

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Электрических станций, сетей и систем»

**УТВЕРЖДЕНА:**

на заседании кафедры электрических станций, сетей и систем

Протокол №7 от 10 марта 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»**

---

Направление: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

---

Электроснабжение

---

Квалификация: Бакалавр

---

Форма обучения: очная

---

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Составитель программы:  
Сташкевич Елена  
Владимировна  
Дата подписания: 16.05.2025

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Утвердил: Федосов Денис  
Сергеевич  
Дата подписания: 17.05.2025

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Согласовал: Сулов  
Константин Витальевич  
Дата подписания: 04.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

# 1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

## 1.1 Дисциплина «Электроэнергетические системы и сети» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКР-2 Способность к оформлению технической документации на различных стадиях разработки проекта объекта профессиональной деятельности	ПКР-2.2
ПКС-2 Способность к выполнению работ по эксплуатации оборудования и систем электроснабжения	ПКС-2.8

## 1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКР-2.2	Демонстрирует навыки использования математических моделей и методов в инженерных исследованиях	<b>Знать</b> конструктивное выполнение воздушных и кабельных линий электропередачи <b>Уметь</b> применять, эксплуатировать и производить выбор оборудования электроэнергетических систем и сетей <b>Владеть</b> методами анализа режимов работы электроэнергетических систем; методами расчета параметров электроэнергетических сетей
ПКС-2.8	Демонстрирует знание структуры производственной системы в электроэнергетике	<b>Знать</b> схемы электроэнергетических систем и сетей <b>Уметь</b> применять, эксплуатировать и производить выбор оборудования электроэнергетических систем и сетей <b>Владеть</b> методами расчета переходных и установившихся процессов в линейных и нелинейных электрических цепях; методами расчета, проектирования и конструирования электроэнергетических систем

## 2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Электроэнергетические системы и сети» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электрические станции и подстанции», «Математические задачи электроэнергетики»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Основы электроснабжения», «Системы электроснабжения», «Переходные процессы», «Качество электроэнергии»

### 3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 5 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Семестр № 5	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины	180	72	108
Аудиторные занятия, в том числе:	96	48	48
лекции	64	32	32
лабораторные работы	16	0	16
практические/семинарские занятия	16	16	0
Контактная работа, в том числе	0	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	48	24	24
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	0	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет, Экзамен, Курсовой проект	Зачет	Экзамен, Курсовой проект

### 4 Структура и содержание дисциплины

#### 4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

##### Семестр № 5

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах и сетях	1	2					2, 4	2	Устный опрос
2	Конструкции линий электропередачи	2	4			6, 8	4	1, 2, 3	5	Реферат

3	Характеристики и параметры элементов электроэнергетической системы	3	8			1, 2	4	2, 3	3	Устный опрос
4	Расчет установившихся режимов электрических сетей	4	6			3, 4, 5	6	2, 3, 4	6	Устный опрос
5	Балансы мощностей в электрических системах	5	6			7	2	1, 2, 3	5	Устный опрос
6	Регулирование напряжения в электрических системах	6	6					2, 3	3	Устный опрос
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		32				16		24	

### Семестр № 6

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Технико-экономические расчеты в электрических сетях энергосистем	1	8	1, 2, 4, 6	10			1, 2, 3, 4	17	Устный опрос
2	Потери мощности и электроэнергии в электрической системе, мероприятия по их снижению	2	8	2, 3	4			3, 4	4	Устный опрос
3	Расчет воздушных линий на механическую прочность	3	6					2	1	Устный опрос
4	Особые режимы электрических систем	4	6	5	2			2	1	Устный опрос
5	Линии электропередачи сверхвысокого напряжения	5	4					2	1	Устный опрос
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен, Курсовой проект
	Всего		32		16				60	

### 4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

#### Семестр № 5

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах и сетях	<p>Определения энергосистемы, электрической системы и электрической сети. Элементы энергосистем и их характеристика. Технологические особенности энергосистем. Преимущества объединения электростанций в энергосистему. Электроустановки, их номинальные данные. Шкалы номинальных напряжений электроустановок. Классификация электрических сетей. Основные требования, предъявляемые к электрическим сетям.</p>
2	Конструкции линий электропередачи	<p>Конструктивные элементы воздушных линий электропередачи (ВЛ). Провода ВЛ и тросы. Опоры ВЛ. Грозозащитные тросы. Изоляторы и линейная арматура. Конструкция кабелей и кабельные линии. Токопроводы, шинопроводы и внутренние электропроводки</p>
3	Характеристики и параметры элементов электроэнергетической системы	<p>Схемы замещения линий электропередачи. Потери мощности в линиях электропередачи. Схемы замещения трансформаторов (двухобмоточных, трехобмоточных, с расщепленными обмотками низкого напряжения) и автотрансформаторов. Потери мощности в трансформаторах. Статические характеристики нагрузок потребителей. Задание нагрузок при расчетах режимов электрических сетей и систем. Представление генераторов при расчетах установившихся режимов.</p>
4	Расчет установившихся режимов электрических сетей	<p>Расчет режима линии электропередачи при заданном токе нагрузки. Расчет режима линии электропередачи при заданной мощности нагрузки. Падение и потеря напряжения в линии. Расчет сети из двух последовательных линий при заданных мощностях нагрузки и напряжений в конце. Расчет разомкнутой сети (в два этапа) при заданных мощностях нагрузки и напряжения источника питания. Расчетные нагрузки подстанций. Определение напряжения на стороне низшего напряжения подстанций. Расчет сети с разными номинальными напряжениями. Допущения про расчете разомкнутых распределительных сетей <math>U_{ном} \leq 35</math> кВ. Определение наибольшей потери напряжения. Расчет линии с равномерно распределенной нагрузкой. Распределение потоков мощности и напряжения в простых замкнутых сетях.</p>
5	Балансы мощностей в электрических системах	<p>Баланс активной мощности и его связь с частотой. Регулирование частоты вращения турбины. Регулирование частоты в электрической системе. Баланс реактивной мощности и его связь с напряжением. Регулирующий эффект нагрузки.</p>

