

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сахалинский государственный университет»

Кафедра электроэнергетики и физики



Хурчак Н.М.
(подпись, расшифровка подписи)
" 20 2 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплины (модуля)

Б1.В13 Электроэнергетические системы и сети

Уровень высшего образования
БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки
Электрические системы и сети

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная, заочная

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Южно-Сахалинск, 2021 г.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Программу составил(и):

Максимов В.П., д.п.н., профессор МВФ
И.О. Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание подпись

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры электроэнергетики и физики, протокол № 11 от 16 июня 2021 г.

Заведующий кафедрой:

д.п.н., профессор Максимов В.П.

Максимов В.П.

Рецензент (ы):

заместитель начальника Центральной службы релейной защиты и автоматики Регионального диспетчерского управления ПАО «Сахалинэнерго»

Урыбин М.А.

[Подпись]

1. Цели освоения дисциплины

Цели освоения дисциплины является изучение основ расчета, анализа и проектирования режимов работы электроэнергетических систем и сетей.

По завершению освоения данной дисциплины студент способен и готов:

- использовать нормативные и правовые документы в своей профессиональной деятельности;
- анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования;
- работать над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и их компонентов;
- разрабатывать простые конструкции электроэнергетических и электротехнических объектов;
- графически отображать геометрические образы изделий и объектов электрооборудования, схем и систем;
- контролировать режимы работы оборудования объектов электроэнергетики;
- участвовать в составлении научно-технических отчетов;
- к приемке и освоению нового оборудования.

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с назначением, основными параметрами, конструкцией и принципами работы электротехнического оборудования электростанций и подстанций;
- познакомить обучающихся со схемами электрических соединений электростанций и подстанций, распределительных устройств, систем собственных нужд электроустановок;
- познакомить обучающихся с мероприятиями, направленными на повышение надёжности работы электрических станций и подстанций.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина (модуль) относится к обязательным дисциплинам (модулям) вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Пререквизиты дисциплины (модуля): ТОО, Электрические машины, Электрические станции и подстанции.

Постреквизиты дисциплины: избранные вопросы электроэнергетики, учебная и производственная практики, выпускная квалификационная работа.

3. Формируемые компетенции и индикаторы их достижения по дисциплине (модулю)

Коды компетенции	Содержание компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПКС-1	Способен участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности	ПКС-1.1. Знать: Принципы передачи и распределения электроэнергии. Схемы замещения элементов электрических сетей и их параметры. Режимы электрической сети и задачи расчета режимов сети. Расчет установившихся нормальных и послеаварийных режимов электрических сетей различной конфигурации. Балансы мощностей в электроэнергетической системе. Компенсация реактивной мощности. ПКС-1.2. Уметь: определять параметры схемы замещения основных

		элементов электроэнергетических систем и сетей ПКС-1.3. Иметь навыки: навыками проектирования внутрисистемных электрических сетей
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины (модуля)

4.1. Структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Вид работы	Трудоемкость, акад. часов	
	7 семестр	всего
Общая трудоемкость	180	216
Контактная работа:	86	
Лекции (Лек)	32	34
Практические занятия (ПР)	32	34
Лабораторные работы (Лаб)	16	16
Контактная работа в период теоретического обучения (КонтТО) (Проведение текущих консультаций и индивидуальная работа со студентами)	5	10
Конт ПА	1	1
Промежуточная аттестация: экзамен	26	35
Самостоятельная работа:	68	68
- выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР);	36	36
- выполнение индивидуального творческого задания (ИТЗ);		
- выполнение расчетно-графического задания (РГЗ);		
- написание реферата (Р);		
- написание эссе (Э);		
- самостоятельное изучение разделов (перечислить);		
- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий);	10	10
- подготовка к лабораторным занятиям;	4	4
- подготовка к практическим занятиям;	10	10
- подготовка к коллоквиумам;		
- подготовка к промежуточной аттестации и т.п.)	8	8

4.2 Распределение видов работы и их трудоемкости по разделам дисциплины (модуля)

Очная форма обучения

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по
			лек	прак	лаб	сам.	контр	

								семестрам)
1	Общие сведения об электроэнергетических системах и электрических сетях	7	4	2	4	4	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
2	Схемы замещения элементов электроэнергетических систем и электрических сетей и их параметры	7	6	4	6	6	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
3	Расчет режимов работы электрических сетей различной конфигурации	7	8	2	8	6	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
4	Балансы мощностей в электроэнергетической системе	7	6	2	6	4	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
5	Регулирование напряжения и частоты в электроэнергетической системе	7	4	2	4	6	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
6	Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях электроэнергетических систем	7	4	4	4	6	5	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
	Экзамен	7	0	0	0	0	26	Устный
	Курсовой проект	7	0	0	0	36	1	Защита КП
	Итого:	180	32	16	32	68	32	

Заочная форма обучения

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лек	прак	лаб	сам.	контр	
1	Общие сведения об электроэнергетических системах и электрических сетях	8	2	1	2	16	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
2	Схемы замещения	6	2	1	2	16	0	Тест.

	элементов электроэнергетических систем и электрических сетей и их параметры							Контроль выполнения курсового проекта.
3	Расчет режимов работы электрических сетей различной конфигурации	6	2	1	2	18	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
4	Балансы мощностей в электроэнергетической системе	6	2	1	2	16	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
5	Регулирование напряжения и частоты в электроэнергетической системе	6	2	1	2	16	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
6	Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях электроэнергетических систем	6	2	1	2	18	0	Тест. Контроль выполнения курсового проекта.
	Экзамен	6	0	0	0	0	8	Устный
	Курсовой проект	6	0	0	0	36	6	Защита КП
	Итого:	180	12	6	12	136	14	

4.3. Содержание разделов дисциплины

1. Общие сведения об электроэнергетических системах и электрических сетях

Основные понятия и определения. Исторический обзор развития электрических сетей в России, современное состояние и перспективы дальнейшего развития. Преимущества объединенных электроэнергетических систем. Классификация электрических сетей. Номинальные напряжения электрических сетей. Требования, предъявляемые к электрическим сетям при их проектировании, сооружении и эксплуатации. Рабочие режимы работы электрических сетей. Задачи, решаемые при расчетах режимов электрических сетей.

Основные элементы электроэнергетических систем: генераторы, линии электропередачи, трансформаторы и автотрансформаторы, узлы комплексных нагрузок.

Основные сведения о конструкции воздушных линий. Конструктивные элементы воздушных линий: провода и тросы, изоляторы, линейная арматура, опоры и основания.

Основные сведения о конструкциях кабельных электрических линий. Конструкции силовых кабелей.

2. Схемы замещения элементов электроэнергетических систем и электрических сетей и их параметры

Полные и упрощенные схемы замещения электрических линий и их параметры. Активные и индуктивные сопротивления и проводимости линий. Зарядные мощности линий. Используемые сечения проводов. Транспозиция фаз. Расщепление проводов фаз линий.

Полные и упрощенные схемы замещения трансформаторов (автотрансформаторов) и их параметры. Активные и индуктивные сопротивления и проводимости трансформаторов (автотрансформаторов).

Понятие комплексной нагрузки. Характеристики графиков нагрузки. Статические характеристики нагрузок потребителей. Задание нагрузок при расчетах режимов электрических сетей.

3. Расчет режимов работы электрических сетей различной конфигурации

Построение схемы замещения электрической сети. Подготовка схемы замещения электрической сети к расчету режима. Расчетные схемы электрических сетей.

Расчет электрических линий 110-220 кВ с использованием векторных диаграмм напряжений и токов и П-образной схемы замещения в случае, когда нагрузка задана током. Анализ различных режимов работы электрической линии. Влияние емкостных токов на режимные параметры. Аналитическая зависимость между напряжениями начала и конца линии. Понятие потери и падения напряжения. Допущения, используемые при расчете сетей 110 кВ.

Расчет электрических линий 110-220 кВ с использованием П-образной схемы замещения в случае, когда нагрузка задана мощностью. Четыре возможных случая постановки задачи расчета режима (по данным начала, по данным конца передачи, итерационным методом «в 2 этапа»). Допущения, используемые при расчете сетей 110 кВ.

Расчет магистральных и разветвленных сетей.

Совместный расчет сетей двух номинальных напряжений.

Расчет электрических сетей с учетом статических характеристик нагрузок Метод систематизированного подбора.

Расчет режимов замкнутых сетей. Понятие точки потокораздела. Особенности послеаварийных режимов.

Краткие сведения об электрическом расчете сложных замкнутых электрических сетей.

Расчет режимов сетей напряжением до 35 кВ. Особенности расчета режимов.

Расчет режимов работы электрических сетей с двумя источниками питания.

Анализ результатов расчета основных режимов работы электрических сетей.

