восстанавливаемый.

## 13. Как выглядит обобщенная структурная схема ТСД? (б)



14. Какие из блоков, представленных в ряду БИ, БР, БП, БКИ, БГТ, БО, БУ, ПО, вносят наибольший вклад в погрешность, влияющую на достоверность диагноза?

а) БП, БКИ, БГТ;

б) БКИ, БП, БО;

в) БО, БКИ, БГТ.

## 15. В каких блоках ТСД учитываются требования ЧО?

а) БУ, БП, БР;

б) БИ, БР, ПО;

в) ПО, БИ, БП.

## 16. Что такое структура СД?

а) набор элементов и связей;

б) устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей;

в) устойчивая упорядоченность в пространстве ее элементов и связей.

## 17. Укажите верное определение внешней изоляции электроустановок:

а) изоляция, на электрическую прочность которой не влияют атмосферные условия;

б) изоляция, пробой которой представляет собой необратимое разрушение;

в) изоляция оборудования, присоединенная к шинам подстанции в РУ высокого напряжения,

**18. Назовите тип изоляторов, для которого характерен отказ из-за недостаточной электрической прочности узла «фланец – теплопроводящая часть»:**

- а) опорный;
- б) проходной;
- в) подвесной.

**19. Почему поверхность опорных изоляторов делают ребристой?**

- а) для увеличения механической прочности изолятора;
- б) для увеличения длины пути тока утечки;
- в) по технико-экономическим причинам.

**20. Какой элемент схемы замещения гирлянды изоляторов определяет сопротивление изоляции постоянному току?**

- а)  $r$ ;
- б)  $R_1$ ;
- в)  $R$ .

### **Краткое описание и регламент выполнения**

Тест проводится в начале практического занятия в письменной форме. Каждому обучающемуся выдается 20 вопросов, на каждый из которых нужно выбрать правильный (ые) ответ (ы). Время, отводимое на тестирование - 15 минут.

### **Критерии оценки:**

- отметка «зачтено» выставляется обучающемуся, если обучающийся ответил правильно больше чем на половину тестов.
- отметка «не зачтено» - если обучающийся ответил правильно на половину или меньше тестов.

**7.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

#### **7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации**

<b>№ п/п</b>	<b>Вопросы к зачету</b>
1	Основные задачи технической диагностики электроэнергетического оборудования
2	Тестовое и функциональное диагностирование объекта исследования
3	Параметры диагностирования
4	Классификация отказов
5	Математические модели в задачах диагностики
6	Прогнозирование ресурса оборудования. Остаточный ресурс
7	Методы диагностики электротехнического оборудования
8	Тепловые методы диагностики
9	Вибродиагностика. Вибрационный мониторинг
10	Метод частичных разрядов
11	Физико-химические методы диагностики
12	Оптические методы
13	Методы неразрушающего контроля конструкционных материалов и изделий
14	Технические средства диагностирования
15	Диагностические комплексы и мобильные диагностические лаборатории
16	Диагностика изоляции коммутационных аппаратов
17	Диагностика контактов и контактных соединений

№ п/п	Вопросы к зачету
18	Методы диагностики кабельных линий
19	Технические средства диагностики кабельных линий
20	Технические средства диагностики воздушных линий
21	Диагностика элементов систем релейной защиты и автоматики
22	Характерные повреждения силовых трансформаторов
23	Хроматографический метод диагностики силовых трансформаторов
24	Тепловизионный метод диагностики силовых и измерительных трансформаторов
25	Диагностирование изоляторов на основе оптического излучения
26	Бесконтактное диагностирование дефектов внешней изоляции
27	Контроль изоляции трансформаторов, вводов и измерительных трансформаторов при рабочем напряжении по характеристикам частичных разрядов
28	Диагностирование силовых трансформаторов под рабочим напряжением
29	Диагностика опрессовки активных элементов и механических деформаций обмоток трансформаторов
30	Основные дефекты электрических машин
31	Основные виды внутренней изоляции и причины их отказов
32	Газовая изоляция
33	Вакуумная изоляция
34	Современные программные и технические средства мониторинга, диагностики и балансировки электрических машин
35	Вибродиагностика электрических машин
36	Общие принципы диагностического контроля электротехнического оборудования
37	Разработка методики диагностирования и прогнозирования ресурса электрооборудования
38	Метрологическое обеспечение и обработка результатов технического диагностирования
39	Требования к безопасности процессов диагностирования
40	Технико-экономические показатели эффективности системы диагностики