		Потребители реактивной мощности. Выработка реактивной мощности на электростанциях. Компенсация реактивной мощности. Компенсирующие устройства. Расстановка компенсирующих устройств.
6	Регулирование напряжения в электрических системах	Методы регулирования напряжения. Встречное регулирование напряжения. Регулирование напряжения на электростанциях. Регулирование напряжения на понижающих подстанциях. Регулирование напряжения изменением сопротивления сети. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности. Определение допустимых потерь напряжения в распределительных сетях. Сравнение способов регулирования напряжения.

### Семестр № 6

№	Тема	Краткое содержание
1	Технико-экономические расчеты в электрических сетях энергосистем	Задачи и методы проектирования электроэнергетических систем и сетей. Технико-экономические показатели. Технико-экономическое сравнение вариантов сети. Выбор вариантов сети с учетом надежности. Выбор номинального напряжения. Определение сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока и экономическим интервалам. Особенности определения сечения линий в распределительных сетях по допустимой потере напряжения. Особенности выбора и проверки сечений в простых замкнутых сетях. Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева. Схемы электрических сетей.
2	Потери мощности и электроэнергии в электрической системе, мероприятия по их снижению	Общая характеристика проблемы расчета, анализа и снижения потерь. Основные понятия и определения. Структура потерь. Технические потери электроэнергии (условно-постоянные и переменные) в элементах электрических систем. Нормативные методы расчета переменных потерь и области их применения. Метод характерных суточных графиков нагрузок. Метод времени наибольших потерь. Классификация мероприятий по снижению потерь. Отключение трансформаторов в режимах малых нагрузок. Размыкание контуров электрической сети.
3	Расчет воздушных линий на механическую прочность	Характеристика задач и исходных условий расчета конструктивной части линий. Удельные механические нагрузки на провода и тросы. Напряжение в материале провода и уравнение провода. Напряжение провода при разных климатических условиях (уравнения состояния провода). Критическая длина пролета.

		Критическая температура. Допустимые напряжения и расчет по среднегодовым условиям. Особенности расчета напряжений по среднегодовым условиям. Три критических пролета
4	Особые режимы электрических систем	Общая характеристика особых режимов. Несимметрия в электрических сетях и мероприятия по ее снижению. Уравнения несимметричных режимов в фазных и симметричных координатах. Уравнения узловых напряжений при несимметричных коротких замыканиях и в сложнonesимметричных режимах. Симметрирование режима. Несинусоидальность в электрических системах и мероприятия по ее снижению. Расчет высших гармоник токов и напряжений.
5	Линии электропередачи сверхвысокого напряжения	Общая характеристика ЛЭП сверхвысокого напряжения. Электрический расчет ЛЭП сверхвысокого напряжения. Зависимость напряжения и передаваемой мощности от длины линии. Повышение пропускной способности линии. Линии постоянного тока.

#### 4.3 Перечень лабораторных работ

##### Семестр № 6

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Расчет установившихся режимов электрических сетей с использованием специализированных ПК	2
2	Расчет и анализ основных установившихся режимов электрической сети	2
2	Отключение трансформаторов в режиме минимальных нагрузок	2
3	Расчет годовых потерь электроэнергии в проектируемой электрической сети	2
4	Регулирование напряжения на двухобмоточных трансформаторах с РПН	2
5	Регулирование напряжения с помощью компенсирующих устройств	2
6	Исследование погрешностей определения потерь мощности в трансформаторах	4

#### 4.4 Перечень практических занятий

##### Семестр № 5

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Погонные параметры и схемы замещения	2

	воздушных линий электропередачи	
2	Параметры схемы замещения трансформаторов и потери мощности	2
3	Расчет режима линии электропередачи	2
4	Расчет режима кольцевой электрической сети	2
5	Расчет установившегося режима электрической сети двух номинальных напряжений	2
6	Выбор сечения проводов воздушных линий электропередачи	2
7	Потери мощности и электроэнергии в электрической сети	2
8	Определение сечений проводов и жил кабелей местных сетей	2

#### 4.5 Самостоятельная работа

##### Семестр № 5

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание реферата	4
2	Подготовка к зачёту	6
3	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	12
4	Проработка разделов теоретического материала	2

##### Семестр № 6

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание курсового проекта (работы)	8
2	Подготовка к зачёту	4
3	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	8
4	Проработка разделов теоретического материала	4

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: дискуссия, проводимая в форме публичного обсуждения по поводу заданного спорного вопроса, проблемы.

#### 5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

##### 5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

###### 5.1.1 Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

Электроэнергетические системы и сети : методические указания для практических занятий и курсового проектирования / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т; сост. Л. А. Акишин [и др.]. - Иркутск : ИРНИТУ, 2015. - 80 с. : ил.