Современные программные комплексы по расчету режимов электроэнергетических систем.

4. Балансы мощностей в электроэнергетической системе.

Баланс активной мощности в электроэнергетической системе и его связь с частотой.

Баланс реактивной мощности в электроэнергетической системе и его связь с напряжением. Потребители реактивной мощности. Источники реактивной мощности в электроэнергетических системах, их технические и экономические характеристики. Выработка реактивной мощности генераторами электростанций. Компенсация реактивной мощности.

5. Регулирование напряжения и частоты в электроэнергетической системе

Основы регулирования напряжения. Способы и технические средства регулирования напряжения. Регулирующие устройства в электрических сетях. Особенности регулирования напряжения в системообразующих сетях и сетях низших напряжений.

Основы регулирования частоты. Задачи, допустимые отклонения частоты, регулировочные характеристики генераторов, методы регулирования частоты

6. Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях электроэнергетических систем

Основные сведения о характере потерь мощности и электроэнергии в различных элементах электрических сетей. Виды потерь мощности. Определение потерь мощности и электроэнергии в электрических линиях и трансформаторах (автотрансформаторах) с помощью графиков нагрузки и с использованием времени максимальных потерь. Мероприятия по снижению потерь мощности и электроэнергии

4.4. Темы практических занятий

1. Расчет параметров схемы замещения линий электропередачи.

2. Расчет параметров схемы замещения трансформаторного оборудования. Приведенная и расчетная нагрузка подстанции.
3. Расчет режимов разомкнутых электрических сетей.
4. Расчет режимов электрических сетей двух номинальных напряжений.
5. Расчет режимов замкнутых электрических сетей.
6. Регулирование напряжения в электроэнергетической системе.
7. Расчет потерь активной мощности и электроэнергии в электроэнергетической системе.
8. Расчеты нормальных и послеаварийных режимов в районной сети 220-110 кВ с одним источником питания с проверкой достаточности регулирования диапазонов РПН автотрансформаторов и трансформаторов и оценкой потерь мощности и электроэнергии.

4.5. Темы лабораторных занятий

Лабораторная работа № 1. Исследование установившихся режимов двухцепной воздушной линии 220 кВ с одним источником питания.

Лабораторная работа № 2. Режимы сети 220 кВ с двухсторонним питанием.

Лабораторная работа № 3. Регулирование напряжения в сетях 110-220 кВ.

4.6. Примерная тематика курсовых проектов

Учебным планом предусмотрен курсовой проект на темы:

1. Проектирование электроэнергетической системы промышленного района.
2. Проектирование электроэнергетической системы сверхвысокого напряжения.

Тематика курсовых проектов (курсовых работ) утверждается на заседании кафедры ежегодно).

Методические указания выполнения курсового проекта представлены в Приложении 3.

5. Темы дисциплины (модуля) для самостоятельного изучения

Нет.

6. Образовательные технологии

№ п/п	Наименование раздела	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1.	Общие сведения об электроэнергетических системах и электрических сетях	Лекция Семинар Самостоятельная работа	Вводная лекция с использованием видеоматериалов Развернутая беседа с обсуждением доклада Консультирование и проверка домашних заданий посредством прямого общения или электронной почты
	Схемы замещения элементов электроэнергетических систем и электрических сетей и их параметры	Виды учебных занятий	Вводная лекция с использованием видеоматериалов Развернутая беседа с обсуждением доклада Консультирование и проверка домашних заданий посредством прямого общения или электронной

			почты
	Расчет режимов работы электрических сетей различной конфигурации	Лекция Семинар Лабораторная работа Самостоятельная работа	Вводная лекция с использованием видеоматериалов Развернутая беседа с обсуждением доклада Консультирование и проверка домашних заданий посредством прямого общения или электронной почты
	Балансы мощностей в электроэнергетической системе	Виды учебных занятий	Вводная лекция с использованием видеоматериалов Развернутая беседа с обсуждением доклада Консультирование и проверка курсового проекта посредством прямого общения или электронной почты
	Регулирование напряжения и частоты в электроэнергетической системе	Лекция Семинар Лабораторная работа Самостоятельная работа	Вводная лекция с использованием видеоматериалов Развернутая беседа с обсуждением доклада Консультирование и проверка курсового проекта посредством прямого общения или электронной почты
	Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях электроэнергетических систем	Лекция Семинар Самостоятельная работа	Вводная лекция с использованием видеоматериалов Развернутая беседа с обсуждением доклада Консультирование и проверка курсового проекта посредством прямого общения или электронной почты

7. Оценочные средства (материалы) для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

7.1. Вопросы для проведения текущего контроля

1. Элементы системы передачи и распределения ЭЭ.
2. Характеристика систем распределения электрической энергии.
3. Конфигурация систем распределения электрической энергии.
4. Принципиальная схема передачи и распределения электроэнергии в крупном промышленном районе.
5. Напряжения элементов электрической сети.
6. Режимы нейтралей низковольтных электрических сетей.
7. Режимы нейтралей высоковольтных электрических сетей.
8. Т- и П-образные схемы замещения с сосредоточенными параметрами.
9. Продольные элементы сопротивления ЛЭП.
10. Поперечные элементы проводимости ЛЭП.
11. Эффект коронирования ВЛ.

12. Элементы сопротивления кабельной линии.
13. Схемы замещения линий электропередач.
14. Конструктивное исполнение воздушных линий.
15. Опоры ВЛ.
16. Провода ВЛ.

7.2. Вопросы для проведения второго текущего контроля:

17. Условные обозначения и принципиальные схемы трансформаторов и автотрансформаторов.
18. Схема замещения двухобмоточного трансформатора.
19. Паспортные данные трансформаторов и автотрансформаторов.
20. Опыт короткого замыкания и холостого хода двухобмоточного трансформатора.
21. Двухобмоточные трансформаторы с расщеплёнными обмотками.
22. Маркировка трансформаторов и автотрансформаторов.
23. Схемы замещения трёхобмоточного трансформатора.
24. Опыты короткого замыкания трёхобмоточного трансформатора.
25. Назначение и необходимость использования компенсирующих устройств.
26. Применение устройства продольной ёмкостной компенсации.
27. Использование синхронных компенсаторов.
28. Принципиальные схемы и особенности применения статических тиристорных компенсаторов.
29. Моделирование нагрузок для расчётов установившихся режимов электрических нагрузок.

7.3. Вопросы к экзамену

1. Элементы системы передачи и распределения ЭЭ.
2. Характеристика систем распределения электрической энергии.
3. Конфигурация систем распределения электрической энергии.
4. Принципиальная схема передачи и распределения электроэнергии в крупном промышленном районе.
5. Напряжения элементов электрической сети.
6. Режимы нейтралей низковольтных электрических сетей.
7. Режимы нейтралей высоковольтных электрических сетей.
8. Т- и П-образные схемы замещения с сосредоточенными параметрами.
9. Продольные элементы сопротивления ЛЭП.
10. Поперечные элементы проводимости ЛЭП.
11. Эффект коронирования ВЛ.
12. Элементы сопротивления кабельной линии.
13. Схемы замещения линий электропередач.
14. Конструктивное исполнение воздушных линий.
15. Опоры ВЛ.
16. Провода ВЛ.
17. Условные обозначения и принципиальные схемы трансформаторов и автотрансформаторов.
18. Схема замещения двухобмоточного трансформатора.
19. Паспортные данные трансформаторов и автотрансформаторов.
20. Опыт короткого замыкания и холостого хода двухобмоточного трансформатора.
21. Двухобмоточные трансформаторы с расщеплёнными обмотками.
22. Маркировка трансформаторов и автотрансформаторов.
23. Схемы замещения трёхобмоточного трансформатора.
24. Опыты короткого замыкания трёхобмоточного трансформатора.
25. Назначение и необходимость использования компенсирующих устройств.

26. Применение устройства продольной ёмкостной компенсации.
27. Использование синхронных компенсаторов.
28. Принципиальные схемы и особенности применения статических тиристорных компенсаторов.
29. Моделирование нагрузок для расчётов установившихся режимов электрических нагрузок.
30. Задачи расчёта и анализа установившегося режима электрической сети.
31. Расчет режима линии электропередачи по данным в начале ЛЭП.
32. Расчёт установившихся режимов простых замкнутых электрических сетей.
33. Расчёт потокораспределения простых замкнутых электрических сетей.
34. Правила моментов для расчета токов и мощностей простых замкнутых электрических сетей.
35. Методы расчёта и анализа потерь электрической энергии.
36. Требования к схемам электрических сетей.
37. Конфигурации электрических сетей.
38. Способы присоединения подстанций к электрической сети.
39. Типовые схемы распределительных устройств высшего напряжения.
40. Схемы распределительных устройств низшего напряжения.
41. Режимы работы системы передачи и распределения электроэнергии.
42. Регулирование напряжения с помощью трансформаторов с устройствами регулирования под нагрузкой.
43. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности.