### 7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
1	зачет	«зачтено»	оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если обучающийся изложил материал грамотно, содержание ответа соответствует содержанию вопроса, тема вопроса полностью раскрыта
		«не зачтено»	оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, если обучающийся не раскрыл содержание вопроса или отклонился от заданной темы



## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1. Обязательная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Елгина Г.А.	Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций	Учебное пособие	2018	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	Полуянович Н.К..	Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий	Учебное пособие	2017	ЭБС «Лань»
3	Кобелев А.В., Кочергин С.В., Печагин Е.А.	Режимы работы электроэнергетических систем	Учебное пособие	2017	ЭБС «IPRbooks»
4	Хорольский В.Я., Таранов М.А., Шемякин В.Н.	Эксплуатация электрооборудования	Учебник	2017	ЭБС «Лань»
5	Кувшинов А.А.	Диагностика технического состояния электрооборудования в системах электроснабжения	Практикум	2016	Репозиторий ТГУ

## 8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно- методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Герасимова А.Г.	Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС	Учебник	2016	ЭБС «IPRbooks»

### 8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- Web of Science [Электронный ресурс] : мультидисциплинарная реферативная база данных. – Philadelphia: Clarivate Analytics, 2016. – Режим доступа : [apps.webofknowledge.com](https://apps.webofknowledge.com). – Загл. с экрана. – Яз. рус.,англ.;
- Scopus [Электронный ресурс] : реферативная база данных. – Netherlands: Elsevier, 2004. – Режим доступа : [scopus.com](https://scopus.com). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.;
- Elibrary [Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Москва : НЭБ, 2000. – Режим доступа : [elibrary.ru](https://elibrary.ru). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.;
- Springer Link [Электронный ресурс] : [база данных].– Switzerland: SpringerNature, 1842. – Режим доступа : [link.springer.com](https://link.springer.com). – Загл. с экрана. – Яз. англ.;
- Science Direct [Электронный ресурс] : коллекция электронных книг издательства Elsevier. – Netherlands: Elsevier, 2018. – Режим доступа : [sciencedirect.com](https://sciencedirect.com). – Загл. с экрана. – Яз. англ.;
- Cambridge university press [Электронный ресурс] : журналы издательства. – Cambridge: Cambridge university press, 2018 . – Режим доступа : [cambridge.org](https://cambridge.org). – Загл. с экрана. – Яз. англ.;
- NEICON [Электронный ресурс] : электронная информация : архив научных журналов. – Москва : НЭИКОН, 2002. – Режим доступа : [neicon.ru/resources/archive](https://neicon.ru/resources/archive). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

### 8.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows	Договор № 690 от 19.05.2015, срок действия – бессрочно
2	Office Standard	Договор № 690 от 19.05.2015, срок действия – бессрочно; Договор № 727 от 20.07.2016, срок действия – бессрочно

### 8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
1	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. (Э-211)	Проектор, экран; стол ученический (моноблок) двухместный, стол ученический (моноблок) трехместный, стол преподавательский, стул преподавательский, доска аудиторная., экран, проектор, жалюзи.

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
2	<p>Лаборатория «Электрооборудование станций и подстанций предприятий».</p> <p>Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа.</p> <p>Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ).</p> <p>Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций</p> <p>Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.</p> <p>(Э-203)</p>	<p>Проектор, экран; столы ученические двухместные, стулья ученические, стол преподавательский, стул преподавательский, доска аудиторная (меловая), стенды универсальный лабораторный, стенд демонстрационный., стол компьютерный одноместный, ПК, жалюзи</p>
3	<p>Лаборатория «Производство и передача электроэнергии».</p> <p>Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа.</p> <p>Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ).</p> <p>Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций</p> <p>Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.</p> <p>(Э-201)</p>	<p>Стол�ы ученические двухместные, стулья ученические, стол преподавательский, стул преподавательский, доска аудиторная (меловая), стенд лабораторный., столы лабораторные, шкаф, жалюзи</p>
4	<p>Помещение для самостоятельной работы студентов. (Г-401)</p>	<p>Стол�ы ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет</p>