###### 5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Электроэнергетические системы и сети : методические указания для практических занятий и курсового проектирования / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т; сост. Л. А. Акишин [и др.]. - Иркутск : ИРНИТУ, 2015. - 80 с. : ил.

### **5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:**

Электроэнергетические системы и сети : методические указания для лабораторных занятий / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т ; сост. Л. А. Акишин. - Иркутск : ИРНИТУ, 2018. - 48 с. : ил.

### **5.1.4 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:**

Электроэнергетические системы и сети : методические указания для самостоятельной работы студентов / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т ; сост. Л. А. Акишин [и др.]. - Иркутск : ИРНИТУ, 2018. - 20 с. : ил.

## **6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

### **6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля**

#### **6.1.1 семестр 5 | Реферат**

##### **Описание процедуры.**

обучающийся составляет реферат в электронном виде на заданную тему по учебной литературе. Материал в реферате должен быть изложен кратко, но емко по содержанию, и с рисунками всех конструктивных элементов воздушных линий электропередачи.

Реферат должен включать в себя следующие пункты:

1. Конструктивные элементы воздушных линий электропередачи (ВЛ).
2. Провода ВЛ и тросы.
3. Опоры ВЛ.
4. Грозозащитные тросы.
5. Изоляторы и линейная арматура.
6. Конструкция кабелей и кабельные линии.
7. Токопроводы, шинопроводы и внутренние электропроводки.

Время подготовки реферата и сроки его защиты назначает преподаватель в соответствии с графиком изучения дисциплины.

##### **Критерии оценивания.**

преподаватель оценивает качество представленного в реферате материала по предложенной теме и уровень знаний обучающегося, задав ему 3 вопроса. Для получения положительной оценки обучающийся должен ответить на все вопросы. В противном случае назначается новый срок защиты реферата.

#### **6.1.2 семестр 5 | Устный опрос**

##### **Описание процедуры.**

преподаватель проводит устный опрос индивидуально с каждым студентом на практических занятиях и лабораторных работах по текущим темам совместно с защитой отчетов по решенным задачам и лабораторным работам.

Вопросы для собеседования по темам:

Тема 1. Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах и сетях.

1. Определения энергосистемы, электрической системы и электрической сети.
2. Элементы энергосистем и их характеристика.
3. Технологические особенности энергосистем.
4. Преимущества объединения электростанций в энергосистему.
5. Шкалы номинальных напряжений электроустановок.
6. Классификация электрических сетей.
7. Основные требования, предъявляемые к электрическим сетям.

#### Тема 3. Характеристики и параметры элементов электроэнергетической системы

1. Схемы замещения линий электропередачи.
2. Потери мощности в линиях электропередачи.
3. Схемы замещения трансформаторов (двухобмоточных, трехобмоточных, с расщепленными обмотками низкого напряжения) и автотрансформаторов.
4. Потери мощности в трансформаторах.
5. Задание нагрузок при расчетах режимов электрических сетей и систем.
6. Представление генераторов при расчетах установившихся режимов.

#### Тема 4. Расчет установившихся режимов электрических сетей

1. Расчет режима линии электропередачи при заданном токе нагрузки.
2. Расчет режима линии электропередачи при заданной мощности нагрузки.
3. Падение и потеря напряжения в линии.
4. Расчет сети из двух последовательных линий при заданных мощностях нагрузки и напряжений в конце.
5. Расчет разомкнутой сети (в два этапа) при заданных мощностях нагрузки и напряжения источника питания.
6. Расчетные нагрузки подстанций.
7. Определение напряжения на стороне низшего напряжения подстанций.
8. Расчет сети с разными номинальными напряжениями.
9. Допущения про расчете разомкнутых распределительных сетей  $U_{ном} \leq 35$  кВ.
10. Определение наибольшей потери напряжения.
11. Расчет линии с равномерно распределенной нагрузкой.
12. Распределение потоков мощности и напряжения в простых замкнутых сетях.

#### Тема 5. Балансы мощностей в электрических системах

1. Баланс активной мощности и его связь с частотой.
2. Регулирование частоты вращения турбины.
3. Регулирование частоты в электрической системе.
4. Баланс реактивной мощности и его связь с напряжением.
5. Регулирующий эффект нагрузки.
6. Потребители реактивной мощности.
7. Выработка реактивной мощности на электростанциях.
8. Компенсация реактивной мощности.
9. Компенсирующие устройства.
10. Расстановка компенсирующих устройств.

#### Тема 6. Регулирование напряжения в электрических системах

1. Методы регулирования напряжения.
2. Встречное регулирование напряжения.
3. Регулирование напряжения на электростанциях.
4. Регулирование напряжения на понижающих подстанциях.
5. Регулирование напряжения изменением сопротивления сети.

6. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности.
7. Определение допустимых потерь напряжения в распределительных сетях.
8. Сравнение способов регулирования напряжения.

#### Тема 7. Техничко-экономические расчеты в электрических сетях энергосистем

1. Задачи и методы проектирования электроэнергетических систем и сетей.
2. Техничко-экономические показатели.
3. Техничко-экономическое сравнение вариантов сети.
4. Выбор вариантов сети с учетом надежности.
5. Выбор номинального напряжения.
6. Определение сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока и экономическим интервалам.
7. Особенности определения сечения линий в распределительных сетях по допустимой потере напряжения.
8. Особенности выбора и проверки сечений в простых замкнутых сетях.
9. Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева.
10. Схемы электрических сетей.