7.4. Примерная тематика тестов рубежного контроля

Укажите недостаток сетей с изолированной нейтралью.

- А) большой уровень перенапряжения в сети
- В) большой уровень токов КЗ в сети
- С) большое количество заземляющих устройств в сети
- Д) необходимость немедленного отключения поврежденного участка сети
- Е) необходимость контроля целостности нулевого проводника

21. Укажите способ ограничения трехфазных токов КЗ.

А) применение силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения

- В) частичное разземление нейтралей силовых трансформаторов
- С) заземление нейтралей силовых трансформаторов через реакторы
- Д) заземление нейтралей силовых трансформаторов через резисторы
- Е) применение реакторов нулевой последовательности

22. Какой фактор является определяющим при выборе режима работы нейтрали в сетях 110 кВ ?

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| А) стоимость изоляции | Д) стоимость заземлителей |
| В) уровень тока КЗ | Е) срок службы оборудования |
| С) уровень перенапряжения | |

23. На какое напряжение должна рассчитываться изоляция в сетях с изолированной нейтралью?

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| А) на линейное | Д) на 0,8 линейного напряжения |
| В) на фазное | Е) на 1,1 фазного напряжения |
| С) на 0,8 фазного напряжения | |

24. Какое напряжение между поврежденной фазой и землей покажет вольтметр при металлическом КЗ в сетях с изолированной нейтралью?

- | | |
|---------------------|-------------------|
| А) ноль | Д) фазное |
| В) линейное | Е) 0,8 от фазного |
| С) 0,8 от линейного | |

25. Какое напряжение рекомендуется применять для сетей с эффективно-заземленной нейтралью?

- A) 110кВ и выше
- B) от 1 до 2 кВ
- C) 3-35кВ
- D) 40-100кВ
- E) менее 1 кВ

26. Какие сети по ПУЭ относят к сетям с большими токами замыкания на землю?

- A) с токами 1 фазного замыкания на землю более 500 ампер
- B) с токами 2 фазного замыкания на землю от 100 до 300 ампер
- C) с токами 3 фазного замыкания на землю от 100 до 300 ампер
- D) с токами 1 фазного замыкания на землю от 100 до 300 ампер
- E) с токами 3 фазного замыкания на землю более 500 ампер

27. Какой режим работы нейтрали допускает продолжения работы оборудования при КЗ в распределительной сети?

- A) изолированный
- B) эффективно-заземленный
- C) никакой
- D) глухозаземленный
- E) любой

28. Чем опасно КЗ в распределительных сетях с заземленной нейтралью ?

- A) большим током КЗ
- B) повышением уровня напряжения в сети
- C) большим током КЗ и повышением уровня напряжения в сети
- D) неэкономичным режимом работы оборудования
- E) возникновением сильных емкостных полей у оборудования, через которое протекает ток КЗ

29. В чем состоит особенность изменения периодической составляющей тока КЗ при коротком замыкании в цепи, питающейся от источника неограниченной мощности?

- A) периодическая составляющая от начала процесса КЗ до его отключения равна Const;
- B) периодическая составляющая неизменна при переходном процессе, в установившемся режиме она затухает с постоянной времени T_a ;
- C) периодическая составляющая увеличивается при переходном процессе, в установившемся режиме она затухает до нуля;
- D) периодическая составляющая затухает с постоянной времени T_a ;
- E) периодическая составляющая от начала процесса КЗ до его отключения не равна Const.

30. Какой причиной обусловлено существование вынужденной составляющей полного тока КЗ?

- A) действием напряжения источника питания
- B) действием форсировки системы АРВ генератора
- C) изменением запаса энергии магнитного поля в индуктивностях сети
- D) согласным направлением магнитных потоков обмотки статора и обмотки возбуждения
- E) изменением магнитного потока возбуждения под действием системы АРВ

31. Укажите способы гашения дуги, действующие в автогазовых выключателях.

- A) увеличение длины дуги, охлаждение, повышение давления
- B) повышение давления, охлаждение
- C) увеличение длины дуги, повышение давления
- D) повышение давления
- E) увеличение длины дуги, охлаждение

32. При каком условии (при включенном АРВ) установившийся ток КЗ может быть больше начального значения ?

- A) если сопротивление генератора меньше сопротивления цепи до места КЗ в 4-6 раз
- B) если сопротивление генератора меньше сопротивления цепи до места КЗ в 2 раза
- C) если сопротивление генератора больше сопротивления цепи до места КЗ в 4-6 раз

Д) если сопротивление генератора больше сопротивления цепи до места КЗ в 2 раза

Е) такого условия нет

33. Какое из перечисленных действий при коротком замыкании приводит к механическому разрушению элементов конструкций, через которые течет ток КЗ ?

А) электродинамическое

В) электростатическое

С) магнитострикционное

Д) электротермическое

Е) термостатическое

34. Укажите верную формулу для определения ударного тока КЗ.

А) $i_y = I_{n,m} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right)$

Д) $i_y = I_{n,m} \left(1 - e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right)$

В) $i_y = I_{n,m} \left(1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} \right)$

Е) $i_y = I_{n,m} \left(e^{\frac{0,01}{T_a}} - 1 \right)$

С) $i_y = I_{n,m} \left(1 - e^{\frac{0,01}{T_a}} \right)$

35. Укажите способ ограничения трехфазных токов КЗ.

А) секционирование сетей

В) заземление нейтралей силовых трансформаторов через реакторы

Д) применение реакторов нулевой последовательности

С) частичное разземление нейтралей силовых трансформаторов

Е) заземление нейтралей силовых трансформаторов? через резисторы

36. Какое напряжение между поврежденной фазой и землей покажет вольтметр в сетях с изолированной нейтралью ?

А) больше нуля, но меньше фазного

В) ноль

С) больше фазного, но меньше линейного

Д) больше линейного

Е) больше линейного, но меньше максимального

37. Укажите формулу для определения сопротивления сдвоенного реактора при продольном режиме работы.

А) $X_p = 2\omega L(1 + k_{св})$

Д) $X_p = 3\omega L(1 + k_{св})$

В) $X_p = 3\omega L(1 - k_{св})$

Е) $X_p = 4\omega L(1 - k_{св})$

С) $X_p = 2\omega L(1 - k_{св})$

8. Система оценивания планируемых результатов обучения

Базовая часть (проверка знаний и умений по курсу)				
Тема или задание текущей аттестации	Виды текущей аттестации	Аудиторная или внеаудиторная	Минимальное количество баллов	Максимальное количество баллов
Решение долгосрочного задания контрольной работы	Проверка знаний, умений	Внеаудиторная	18	36
Составление схем, диаграмм, таблиц расчетных формул по курсу	Проверка знаний, умений	Внеаудиторная	7	14

Защита лабораторных работ	Проверка знаний, умений, навыков	Аудиторная	7	14
Итоговая контрольная работа	Проверка знаний, умений	Аудиторная	15	20
Итого минимум			47	84
Дополнительная часть				
Тема или задание текущей аттестации	Виды текущей аттестации	Аудиторная или внеаудиторная	Минимальное количество баллов	Максимальное количество баллов
Отработка лабораторных работ, участие в олимпиаде	Проверка знаний, умений	Аудиторная	5	16
Итого			52	100

Оценивание успешности деятельности студентов по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы. Балльно-рейтинговая система основывается на интегральной оценке результатов всех видов учебной деятельности студента за весь период обучения и учитывает:

- составление опорного конспекта по теме лекции
- подготовку к занятию, выполнение домашнего задания
- активную работу на занятии
- выполнение контрольной работы
- выполнение заданий по самостоятельной работе
- промежуточную аттестацию
- составление кроссвордов по изучаемым темам или ко всему курсу
- составление картотеки основных понятий по теме.

С этой целью разработана технологическая карта, в которой детально описывается структура оценивания. Если студент не посетил занятие баллы ему не начисляются (в учетной ведомости проставляется 0 баллов).

Для получения итоговой оценки сумма баллов должна составлять:

- для оценки «отлично» 85-100 баллов;
- для оценки «хорошо» 70-84 баллов;
- для оценки «удовлетворительно» 52-69 баллов.

Студенты допускаются к экзамену только в том случае, если по дисциплине в течение семестра получено не менее 42% от максимального балла.

За неоднократную попытку списывания ответов на вопросы билета, использование при подготовке к ответам различного вида шпаргалок, электронных устройств; при нарушении студентом требований Устава СахГУ, студент удаляется, ему выставляется оценка «неудовлетворительно».

Лицам, получившие оценку «неудовлетворительно», могут сдать экзамен повторно в соответствии с Порядком промежуточной аттестации СахГУ.

Лица, которые не явились для прохождения экзамена, могут сдать экзамен в соответствии с Порядком промежуточной аттестации СахГУ.

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

9.1. Основная литература:

1. Лыкин, А. В. Электроэнергетические системы и сети : учебник для вузов / А. В. Лыкин. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 360 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04321-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/469782>.

2. Ушаков, В. Я. Электроэнергетические системы и сети : учебное пособие для вузов / В. Я. Ушаков. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 446 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00649-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470119>.

3. Михеев, Г. М. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования / Г. М. Михеев. — 2-е изд. — Саратов : Профобразование, 2019. — 297 с. — ISBN 978-5-4488-0089-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/88012.html>.

9.2. Дополнительная литература

1. Ананичева, С. С. Электроэнергетические системы и сети. Примеры и задачи : учебное пособие для вузов / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг ; под научной редакцией Е. Н. Котовой. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 177 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07672-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/474287>.

2. Электроэнергетические системы и сети : лабораторный практикум / Ю. Г. Кононов, Н. Н. Кононова, В. Е. Мартусенко [и др.]. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2017. — 161 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/83238.html>.

3. Максимов В. П. Электроэнергетические системы и сети: Учебно-методическое пособие выполнения лабораторных работ. – Южно-Сахалинск: изд-во СахГУ, 2015. – 60 с.

9.3. Периодические издания

1. Вестник Московского энергетического института. Издательство: Национальный исследовательский университет «МЭИ». Год основания: 1994 ISSN: 1993-6982.

2. Силовая электроника. Издательство: Медиа КиТ. Год основания: 2004 ISSN: 2079-9322.

3. Электричество. Издательство: Национальный исследовательский университет «МЭИ». Год основания: 1880 ISSN: 0013-5380.

4. ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. International Journal of Energy Production and Management. Издательство: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ. Год основания: 2016 ISSN: 2056-3272.

9.4. Программное обеспечение

- 1) Windows 10 Pro
- 2) WinRAR
- 3) Microsoft Office Professional Plus 2013
- 4) Microsoft Office Professional Plus 2016
- 5) Microsoft Visio Professional 2016
- 6) Visual Studio Professional 2015

- 7) Adobe Acrobat Pro DC
- 8) ABBYY FineReader 12
- 9) ABBYY PDF Transformer+
- 10) ABBYY FlexiCapture 11
- 11) Программное обеспечение «interTESS»
- 12) Справочно-правовая система «КонсультантПлюс», версия «эксперт»
- 13) ПО Kaspersky Endpoint Security
- 14) «Антиплагиат.ВУЗ» (интернет - версия)
- 15) «Антиплагиат- интернет»

9.5. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы современных информационных технологий

- а) Центр дистанционного образования (ЦДО) СахГУ <http://wedo.sakhgu.ru/>
- б) Официальный сайт Сахалинского государственного университета. <http://www.sakhgu.ru/>
- в) Электроэнергетический Информационный Центр <http://www.electrocentr.info/download/>
- г) Twirpx.com <http://www.twirpx.com/files/tek/>
- д) ОАО "САХАЛИНЭНЕРГО": <http://www.sahen.elektra.ru/page.php?id=65>
- е) Studfiles. <http://www.studfiles.ru/all-vuz/eie/>
- ж) Единое окно доступа к информационным ресурсам: <http://window.edu.ru/resource/771/40771>
- з) Электротехническая библиотека <http://www.electrolibrary.info/bestbooks/elsnabgeniye.htm>
- и) Росэнергосервис: <http://lib.rosenergосervis.ru/elektroenergetika/>
- к) Сайт для электриков: <http://www.elektrikline.ru/biblioteka.html>
- л) Электротехническая литература: <http://electro.narod.ru/download>
- м) КнигаФонд; ООО «Центр цифровой дистрибуции»; <http://www.knigafund.ru>; ООО «Центр цифровой дистрибуции»
- н) Электронная библиотека диссертаций; Российская государственная библиотека; <http://www.rsl.ru>; ФГБУ «Российская государственная библиотека»
- о) Университетская библиотека ONLINE; ООО «Некс-Медиа» (RU); <http://www.biblioclub.ru> ; ООО «НексМедиа»
- п) ЭБС Издательства «Лань»; ООО «Лань-Тренд»; www.e.lanbook.com; Бесплатный бессрочный контент
- р) Polpred.com; ООО «ПОЛПРЕДСправочники» ; <http://polpred.com/>; ООО «ПОЛПРЕД Справочники» Бесплатный контент.
- с) IPRbooks; ООО «Ай Пи Эр Медиа»; <http://www.iprbookshop.ru/>.

10. Обеспечение образовательного процесса для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебные и учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для слепых и слабовидящих:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

Для глухих и слабослышащих:

- лекции оформляются в виде электронного документа, либо предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены университетом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для слепых и слабовидящих:

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

Для глухих и слабослышащих:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

Для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

Учебные аудитории для всех видов контактной и самостоятельной работы, научная библиотека и иные помещения для обучения оснащены специальным оборудованием и учебными местами с техническими средствами обучения:

Для слепых и слабовидящих:

для глухих и слабослышащих:

- автоматизированным рабочим местом для людей с нарушением слуха и слабослышащих;
- акустический усилитель и колонки;

Для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- передвижными, регулируемые эргономическими партами СИ-1;

- компьютерной техникой со специальным программным обеспечением.

11. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Б1.В.ОД.4	Электроэнергетические системы и сети	Сахалинская область, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, д. 68, каб. 210 каб. 118, каб. 400	Лекционная аудитория; Рабочие места обучающихся; Рабочее место преподавателя; Шкафы; Классная доска; Переносной экран; Ноутбук; Мультимедийный проектор; Лаборатория электрических систем, сетей и электрооборудования, в т.ч.: лабораторный стенд «Исследование на трехфазных линиях». Лаборатория электробезопасности, электрических измерений и учета электрической энергии в т.ч.: лабораторный стенд «Комплексные потребители, измерение потребления энергии и пиковой нагрузки». Лаборатория электроэнергетических систем, в т.ч.: Лабораторный стенд «Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии»; Лабораторный стенд «Измерение электрической энергии»; Лабораторный стенд «Однолинейный модуль распределительной электрической сети с измерителем показателей качества электроэнергии» Доступ к сети Интернет
-----------	--------------------------------------	---	--

Приложение 1 – Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине (модулю)

Фонды оценочных средств

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- комплект тестовых заданий по разделам из нескольких вариантов;
- комплект дополнительных тестовых заданий;
- комплект билетов.

Вопросы для проведения текущего контроля

1. Элементы системы передачи и распределения ЭЭ.
2. Характеристика систем распределения электрической энергии.
3. Конфигурация систем распределения электрической энергии.
4. Принципиальная схема передачи и распределения электроэнергии в крупном промышленном районе.
5. Напряжения элементов электрической сети.
6. Режимы нейтралей низковольтных электрических сетей.
7. Режимы нейтралей высоковольтных электрических сетей.
8. Т- и П-образные схемы замещения с сосредоточенными параметрами.
9. Продольные элементы сопротивления ЛЭП.
10. Поперечные элементы проводимости ЛЭП.
11. Эффект коронирования ВЛ.
12. Элементы сопротивления кабельной линии.
13. Схемы замещения линий электропередач.
14. Конструктивное исполнение воздушных линий.
15. Опоры ВЛ.
16. Провода ВЛ.

Вопросы для проведения второго текущего контроля:

1. Условные обозначения и принципиальные схемы трансформаторов и автотрансформаторов.
2. Схема замещения двухобмоточного трансформатора.
3. Паспортные данные трансформаторов и автотрансформаторов.
4. Опыт короткого замыкания и холостого хода двухобмоточного трансформатора.
5. Двухобмоточные трансформаторы с расщеплёнными обмотками.
6. Маркировка трансформаторов и автотрансформаторов.
7. Схемы замещения трёхобмоточного трансформатора.
8. Опыты короткого замыкания трёхобмоточного трансформатора.
9. Назначение и необходимость использования компенсирующих устройств.
10. Применение устройства продольной ёмкостной компенсации.
11. Использование синхронных компенсаторов.
12. Принципиальные схемы и особенности применения статических тиристорных компенсаторов.
13. Моделирование нагрузок для расчётов установившихся режимов электрических нагрузок.

Вопросы к экзамену

1. Элементы системы передачи и распределения ЭЭ.
2. Характеристика систем распределения электрической энергии.