#### Тема 8. Потери мощности и электроэнергии в электрической системе, мероприятия по их снижению

1. Общая характеристика проблемы расчета, анализа и снижения потерь.
2. Основные понятия и определения.
3. Структура потерь.
4. Технические потери электроэнергии (условно-постоянные и переменные) в элементах электрических систем.
5. Нормативные методы расчета переменных потерь и области их применения.
6. Метод характерных суточных графиков нагрузок.
7. Метод времени наибольших потерь.
8. Классификация мероприятий по снижению потерь.
9. Отключение трансформаторов в режимах малых нагрузок.
10. Размыкание контуров электрической сети.

#### Тема 9. Расчет воздушных линий на механическую прочность

1. Характеристика задач и исходных условий расчета конструктивной части линий.
2. Удельные механические нагрузки на провода и тросы.
3. Напряжение в материале провода и уравнение провода.
4. Напряжение провода при разных климатических условиях (уравнения состояния провода).
5. Критическая длина пролета.
6. Критическая температура.
7. Допустимые напряжения и расчет по среднегодовым условиям.
8. Особенности расчета напряжений по среднегодовым условиям.
9. Три критических пролета.

#### Тема 10. Особые режимы электрических систем

1. Общая характеристика особых режимов.
2. Несимметрия в электрических сетях и мероприятия по ее снижению.
3. Уравнения несимметричных режимов в фазных и симметричных координатах.
4. Уравнения узловых напряжений при несимметричных коротких замыканиях и в сложносимметричных режимах.
5. Симметрирование режима.

6. Несинусоидальность в электрических системах и мероприятия по ее снижению.
7. Расчет высших гармоник токов и напряжений.

Тема 11. Линии электропередачи сверхвысокого напряжения

1. Общая характеристика ЛЭП сверхвысокого напряжения.
2. Электрический расчет ЛЭП сверхвысокого напряжения.
3. Зависимость напряжения и передаваемой мощности от длины линии.
4. Повышение пропускной способности линии.
5. Линии постоянного тока.

### **Критерии оценивания.**

в течение двух семестров преподаватель проводит устный опрос каждого обучающегося по каждой теме на практических занятиях и на лабораторных работах. На основании ответа на заданные один-два вопроса по теме и защите отчетов (по решенным задачам или по лабораторным работам по этой же теме) оценивается по двухбалльной системе текущая успеваемость по дисциплине. Оценки по текущей успеваемости учитываются при промежуточной аттестации.

### **6.1.3 семестр 6 | Устный опрос**

#### **Описание процедуры.**

преподаватель проводит устный опрос индивидуально с каждым студентом на практических занятиях и лабораторных работах по текущим темам совместно с защитой отчетов по решенным задачам и лабораторным работам.

Вопросы для собеседования по темам:

Тема 1. Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах и сетях.

1. Определения энергосистемы, электрической системы и электрической сети.
2. Элементы энергосистем и их характеристика.
3. Технологические особенности энергосистем.
4. Преимущества объединения электростанций в энергосистему.
5. Шкалы номинальных напряжений электроустановок.
6. Классификация электрических сетей.
7. Основные требования, предъявляемые к электрическим сетям.

Тема 3. Характеристики и параметры элементов электроэнергетической системы

1. Схемы замещения линий электропередачи.
2. Потери мощности в линиях электропередачи.
3. Схемы замещения трансформаторов (двухобмоточных, трехобмоточных, с расщепленными обмотками низкого напряжения) и автотрансформаторов.
4. Потери мощности в трансформаторах.
5. Задание нагрузок при расчетах режимов электрических сетей и систем.
6. Представление генераторов при расчетах установившихся режимов.

Тема 4. Расчет установившихся режимов электрических сетей

1. Расчет режима линии электропередачи при заданном токе нагрузки.
2. Расчет режима линии электропередачи при заданной мощности нагрузки.
3. Падение и потеря напряжения в линии.
4. Расчет сети из двух последовательных линий при заданных мощностях нагрузки и напряжениях в конце.
5. Расчет разомкнутой сети (в два этапа) при заданных мощностях нагрузки и

напряжения источника питания.

6. Расчетные нагрузки подстанций.
7. Определение напряжения на стороне низшего напряжения подстанций.
8. Расчет сети с разными номинальными напряжениями.
9. Допущения про расчете разомкнутых распределительных сетей Уном  $\leq 35$  кВ.
10. Определение наибольшей потери напряжения.
11. Расчет линии с равномерно распределенной нагрузкой.
12. Распределение потоков мощности и напряжения в простых замкнутых сетях.

Тема 5. Балансы мощностей в электрических системах

1. Баланс активной мощности и его связь с частотой.
2. Регулирование частоты вращения турбины.
3. Регулирование частоты в электрической системе.
4. Баланс реактивной мощности и его связь с напряжением.
5. Регулирующий эффект нагрузки.
6. Потребители реактивной мощности.
7. Выработка реактивной мощности на электростанциях.
8. Компенсация реактивной мощности.
9. Компенсирующие устройства.
10. Расстановка компенсирующих устройств.

Тема 6. Регулирование напряжения в электрических системах

1. Методы регулирования напряжения.
2. Встречное регулирование напряжения.
3. Регулирование напряжения на электростанциях.
4. Регулирование напряжения на понижающих подстанциях.
5. Регулирование напряжения изменением сопротивления сети.
6. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности.
7. Определение допустимых потерь напряжения в распределительных сетях.
8. Сравнение способов регулирования напряжения.