3. Конфигурация систем распределения электрической энергии.
4. Принципиальная схема передачи и распределения электроэнергии в крупном промышленном районе.
5. Напряжения элементов электрической сети.
6. Режимы нейтралей низковольтных электрических сетей.
7. Режимы нейтралей высоковольтных электрических сетей.
8. Т- и П-образные схемы замещения с сосредоточенными параметрами.
9. Продольные элементы сопротивления ЛЭП.
10. Поперечные элементы проводимости ЛЭП.
11. Эффект коронирования ВЛ.
12. Элементы сопротивления кабельной линии.
13. Схемы замещения линий электропередач.
14. Конструктивное исполнение воздушных линий.
15. Опоры ВЛ.
16. Провода ВЛ.
17. Условные обозначения и принципиальные схемы трансформаторов и автотрансформаторов.
18. Схема замещения двухобмоточного трансформатора.
19. Паспортные данные трансформаторов и автотрансформаторов.
20. Опыт короткого замыкания и холостого хода двухобмоточного трансформатора.
21. Двухобмоточные трансформаторы с расщеплёнными обмотками.
22. Маркировка трансформаторов и автотрансформаторов.
23. Схемы замещения трёхобмоточного трансформатора.
24. Опыты короткого замыкания трёхобмоточного трансформатора.
25. Назначение и необходимость использования компенсирующих устройств.
26. Применение устройства продольной ёмкостной компенсации.
27. Использование синхронных компенсаторов.
28. Принципиальные схемы и особенности применения статических тиристорных компенсаторов.
29. Моделирование нагрузок для расчётов установившихся режимов электрических нагрузок.
30. Задачи расчёта и анализа установившегося режима электрической сети.
31. Расчет режима линии электропередачи по данным в начале ЛЭП.
32. Расчёт установившихся режимов простых замкнутых электрических сетей.
33. Расчёт потокораспределения простых замкнутых электрических сетей.
34. Правила моментов для расчета токов и мощностей простых замкнутых электрических сетей.
35. Методы расчёта и анализа потерь электрической энергии.
36. Требования к схемам электрических сетей.
37. Конфигурации электрических сетей.
38. Способы присоединения подстанций к электрической сети.
39. Типовые схемы распределительных устройств высшего напряжения.
40. Схемы распределительных устройств низшего напряжения.
41. Режимы работы системы передачи и распределения электроэнергии.
42. Регулирование напряжения с помощью трансформаторов с устройствами регулирования под нагрузкой.
43. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности.

Примерная тематика тестов рубежного контроля

20. Укажите недостаток сетей с изолированной нейтралью.
А) большой уровень перенапряжения в сети

- В) большой уровень токов КЗ в сети
- С) большое количество заземляющих устройств в сети
- Д) необходимость немедленного отключения поврежденного участка сети
- Е) необходимость контроля целостности нулевого проводника

21. Укажите способ ограничения трехфазных токов КЗ.

А) применение силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения

- В) частичное разземление нейтралей силовых трансформаторов
- С) заземление нейтралей силовых трансформаторов через реакторы
- Д) заземление нейтралей силовых трансформаторов через резисторы
- Е) применение реакторов нулевой последовательности

22. Какой фактор является определяющим при выборе режима работы нейтрали в сетях 110 кВ ?

- А) стоимость изоляции
- В) уровень тока КЗ
- С) уровень перенапряжения
- Д) стоимость заземлителей
- Е) срок службы оборудования

23. На какое напряжение должна рассчитываться изоляция в сетях с изолированной нейтралью?

- А) на линейное
- В) на фазное
- С) на 0,8 фазного напряжения
- Д) на 0,8 линейного напряжения
- Е) на 1,1 фазного напряжения

24. Какое напряжение между поврежденной фазой и землей покажет вольтметр при металлическом КЗ в сетях с изолированной нейтралью?

- А) ноль
- В) линейное
- С) 0,8 от линейного
- Д) фазное
- Е) 0,8 от фазного

25. Какое напряжение рекомендуется применять для сетей с эффективно-заземленной нейтралью?

- А) 110кВ и выше
- В) от 1 до 2 кВ
- С) 3-35кВ
- Д) 40-100кВ
- Е) менее 1 кВ

26. Какие сети по ПУЭ относят к сетям с большими токами замыкания на землю?

- А) с токами 1 фазного замыкания на землю более 500 ампер
- В) с токами 2 фазного замыкания на землю от 100 до 300 ампер
- С) с токами 3 фазного замыкания на землю от 100 до 300 ампер
- Д) с токами 1 фазного замыкания на землю от 100 до 300 ампер
- Е) с токами 3 фазного замыкания на землю более 500 ампер

27. Какой режим работы нейтрали допускает продолжения работы оборудования при КЗ в распределительной сети?

- А) изолированный
- В) эффективно-заземленный
- С) никакой
- Д) глухозаземленный
- Е) любой

28. Чем опасно КЗ в распределительных сетях с заземленной нейтралью ?

- А) большим током КЗ
- В) повышением уровня напряжения в сети
- С) большим током КЗ и повышением уровня напряжения в сети
- Д) неэкономичным режимом работы оборудования
- Е) возникновением сильных емкостных полей у оборудования, через которое протекает ток КЗ

29. В чем состоит особенность изменения периодическом составляющей тока КЗ при коротком замыкании в цепи, питающейся от источника неограниченной мощности?

- А) периодическая составляющая от начала процесса КЗ до его отключения равна Const;

В) периодическая составляющая неизменна при переходном процессе, в установившемся режиме она затухает с постоянной времени T_a ;

С) периодическая составляющая увеличивается при переходном процессе, в установившемся режиме она затухает до нуля;

Д) периодическая составляющая затухает с постоянной времени T_a ;

Е) периодическая составляющая от начала процесса КЗ до его отключения не равна Const.

30. Какой причиной обусловлено существование вынужденной составляющей полного тока КЗ?

А) действием напряжения источника питания

В) действием форсировки системы АРВ генератора

С) изменением запаса энергии магнитного поля в индуктивностях сети

Д) согласным направлением магнитных потоков обмотки статора и обмотки возбуждения

Е) изменением магнитного потока возбуждения под действием системы АРВ

31. Укажите способы гашения дуги, действующие в автогазовых выключателях.

А) увеличение длины дуги, охлаждение, повышение давления

В) повышение давления, охлаждение

С) увеличение длины дуги, повышение давления

Д) повышение давления

Е) увеличение длины дуги, охлаждение

32. При каком условии (при включенном АРВ) установившийся ток КЗ может быть больше начального значения ?

А) если сопротивление генератора меньше сопротивления цепи до места КЗ в 4-6 раз

В) если сопротивление генератора меньше сопротивления цепи до места КЗ в 2 раза

С) если сопротивление генератора больше сопротивления цепи до места КЗ в 4-6 раз

Д) если сопротивление генератора больше сопротивления цепи до места КЗ в 2 раза

Е) такого условия нет

33. Какое из перечисленных действий при коротком замыкании приводит к механическому разрушению элементов конструкций, через которые течет ток КЗ ?

А) электродинамическое

В) электростатическое

С) магнитострикционное

Д) электротермическое

Е) термостатическое

34. Укажите верную формулу для определения ударного тока КЗ.

А) $i_y = I_{n,m} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right)$

Д) $i_y = I_{n,m} \left(1 - e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right)$

В) $i_y = I_{n,m} \left(1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} \right)$

Е) $i_y = I_{n,m} \left(e^{\frac{0,01}{T_a}} - 1 \right)$

С) $i_y = I_{n,m} \left(1 - e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right)$

35. Укажите способ ограничения трехфазных токов КЗ.

А) секционирование сетей

В) заземление нейтралей силовых трансформаторов через реакторы

Д) применение реакторов нулевой последовательности

С) частичное разземление нейтралей силовых трансформаторов

Е) заземление нейтралей силовых трансформаторов? через резисторы

36. Какое напряжение между поврежденной фазой и землей покажет вольтметр в сетях

с изолированной нейтралью ?

- A) больше нуля, но меньше фазного
- B) ноль
- C) больше фазного, но меньше линейного
- D) больше линейного
- E) больше линейного, но меньше максимального

37. Укажите формулу для определения сопротивления сдвоенного реактора при продольном режиме работы.

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| A) $X_p = 2\omega L(1 + k_{св})$ | D) $X_p = 3\omega L(1 + k_{св})$ |
| B) $X_p = 3\omega L(1 - k_{св})$ | E) $X_p = 4\omega L(1 - k_{св})$ |
| C) $X_p = 2\omega L(1 - k_{св})$ | |

Приложение 2 - Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В соответствии с программой курса видами самостоятельной работы студентов являются:

- 1) самостоятельное изучение теоретического материала по определенным темам;
- 2) семинарские/практические занятия;
- 3) лабораторные работы;
- 4) тестирование;
- 5) курсовой проект;
- 6) экзамен.

Для изучения разделов данной учебной дисциплины необходимо вспомнить и систематизировать знания, полученные ранее по данной отрасли научного знания.

В ходе *лекционных занятий* необходимо вести конспектирование учебного материала, обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.

1. *Самостоятельная работа* студента является основным средством овладения учебным материалом во время, свободное от обязательных учебных занятий. Самостоятельная работа студента над усвоением учебного материала по учебной дисциплине может выполняться в библиотеке университета, учебных кабинетах, компьютерных классах, а также в домашних условиях. Содержание самостоятельной работы студента определяется учебной программой дисциплины, методическими материалами, заданиями и указаниями.

Данный вид самостоятельной работы осуществляется студентами на протяжении всего изучения дисциплины с целью подготовки к семинарским занятиям и итоговой аттестации и проходит прежде всего в форме самостоятельного изучения учебников, монографий научных статей, статистических данных и судебной практики по темам дисциплины.

По заданию преподавателя самостоятельное теоретическое обучение может осуществляться в следующих формах:

а) анализ рекомендованных новейших монографических исследований и журнальных публикаций по выбранной тематике, конспектирование их содержания и обсуждение прочитанного на практических занятиях;

б) участие в подборке литературы для подготовки по заранее утвержденной теме научного исследования;

в) обобщение изученной литературы, подготовка выступления на семинарском (практическом) занятии, научно-практической конференции, круглом столе и т.п.

Ожидаемым результатом осуществления студентами данного вида самостоятельной работы является получение ими углубленных знаний по вопросам и проблемам дисциплины, выработка важных практических навыков работы с источниками, обобщения и анализа полученной информации, публичного выступления и ведения научной дискуссии.

2. *Практическое занятие:*

Семинар (от лат. *seminarium* - «рассадник», переносное - «школа») - один из основных видов учебных практических занятий, состоящий в обсуждении студентами предложенной заранее темы, а также сообщений, докладов, рефератов, выполненных ими по результатам учебных исследований. Семинарские занятия являются одной из основных форм образования.

Ценность семинара как формы обучения состоит в следующем:

— студенты имеют возможность не просто слушать, но и говорить, что способствует усвоению материала: подготовленное выступление, высказанное дополнение или вывод «включают» дополнительные механизмы их памяти;

— происходит углубление знаний за счет того, что вопросы рассматриваются на более высоком методологическом уровне или через их проблемную постановку;

— немаловажную роль играет обмен знаниями; нередко при подготовке к семинару студентам удается найти исключительно интересные и познавательные материалы, что расширяет кругозор каждого студента;

— развивается логическое мышление, способность анализировать, сопоставлять, делать выводы;

— на семинаре студенты учатся выступать, дискутировать, обсуждать, аргументировать, убеждать, что особенно важно для подготовки к будущим итоговым аттестационным испытаниям и профессиональной деятельности выпускников;

— имея возможность на занятии говорить, студенты учатся оперировать необходимой в будущей профессиональной деятельности терминологией.

В ходе образовательного процесса при реализации ОПОП проводятся семинары видов:

Семинар (от лат. *seminarium* - «рассадник», переносное - «школа») - один из основных видов учебных практических занятий, состоящий в обсуждении студентами предложенной заранее темы, а также сообщений, докладов, рефератов, выполненных ими по результатам учебных исследований. Семинарские занятия являются одной из основных форм образования.

В ходе образовательного процесса при реализации ОПОП проводятся семинары видов:

1) *Обычные*, или систематические, предназначенные для изучения курса в целом - основные по предложенной студентам тематике. По всем изучаемым дисциплинам разработаны планы семинарских занятий с конкретными вопросами и заданиями по каждой теме, которые можно увидеть на сайте в рабочей программе дисциплины. При подготовке к семинару основная задача студента - найти ответы на поставленные вопросы, поэтому лучше законспектировать найденный материал.

2) *Тематические*, обычно применяемые для углубленного изучения основных или наиболее важных тем курса.

3) *Реферативная форма проведения семинара*. Рефераты полезны по узким проблемам. Руководитель предлагает тему, литературу, предварительно знакомится с содержанием реферата, который затем представляется студентом в устной форме. Требование к студенту - свободно владеть материалом. Преподаватель может прервать докладчика для обсуждения той или иной детали или идеи. По окончании доклада слушатели, включая преподавателя и студентов задают вопросы докладчику. При работе над рефератом основная задача студента – раскрыть тему и найти ответы на поставленные вопросы. Объем реферата не должен превышать 15 страниц машинописного текста форматом А4. Страницы реферата должны быть пронумерованы, в конце работы приводится оформленный по правилам список использованных источников.

Коллоквиум — форма проверки и оценивания знаний студентов, проводимый по инициативе преподавателя промежуточный мини-экзамен несколько раз в семестр, имеющий целью уменьшить список тем, выносимых на основной экзамен, и оценить текущий уровень знаний студентов. В ходе коллоквиума, проводимого в рамках семинарского занятия, могут также проверяться проекты, рефераты и другие письменные работы студентов. Оценка, полученная на коллоквиуме, может влиять на оценку на основном экзамене. В некоторых случаях преподаватель выносит на коллоквиум все пройденные темы и студент, как на итоговом экзамене, получает единственную оценку, идущую в зачет по дисциплине.*В качестве наглядного инструмента студентам при проведении обычных, тематических и реферативных семинаров рекомендуется при подготовке к докладам использовать систему «Мультимедиа» - компьютерные презентации, которые должны содержать иллюстративный материал в виде таблиц, диаграмм, рисунков, блок-схем и т.д.

Практическое занятие:

- практикум – это практические занятия, которые посвящены освоению полученных теоретических знаний по определенной теме (модулю) дисциплины в плане их приложения к существующей производственной либо научной проблематике; предоставляет возможность провести практическое исследование; студенту, как правило, предлагается следовать подготовленному плану (методике) действий, нарабатывая сугубо практические навыки; к каждому практикуму преподаватели разрабатывают конкретные методические указания; экономический и юридический практикумы не требуют оборудования и могут проводиться непосредственно в лекционной аудитории

*В качестве наглядного инструмента студентам при проведении семинаров рекомендуется при подготовке к докладам использовать систему «Мультимедиа» - компьютерные презентации, которые должны содержать иллюстративный материал в виде таблиц, диаграмм, рисунков, блок-схем и т.д.

Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности семинара как вида занятия, для подготовки к нему студенту также необходимо:

- внимательно прочитать конспект лекции по данной тематике;
- ознакомиться с соответствующим разделом учебника, в том числе практикумов и учебных пособий;
- проработать дополнительную литературу и источники;
- изучить методики выполнения типовых заданий, затем решить задачи и выполнить другие письменные задания.

3. *Лабораторные работы.* Для выполнения лабораторной работы обучающийся использует необходимое экспериментальное оборудование, приборы и инструмент. Лабораторные работы выполняются самостоятельно (индивидуально или в составе группы) в соответствии с предлагаемым описанием работы. Результаты исследований заносятся в тетрадь лабораторных работ, выполняются рисунки с схемы, в конце работы делается вывод о проделанной работе.

Подготовка к лабораторному занятию включает в себя текущую работу над учебными материалами с использованием конспектов и рекомендуемой основной и дополнительной литературы; групповые и индивидуальные консультации; самостоятельное решение практических задач. Студент может пользоваться ресурсами Интернет, библиотекой вуза, которая в полной мере обеспечена соответствующей литературой. Работу с литературой рекомендуется делать в следующей последовательности: беглый просмотр (для выбора глав, разделов, статей, которые необходимы по изучаемой теме); беглый просмотр содержания и выбор конкретных страниц, отрезков текста с пометкой их расположения по перечню литературы, номеру страницы и номеру абзаца; конспектирование прочитанного. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, необходимо сформулировать вопросы и обратиться за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции. Рекомендуется регулярно отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

В рабочей программе дисциплины изложен перечень лабораторных работ по соответствующим темам. Каждая из них содержит комплекс взаимосвязанных заданий, которые последовательно должны выполняться студентом как во время аудиторных занятий под руководством преподавателя, так и в период самостоятельной работы. Прежде чем приступать к выполнению лабораторной работы, студенту необходимо: ознакомиться с методическими указаниями для студентов по изучению конкретной темы; изучить основную и дополнительную литературу, рекомендованную по той или иной теме курса; внимательно прочитать все задания лабораторной работы и определиться с оптимальной для себя последовательностью их выполнения; проконсультироваться с преподавателем или его

ассистентом и организовать надлежащее материальное обеспечение выполнения лабораторной работы.

При выполнении лабораторных работ в электронном виде следует соблюдать указанную в работе последовательность. Каждый этап работы должен контролироваться преподавателем.

Ответы на задания, оформляемые рукописно, должны излагаться студентом собственноручно, разборчивым почерком, без помарок и относиться к существу поставленных вопросов. Выполнение каждой лабораторной работы проверяется преподавателем (или его ассистентом). Результаты проверки он отражает в контрольном листе оценкой «зачтено», которую заверяет своей подписью. Лабораторная работа может быть не зачтена в следующих случаях: если она полностью не выполнена или выполнена неверно; если текст ответов на задания является дословной копией ответов переписанных из другого практикума. Выполнение либо невыполнение лабораторных работ способно оказать решающее влияние на формирование результирующей оценки по курсу криминалистики.