Тема 7. Техничко-экономические расчеты в электрических сетях энергосистем

1. Задачи и методы проектирования электроэнергетических систем и сетей.
2. Техничко-экономические показатели.
3. Техничко-экономическое сравнение вариантов сети.
4. Выбор вариантов сети с учетом надежности.
5. Выбор номинального напряжения.
6. Определение сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока и экономическим интервалам.
7. Особенности определения сечения линий в распределительных сетях по допустимой потере напряжения.
8. Особенности выбора и проверки сечений в простых замкнутых сетях.
9. Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева.
10. Схемы электрических сетей.

Тема 8. Потери мощности и электроэнергии в электрической системе, мероприятия по их снижению

1. Общая характеристика проблемы расчета, анализа и снижения потерь.
2. Основные понятия и определения.
3. Структура потерь.
4. Технические потери электроэнергии (условно-постоянные и переменные) в

элементах электрических систем.

5. Нормативные методы расчета переменных потерь и области их применения.
6. Метод характерных суточных графиков нагрузок.
7. Метод времени наибольших потерь.
8. Классификация мероприятий по снижению потерь.
9. Отключение трансформаторов в режимах малых нагрузок.
10. Размыкание контуров электрической сети.

Тема 9. Расчет воздушных линий на механическую прочность

1. Характеристика задач и исходных условий расчета конструктивной части линий.
2. Удельные механические нагрузки на провода и тросы.
3. Напряжение в материале провода и уравнение провода.
4. Напряжение провода при разных климатических условиях (уравнения состояния провода).
5. Критическая длина пролета.
6. Критическая температура.
7. Допустимые напряжения и расчет по среднегодовым условиям.
8. Особенности расчета напряжений по среднегодовым условиям.
9. Три критических пролета.

Тема 10. Особые режимы электрических систем

1. Общая характеристика особых режимов.
2. Несимметрия в электрических сетях и мероприятия по ее снижению.
3. Уравнения несимметричных режимов в фазных и симметричных координатах.
4. Уравнения узловых напряжений при несимметричных коротких замыканиях и в сложнonesимметричных режимах.
5. Симметрирование режима.
6. Несинусоидальность в электрических системах и мероприятия по ее снижению.
7. Расчет высших гармоник токов и напряжений.

Тема 11. Линии электропередачи сверхвысокого напряжения

1. Общая характеристика ЛЭП сверхвысокого напряжения.
2. Электрический расчет ЛЭП сверхвысокого напряжения.
3. Зависимость напряжения и передаваемой мощности от длины линии.
4. Повышение пропускной способности линии.
5. Линии постоянного тока.

### **Критерии оценивания.**

в течение двух семестров преподаватель проводит устный опрос каждого обучающегося по каждой теме на практических занятиях и на лабораторных работах. На основании ответа на заданные один-два вопроса по теме и защите отчетов (по решенным задачам или по лабораторным работам по этой же теме) оценивается по двухбалльной системе текущая успеваемость по дисциплине. Оценки по текущей успеваемости учитываются при промежуточной аттестации.

### **6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

#### **6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации**

<b>Индикатор достижения компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации</b>
ПКР-2.2	Выполняет разработку проекта электрической сети, разрабатывает графическую часть проектной документации	Устное собеседование по теоретическим вопросам и/или тестирование. Выполнение практического задания. Подготовка и защита отчётов по практическим и/или лабораторным работам. Выполнение и защита курсового проекта
ПКС-2.8	Анализирует типовые технические решения по конфигурации, структуре и составу электрооборудования электроэнергетических сетей и систем	Устное собеседование по теоретическим вопросам и/или тестирование. Выполнение практического задания. Подготовка и защита отчётов по практическим и/или лабораторным работам. Выполнение и защита курсового проекта.

## **6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации**

### **6.2.2.1 Семестр 5, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине**

#### **6.2.2.1.1 Описание процедуры**

Зачет представляет собой определение уровня освоения студентами отдельной части или всего объема дисциплины (модуля) образовательной программы и проводится в форме, предусмотренной учебным планом.

Зачет принимается по расписанию в последнюю неделю теоретического обучения до

начала экзаменационной сессии.

К зачету допускаются обучающиеся, прошедшие все этапы текущего контроля, то есть представившие и успешно защитившие отчеты с решением задач по графику практических занятий и реферат.

Зачет состоит из двух частей: письменной и устной. Каждый обучающийся получает от преподавателя два теоретического вопроса из общего списка и в течение 30 минут готовит письменный ответ без использования конспектов, литературы, средств связи. В устной части обучающийся отвечает в течение 15 минут на два-три уточняющих вопроса к письменному ответу и на один-два дополнительных вопроса по решенным задачам на практических занятиях.

#### Пример задания:

На зачете обучающийся отвечает на два теоретического вопроса из следующего списка:

1. Электроэнергетические системы и электрические сети. Основные понятия. Классификация электрических сетей. Основные требования, предъявляемые к электрическим сетям.
2. Система обозначений и основные соотношения величин дисциплины.
3. Конструктивные элементы воздушных линий электропередачи. Провода ВЛ. Опоры ВЛ. Изоляторы и линейная арматура. Конструкция кабелей и кабельные линии. Токопроводы и внутренние электрические сети
4. Схемы замещения линий электропередачи. Расчет и физическое представление всех элементов схем замещения.
5. Схемы замещения трехобмоточных трансформаторов. Потери мощности в элементах схем замещения.
6. Схемы замещения двухобмоточных трансформаторов. Потери мощности в элементах схем замещения.
7. Статические характеристики нагрузок потребителей.
8. Задание нагрузок при расчётах режимов электрических сетей и систем.
9. Схемы электрических систем, линейные и нелинейные уравнения ус-тановившегося режима.
10. Расчёт режима линии электропередачи при заданном токе нагрузки.
11. Расчет разомкнутой сети при заданных мощностях нагрузки и напряжений источника питания (расчет "в два этапа")
12. Падение и потеря напряжения в линии
13. Расчет сети из двух последовательных линий при заданных мощностях нагрузки и напряжений в конце.
14. Расчетные нагрузки подстанций.
15. Определение напряжения на стороне низшего напряжения подстанции
16. Расчёт сети с разными номинальными напряжениями.
17. Допущения при расчете разомкнутых распределительных сетей Уном 35кВ.
18. Определение наибольшей потери напряжения в электрических сетях различной конфигурации
19. Определение наибольшей потери напряжения в распределительных сетях.
20. Расчёт линии с равномерно распределённой нагрузкой.
21. Распределение потоков мощности и напряжений в простых замкнутых сетях.
22. Баланс активной мощности и его связь с частотой. Причины и последствия снижения частоты в системе
23. Регулирование частоты вращения турбины.
24. Регулирование частоты в электроэнергетической системе.

25. Баланс реактивной мощности и его связь с напряжением.
26. Регулирующий эффект нагрузки.
27. Потребители реактивной мощности.
28. Компенсирующие устройства
29. Расстановка компенсирующих устройств.
30. Методы регулирования напряжения.
31. Регулирование напряжения на электростанциях.
32. Регулирование напряжения на понижающих подстанциях
33. Регулирование напряжения изменением сопротивления сети.
34. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности.
35. Сравнение способов регулирования U.

-

#### 6.2.2.1.2 Критерии оценивания

<b>Зачтено</b>	<b>Не зачтено</b>
Показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного и нормативного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой, демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Показывает пробелы в знаниях основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Такой оценки заслуживают ответы, носящие несистематизированный, отрывочный, поверхностный характер, когда обучающийся не понимает существа излагаемых им вопросов.

#### 6.2.2.2 Семестр 6, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

##### 6.2.2.2.1 Описание процедуры

К экзамену допускаются обучающиеся, прошедшие все этапы текущего контроля (защита отчётов по лабораторным работам, защита курсового проекта). На экзамен ко времени, указанному в расписании, приходит вся учебная группа, либо поочерёдно первая и вторая подгруппа (по согласованию с преподавателем). Экзамен состоит из двух частей: письменной и устной. Обучающиеся, получив билет, в течение 40-45 минут в письменной форме тезисно отвечают на вопросы билета и решают в общем виде задачу. На письменной части экзамена обучающимся не разрешается разговаривать друг с другом и пользоваться конспектами лекций, литературой, средствами связи. Письменная часть экзамена заканчивается тогда, когда последний обучающийся из группы/подгруппы сдаёт свой письменный ответ. После сдачи всеми обучающимися письменных ответов начинается устная часть экзамена. На устную часть экзамена обучающийся предоставляет преподавателю написанный собственноручно конспект лекций. Преподаватель выслушивает устные ответы каждого обучающегося по вопросам и задаче в билете обучающегося и задаёт при необходимости 1-2 дополнительных вопроса по теоретическому курсу из расчёта около 10 минут на обучающегося.

Пример задания:

Экзаменационные билеты содержат по два вопроса из следующего списка:

1. Техничко-экономические показатели электрической сети.
2. Техничко-экономическое сравнение вариантов сети.
3. Выбор варианта сети с учётом надёжности.
4. Понятие об экономическом сечении и экономической плотности тока.
5. Определение сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока и экономическим интервалам.
6. Выбор номинального напряжения сети.
7. Особенности определения сечения линий в распределительных сетях по допустимой потере напряжения.
8. Особенности выбора и проверки сечений в простых замкнутых сетях.
9. Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева.
10. Допустимая температура. Допустимый ток.
11. Выбор аппаратов, защищающих сеть от перегрева.
12. Схемы электрических сетей.
13. Общая характеристика ЛЭП сверхвысокого напряжения. Уравнения токов и напряжений в любой точке линии.
14. Электрический расчет ЛЭП сверхвысокого напряжения.
15. Зависимость напряжения и передаваемой мощности от длины линии.
16. Повышение пропускной способности линии.
17. Характеристика задач и исходных условий расчёта конструктивной части линии.
18. Напряжение в материале провода и уравнение провода.
19. Напряжение провода при разных климатических условиях.
20. Уравнения состояния провода.
21. Критическая длина пролета.
22. Критическая температура.
23. Допустимые напряжения и расчёт по среднегодовым условиям.
24. Особенности расчета напряжений в сталеалюминевых проводах.
25. Три критических пролета.
26. Удельные механические нагрузки на провода и тросы.
27. Общая характеристика проблемы расчета, анализа и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях.
28. Структура потерь электроэнергии в электрических сетях, технические потери.
29. Методы расчета потерь электроэнергии в электрических сетях.
30. Методы уменьшения потерь мощности в питающих сетях.
31. Уменьшение потерь мощности и электроэнергии в распределительных сетях и системах электроснабжения.
32. Мероприятия по изменению схемы сети с целью снижения потерь электроэнергии.
33. Экономические режимы работы трансформаторов.
34. Несимметрия в электрических сетях, причины ее возникновения.
35. Мероприятия по снижению несимметрии в электрических сетях.
36. Несинусоидальность в электроэнергетических системах.
37. Мероприятия по снижению несинусоидальности в электроэнергетических системах.
38. Уравнения несимметричных режимов в фазных и симметричных координатах.
39. Преимущества и недостатки применения симметричных и фазных координат для расчета несимметричных режимов.
40. Расчет высших гармоник токов и напряжений.