4. *Тестирование* - это исследовательский метод, который позволяет выявить уровень знаний, умений и навыков студента. Тест — это стандартизированное задание или особым образом связанные между собой задания, которые позволяют преподавателю оценить уровень знаний, умений и навыков студента. Тесты обычно содержат вопросы и задания, требующие очень краткого, иногда альтернативного ответа («да» или «нет», «больше» или «меньше» и т.д.), выбора одного из приводимых ответов или ответов по балльной системе. Тестовые задания обычно отличаются диагностичностью, их выполнение и обработка не отнимают много времени, тесты почти полностью исключают субъективизм педагога, как в процессе контроля, так и в процессе оценки.

Самыми популярными являются тестовые задания закрытого типа (каждый вопрос имеет несколько готовых вариантов ответов, из которых нужно выбрать один или несколько верных) и тестовые задания открытого типа (на каждый вопрос учащийся должен предложить свой ответ, например, дописать слово, словосочетание, предложение, знак, формулу и т. д.). Наравне с традиционными формами тестирования применяется и компьютерное тестирование, этот факт соответствует общей концепции модернизации и компьютеризации системы образования России.

5. Курсовой проект.

Общие положения.

Одной из основных форм самостоятельной работы студентов является написание ими курсовой работы. Повышение качества подготовки специалистов, выпускаемых, обеспечение его конкурентоспособности требует совершенствования всех форм учебного процесса и в том числе написания курсовых проектов и работ. Происходят объективные изменения в организации всего учебного процесса и в том числе в подготовке студентами курсовых работ, которые необходимо учитывать и направлять. Быстрое развитие информационных технологий, появление Интернета существенно расширяют возможности студентов по сокращению трудоёмкости выполнения учебных заданий, насыщению их фактами, проблемностью, статистическими материалами, что в итоге способствует формированию профессиональных компетенций.

Курсовой проект является формой самостоятельной работы, выполняемой студентом на определенную тему, в соответствии с тематикой по данной дисциплине. Курсовой проект выполняется под руководством преподавателя, в процессе его выполнения студент развивает навыки к научной работе, закрепляя и одновременно расширяя теоретические знания, полученные при изучении дисциплины (модуля). При выполнении курсового проекта студент должен показать свое умение работать с нормативным материалом, справочными данными, стандартами, учебной литературой, источниками Интернет, что дает возможность систематизировать и анализировать теорию, фактический материал и самостоятельно творчески их сопоставлять и осмысливать.

Методические указания создают возможность студенту правильно и квалифицированно написать курсовой проект, соблюдая при этом все требования по его оформлению.

Правильно выполненный проект дает студенту уверенность в своей подготовленности к выполнению в будущем выпускной квалификационной работы, качество которой повышается, если она является продолжением самостоятельно и качественно выполненных студентом курсовых проектов.

Творческое развитие логики, методов и приёмов выполнения работ – залог их соответствия нарастающим требованиям подготовки выпускников высшей школы.

Цель и задачи курсового проекта.

Курсовой проект занимает важное место в учебном процессе высшей школы. Его цель и главное назначение состоит в подготовке студентов к самостоятельному выполнению исследовательской работы, в овладении начальными навыками этой работы, в развитии их творческого потенциала. Отсюда основными задачами курсовой работы являются:

1) овладение первичными навыками ведения исследовательской работы; развитие творческих способностей, профессиональных компетенций в индивидуальном режиме для каждого студента;

2) подготовка студента к выполнению ВКР, как начальной формы научно-исследовательской деятельности;

3) усвоение методов грамотного ведения, оформления и редактирования технической документации, а также выполнения практической аналитической работы.

Умение вести исследование – подбирать, анализировать, обобщать материал, системно излагать его научным стилем, обосновывать выводы, оформлять работу – отличает специалиста с высшим образованием. Курсовые проекты последовательно готовят выпускника, наращивая владение элементами исследовательской работы. Среди других форм развития творческого потенциала студентов – рефераты, эссе, научные доклады на студенческой научной конференции и др., курсовые работы и проекты занимают ведущее место, уступая по завершённости требований лишь содержанию и объёму выпускной квалификационной работе.

В соответствии с целью и задачами назначение курсового проекта в учебном процессе конкретизируются в овладении студентами следующих знаний и навыков:

а) работа с библиографией: пользование каталогами и справочной литературой, статистическими и инструктивными материалами;

б) разработки задач проектирования;

в) понимания и грамотного написания введения к любой исследовательской работе;

г) методики и стиля изложения материалов работы;

д) редакционного оформления работы в соответствии с общеустановленными требованиями;

е) написание заключения, уяснение его назначения в работе;

ж) составление библиографического списка использованных источников;

и) назначение приложений и их оформление.

Безусловно, овладение этими знаниями должно происходить постепенно, от курса к курсу, от предыдущей работы к каждой последующей круг требований должен расширяться, а их уровень возрастать.

Для студентов старших курсов задачами курсового проекта являются: обязательность наличия материалов нормативно-справочной документации, табличных, цифровых и графических данных; проблемно-поисковый характер работы, овладение методами расчетов приводимого материала, обоснование своей точки зрения и путей решения проблем. Основное внимание в постановке задач отводится умению строить и анализировать исходный материал, помещаемый в тексте научной работы, умению его анализировать. Студент не только характеризует проблему и своё отношение к ней, но и показывает пути её решения, предлагает методы её преодоления.

Объем и сроки выполнения курсового проекта.

Курсовой проект выполняется студентами в соответствии с учебным планом. Объем курсового проекта: пояснительная записка 30-40 листов печатного текста форматом А4; графическая часть до 4 листов чертежей формата А1 и спецификация.

Сроки выполнения курсового проекта (работы):

20 % - 3 неделя семестра;

40 % - 6 неделя семестра;

60 % - 9 неделя семестра;

80 % - 12 неделя семестра,

100 % - 15 неделя семестра;

Защита курсовой работы 16-17 неделя семестра (за 1-2 неделю до начала экзаменационной сессии).

Критерии формирования оценки за курсовой проект (балльно-рейтинговая система оценивания):

1. Соблюдение сроков выполнения проекта диапазон оценок от 0 до 25.

25 баллов – безусловное соблюдение графика выполнения проекта;

20 баллов – отставание от сроков не более чем на одну неделю, при условии завершения проекта и представления научному руководителю (без защиты) на 15 неделе;

15 баллов – невыполнение промежуточных сроков, при условии окончательной сдачи (без защиты) на 15 неделе;

10 баллов – окончательное предоставление проекта научному руководителю не позже 18 недели семестра;

0 баллов – окончательное завершение проекта и представление его научному руководителю (без защиты) позже 18 недели семестра.

2. Оформление Пояснительной записки курсового проекта диапазон оценок от 25 до 50.

41-50 баллов – выполнение Пояснительной записки проекта на высоком качественном уровне с соблюдением всех требований ЕСКД;

31-40 баллов – тоже, что и выше, но с несущественными погрешностями исполнения (дифференцированно, в зависимости от числа погрешностей);

25-30 баллов – выполнение расчетной части проекта на минимально допустимом уровне;

Расчетная часть работы не удовлетворяющая 25 баллам должна быть переделана студентом.

3. Графическое оформление проекта диапазон оценок от 25 до 50.

41-50 баллов – выполнение проекта на высоком качественном уровне с соблюдением всех требований ЕСКД;

30-40 баллов – тоже, что и выше, с несущественными погрешностями в исполнении графического материала (дифференцированно, в зависимости от числа погрешностей);

25-30 баллов – выполнение графической части проекта на минимально допустимом по качеству уровне;

Графическая часть работы не удовлетворяющая 25 баллам должна быть переделана студентом.

4. Оценка за защиту проекта диапазон оценок от 5 до 25.

21-25 баллов – при защите студент успешно отвечает более чем на 80 % заданных вопросов, демонстрируя при ответе теоретические знания, практические умения и владение основными навыками;

11-20 баллов – при защите студент успешно отвечает более чем на 60-80 % заданных вопросов, демонстрируя при ответе теоретические знания, практические умения и владение основными навыками;

5-10 баллов – при защите студент успешно отвечает более чем на 50 % заданных вопросов, демонстрируя при ответе теоретические знания, практические умения и владение основными навыками.