-

#### 6.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительн	Неудовлетворительно
---------	--------	------------------	---------------------

		о	
<p>Обучающийся обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала по дисциплине, а именно: технологических особенностей ЭЭС, взаимосвязанность и всех элементов ЭЭС единством режима их работы, принципов действия и назначения всех основных элементов ЭЭС. Обучающийся умеет свободно выполнять расчеты установившихся режимов традиционными методами «ручного счета» для анализа режимов и управления ими, а также, матричными методами, используемых для расчета сложных и больших по количеству узлов и ветвей схемы электрических сетей. Обучающийся умеет проектировать электрическую сеть, выбирать конфигурацию, номинальное</p>	<p>Обучающийся обнаруживает полное знание учебного материала, а именно: технологических особенностей ЭЭС, взаимосвязанность и всех элементов ЭЭС единством режима их работы, принципов действия и назначения всех основных элементов ЭЭС. Обучающийся умеет выполнять расчет и анализ установившихся режимов ЭЭС с использованием методов «ручного счета» и на ПК, умеет применять средства регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности. Обучающийся умеет выполнять проектирование электрической сети, выбирать конфигурацию, номинальное напряжение, сечение проводов линий и мощности трансформаторов. Обучающийся умеет выполнять расчет и анализ потерь электроэнергии в электрических</p>	<p>Обучающийся обнаруживает знание основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии (принципов действия и назначения основных элементов ЭЭС) Обучающийся умеет выполнять расчет и анализ установившихся режимов ЭЭС методами «ручного счета» и на ПК, применять средства регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности. Обучающийся справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой. Обучающийся допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.</p>	<p>Обучающийся обнаруживает пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий (не знает принципов действия и назначения основных элементов ЭЭС, не знаком с большинством средств регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности). Обучающийся не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза, не способен проектировать электрическую сеть, рассчитывать и анализировать потери электроэнергии в электрических сетях и выбирать мероприятия по снижению потерь.</p>

<p>напряжение, сечение проводов линий и мощности трансформаторов. Обучающийся умеет выполнять расчет и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях, выбирать мероприятия по снижению потерь. Обучающийся усвоил основную образовательную программу дисциплины и знаком с дополнительной литературой. Обучающийся усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.</p>	<p>сетях, выбирать мероприятия по снижению потерь. Обучающийся усвоил основную литературу, рекомендованную в программе. Обучающийся показал систематический характер знаний по дисциплине и способность к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.</p>		
--	---	--	--

### **6.2.2.3 Семестр 6, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине**

#### **6.2.2.3.1 Описание процедуры**

Защита курсового проекта проходит в форме доклада и последующего собеседования по 4-6 вопросам из списка.

Пример задания:

Список вопросов для защиты курсового проекта:

1. Уравнение баланса реактивной мощности в электрической сети.
2. Почему расчет баланса реактивной мощности проводится до выбора схемы электрической сети?
3. Почему КУ устанавливаются у потребителя, а не на станции?
4. Расчетные способы расстановки КУ в электрической сети.
5. Основные положения, которыми руководствуются при предварительном отборе конкурентных вариантов схемы электрической сети.
6. Выбор номинального напряжения электрической сети.
7. Типовые схемы РУ ВН подстанций
8. Методика технико-экономического сравнения вариантов.
9. Расчетные приведенные затраты:
  - а) коэффициент эффективности капиталовложений;
  - б) составляющие капвложений и издержек.
10. Что такое укрупнённые показатели стоимости сетевых объектов?
11. Условия выбора сечения провода ЛЭП.
12. Критерии выбора целесообразного варианта сети из экономически равноценных вариантов.
13. Выбор числа и номинальной мощности трансформаторов и автотрансформаторов на подстанции.
14. Что такое наибольшие потери напряжения в электрической сети и способы их уменьшения.
15. Как определить наибольшие потери напряжения в нормальном и послеаварийном режимах для:
  - а) разветвлённой сети;
  - б) сети с двумя номинальными напряжениями;
  - в) простой замкнутой сети с ответвлением узла, не являющимся точкой раздела мощности?
16. Векторная диаграмма падения напряжения на участке сети:
  - а) потери и падение напряжения;
  - б) продольная и поперечная составляющие падения напряжения.
17. Схемы замещения ЛЭП и их параметры.
18. Основное допущение в П-образной схеме замещения ЛЭП и границы ее применения.
19. Потери мощности и зарядная мощность ЛЭП, их физический смысл.
20. Схемы замещения двух обмоточных трансформаторов и их параметры.
21. Схемы замещения трех обмоточных трансформаторов и автотрансформаторов и их параметры.
22. Потери мощности в трансформаторах, их физический смысл.
23. Алгоритм расчёта режима разомкнутой сети «в два этапа».
24. Алгоритм расчёта потоков мощности в кольцевой сети.
25. Определение целесообразного числа включённых трансформаторов на подстанции в режиме наименьших нагрузок.
26. Допускаемые величины отклонения напряжения по условию встречного регулирования напряжения.
27. Регулирование напряжения:
  - а) на двух обмоточном трансформаторе с РПН;
  - б) на трех обмоточном трансформаторе с РПН;
  - в) на автотрансформаторе;
  - г) с помощью КУ;
29. Годовой график нагрузок по продолжительности. Смысл времени наибольших

нагрузок ТНБ.

30. Смысл времени наибольших потерь НБ. Способы определения НБ.

31. Определение потерь электроэнергии с использованием двухступенчатого графика нагрузок.

-

#### 6.2.2.3.2 Критерии оценивания

<b>Отлично</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Неудовлетворительно</b>
<p>Проект выполнен самостоятельно и в срок, имеет практический характер, содержит элементы новизны и оригинальные технические решения. Обучающийся показал знание теоретического материала по теме проекта, умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщения и выводы. Материал излагается грамотно, логично, последовательно. Оформление отвечает требованиям к проектной документации, графическая часть соответствует требованиям ЕСКД. Во время защиты обучающийся показал умение кратко, доступно представить результаты проектирования, адекватно</p>	<p>Проект выполнен самостоятельно, возможно несущественное отступление от срока, проект имеет практический характер, содержит элементы новизны и самостоятельные технические решения. Обучающийся показал знание теоретического материала по теме проекта, однако анализ, аргументация своей точки зрения, обобщения и выводы вызывают у него незначительные затруднения. Материал не всегда излагается логично, последовательно, однако это не мешает целостному восприятию работы. Имеются незначительные недочеты в оформлении проектной</p>	<p>Проект выполнен самостоятельно, но с существенными отступлениями от срока. Проект не содержит элементов новизны, приняты только типовые технические решения. Обучающийся не в полной мере владеет теоретическим материалом по теме проекта, слабо проявлено умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщения и выводы. Материал не всегда излагается логично, последовательно. Имеются недочеты в оформлении проектной документации, графическая часть существенно отступает от требований ЕСКД. Во время защиты обучающийся испытывает затруднения в представлении результатов проектирования и в ответах на поставленные вопросы, однако</p>	<p>Проект выполнен несамостоятельно. Обучающийся не владеет теоретическим материалом по теме проекта, не проявлено умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщения и выводы. Материал излагается нелогично, имеются грубые недочеты в оформлении проектной документации, графическая часть отсутствует или не соответствует требованиям ЕСКД. Во время защиты обучающийся не способен представить результаты проектирования, не имеет представления об общем назначении и принципах работы проектируемых защит.</p>

ответить на поставленные вопросы.	документации, графическая часть в целом соответствует требованиям ЕСКД. Во время защиты обучающийся показал умение кратко, доступно представить результаты проектирования, однако испытывал затруднения при ответе на отдельные вопросы.	имеет представления об общем назначении и принципах работы проектируемых защит.	
-----------------------------------	--	---	--

## 7 Основная учебная литература

1. Идельчик В. И. Электрические системы и сети : учебник для электроэнергетических специальностей / В. И. Идельчик, 2009. - 592.
2. Герасименко А. А. Передача и распределение электрической энергии : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Электроэнергетика" / А. А. Герасименко, В. Т. Федин, 2006. - 716.
3. Электроэнергетические системы и сети : методические указания для практических занятий и курсового проектирования / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2015. - 80.
4. Лыкин А. В. Электроэнергетические системы и сети : учебник для вузов / А. В. Лыкин, 2017. - 361.
5. Справочник по проектированию электрических сетей : справочное издание / И. Г. Карапетян [и др.], 2006. - 313.

## 8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Идельчик В. И. Электрические системы и сети : учебник для студентов электроэнергетических специальностей / В. И. Идельчик, 1989. - 592.
2. Герасименко А. А. Передача и распределение электрической энергии : учебное пособие для вузов по направлению подготовки "Электроэнергетика" / А. А. Герасименко, В. Т. Федин, 2008. - 716.
3. Электрические системы и сети: В примерах и иллюстрациях : учеб. пособие для вузов по направлению "Электроэнергетика" и специальностям "Электроэнергет. системы и сети" и "Электроснабжение (по отраслям)" / В. В. Ежков [и др.], 1999. - 350.
4. Электрические системы и сети : учебник для электроэнерг. спец. вузов / Наина Владимировна Буслова; Под ред. Г. И. Денисенко, 1986. - 583.
5. Идельчик В. И. Расчеты установившихся режимов электрических систем / В. И. Идельчик, 1977. - 189.

6. Лыкин А. В. Электрические системы и сети : учеб. пособие для студентов ФЭН по направлению 551700 "Электроэнергетика" / А. В. Лыкин, 2002. - 246.
7. Лыкин А. В. Электрические системы и сети : учеб. пособие по направлению 140200 "Электроэнергетика" / А. В. Лыкин, 2007. - 253.
8. Ушаков В. Я. Электроэнергетические системы и сети : учебное пособие для вузов / В. Я. Ушаков, 2020. - 446.
9. Справочник по проектированию электрических сетей : справочное издание / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро; под ред. Д. Л. Файбисовича, 2012. - 374.
10. Справочник по проектированию электрических сетей / И. Г. Карапетян [и др.], 2009. - 389.

## **9 Ресурсы сети Интернет**

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

## **10 Профессиональные базы данных**

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

## **11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем**

1. Microsoft Windows (XP Prof + Vista Bussines) rus VLK поставка 08\_2008
2. Microsoft Office 2007 VLK (поставки 2007 и 2008)
3. PTC\_MathCAD14

## **12 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Компьютерный класс