Защита проекта проводится публично, в присутствии других студентов, перед утвержденными заведующим кафедрой комиссиях, в состав которой обязательно входит преподаватель – научный руководитель проекта. Форма защиты выбирается членами комиссии (публичный доклад с вывешиванием листов проекта, ответы на вопросы, опрос по листам проекта, ответ по билетам и т.д.). Студент, не защитивший проект, допускается к повторной защите не ранее чем через два дня. Третья защита курсового проекта проводится в аттестационной комиссии, состав которой назначается директором института с включением в состав комиссии заведующего кафедрой, научного руководителя, представителя дирекции, представителя студенческого совета. Студент, который в итоге получил за курсовой проект решением аттестационной комиссии оценку «неудовлетворительно» считается имеющим академическую задолженность и должен выполнить курсовой проект повторно по новому заданию.

Защита курсового проекта оценивается по столбальной шкале с переводом в оценку по пятибалльной шкале.

Таблица – Шкала оценок защиты курсового проекта

отлично	85-100 баллов
хорошо	70-84 балла
удовлетворительно	52-69 баллов
неудовлетворительно	0-51 балл

Экзамен. Экзамены являются ведущими, наиболее значительными формами организации контроля. В ходе их проводится итоговая проверка результатов учебной деятельности студентов по изучению конкретной дисциплины, является уровень сформированности знаний и умений. Экзаменационные билеты для устного экзамена и задания составляет преподаватель, обсуждается на заседании кафедры не позднее чем за месяц до сессии и утверждает заведующий кафедрой. В экзаменационные билеты включаются 2-3 вопроса из разных разделов программы в зависимости от специфики предмета и одну задачу или пример. Вопросы комплекта билетов по предмету охватывают весь основной пройденный материал. Главное требование при комплектовании билетов - создание равноценных билетов и по объему учебного материала, и по его характеру, и по степени активизации познавательной деятельности студентов. Для очной формы обучения - в университете действует балльно-рейтинговая система, целесообразно систематически готовиться к занятиям, набирать баллы, спокойно получать допуск к экзамену или автоматически получать заслуженную в течение всего семестра оценку.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 – Методические указания по выполнению курсового проекта

Введение

Методические указания по выполнению курсового проекта предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения. Кроме этого данное пособие может быть использовано студентами всех форм обучения при решении вопросов проектирования и расчета электрических сетей.

Указания содержат необходимый теоретический материал, достаточный для изучения лекционного курса: основные цели и задачи, принимаемые допущения, нормативные требования к расчету электрических сетей.

В предлагаемом материале рассмотрен математический аппарат формирования расчетных схем, приведены практические инженерные методики расчета основных характеристик элементов и системы в целом.

Также издание может быть полезно специалистам, работающим в энергетической отрасли, магистрантам, аспирантам.

1. Задание на курсовой проект районной электрической сети

Задачей курсового проекта является разработка проекта районной электрической сети с номинальным напряжением 35-220 кВ. Разрабатывается сеть для электроснабжения 4-6 населенных пунктов от одной заданной электрической станции или крупной узловой подстанции.

В задании приводится минимум данных, которые необходимы для выполнения проекта. Остальные характеристики сети принимаются самостоятельно на основании рекомендаций справочной литературы или по согласованию с руководителем.

В задании на курсовой проект приводятся исходные данные о географическом расположении пунктов, данные о потребителях электроэнергии, тема для углубленной проработки и т.д. Данные о географическом расположении пунктов и составе потребителей по категориям определяют схемы сетей. Географическое расположение пунктов и наибольшая зимняя нагрузка определяют выбор номинального напряжения. Величину среднего номинального коэффициента мощности генераторов системы, в которую входит проектируемый район, необходимо учитывать при определении мощности компенсирующих устройств. Величина наименьшей летней нагрузки определяет параметры режима наименьших нагрузок. Продолжительность использования наибольшей нагрузки характеризует годовые графики нагрузок подстанций и применяется для выбора сечений и расчета потерь электроэнергии в электрических сетях. Напряжения на шинах электростанции при наибольших нагрузках, при наименьших нагрузках и в послеаварийных режимах влияют на параметры характерных режимов работы электрических сетей.

Курсовой проект должен выполняться в соответствии с графиком, что отмечает на бланке задания руководитель проекта.

2. Общие указания по курсовому проектированию

2.1. Содержание курсового проекта

В объем каждого курсового проекта районной электрической сети входят следующие разделы (с ориентационной разбивкой в процентах):

1. Определение потребления и покрытие потребности в активной и реактивной мощностях в проектируемой сети (10%).

2. Выбор схемы, номинальных напряжений и основного оборудования (25%).
3. Расчеты параметров схемы замещения и характерных режимов работы спроектированной сети (25-30%).
4. Обеспечение нормативных отклонений напряжения на шинах вторичного напряжения подстанций спроектированной сети (10%).
5. Проработка индивидуального задания (15-20%).
6. Техничко-экономические показатели спроектированной районной электрической сети (10%).

Если темы углубленной проработки являются разделы, приведенные выше, то выбор схем, параметров оборудования, оценка качества электроснабжения и т.п. должны проводиться на основе технико-экономических сравнений вариантов технических решений, проработки дополнительной справочной и директивной литературы.

Темы индивидуальных заданий выдаются руководителем проекта. Они могут охватывать вопросы выбора схем и оборудования, вопросы методик расчетов параметров схем и режима, применение ЭВМ и моделей электрических систем для расчетов районных электрических сетей, характеристику конструктивного исполнения ВЛЭП и оборудования ПС и т.д.

Углубленная проработка должна содержать более детальные расчеты, дополнительные теоретические или экспериментальные исследования с применением ЭВМ и моделирующих устройств. Раздел выполняется с использованием дополнительной литературы. Тема увязывается с основными характеристиками проектируемой сети. Допускается относительно емкие темы разрабатывать отдельными частями в едином плане несколькими студентами.

2.2. Оформление проекта

Оформление курсового проекта осуществляется в соответствии со стандартами [19]. Часть необходимых сведений представлена на стендах дипломного и курсового проектирования кафедры.

Курсовой проект оформляется в виде сброшюрованной расчетно-пояснительной записки и чертежей.

В расчетно-пояснительную записку по проекту помещаются следующие материалы: задание на курсовой проект, содержание, основные расчеты и их результаты, схемы сети, анализ результатов, объяснение хода и последовательности рассматриваемых вопросов и обоснования принимаемых решений.

Главы и изложение вопросов в записке следует начинать с четкой формулировки решаемых задач. Далее приводятся нормы, критерии и требования, которые должны быть соблюдены при разработке вопроса, а также данные из задания и предыдущих разделов, необходимые для расчетов. На основании сформулированных требований намечаются пути решения задач. Особое внимание следует уделить обоснованию выдвигаемых вариантов. Полностью следует приводить общие формулы и расчеты для одного из вариантов. Результаты аналогичных расчетов следует сводить в таблицы, отражать графиками и приводить на схемах сети. Таблицы должны иметь пояснения: характеристику условий получения результатов, обоснование дальнейшего пути решения задачи и т. п.

Расчетно-пояснительная записка должна иметь нумерацию глав, параграфов, страниц, таблиц, схем и формул. Для результатов расчетов указывается размерность получаемых величин. Сокращение слов в записке не допускается. При использовании формул, статистических данных, нормативных требований и параметров оборудования должны приводиться ссылки на использованные литературные источники.

Распечатки программ поясняются блок-схемами, информацией о вводе и выводе величин.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать следующие рисунки:

1. Схемы первоначально намечаемых вариантов районной электрической сети.

2. Схемы выбранных вариантов с обозначением номинальных напряжений, марок линий, мощности трансформаторов и компенсирующих устройств.

3. Схемы замещения электрической сети для расчета режима наибольших нагрузок, режима наименьших нагрузок и наиболее тяжелого послеаварийного режима с указанием параметров сети и соответствующего режима.

4. Схема сети для расчета надежности.

5. Схема сети для технико-экономических расчетов.

6. Схемы, графики и т.п., относящиеся к теме углубленной проработки.

По курсовому проекту выполняется 1-2 чертежа формата А1 594 x 841 мм. На чертежах представляется следующая информация:

1. Основные рассматриваемые варианты схем сети с приведением технико-экономических параметров;

2. Принципиальная электрическая схема соединений спроектированной сети с параметрами режимов;

3. Конструкции элементов сети, теоретические зависимости, алгоритмы программ и другие иллюстрированные материалы вопросов углубленной проработки.

Минимальный объем определяется совместно с руководителем курсового проекта.

3. Потребление и покрытие потребности в активной и реактивной мощности

3.1. Потребление и покрытие потребности в активной мощности

Для расчета потребления электроэнергии в реальном проектировании учитываются такие факторы, как: темпы развития народного хозяйства; пропорции в развитии отдельных отраслей народного хозяйства; развитие и внедрение новых технологий; темпы роста населения и т.п. /1,2,3,11/.

В учебном проекте потребление активной мощности определяется по наибольшим зимним нагрузкам подстанций. Мощность, выдаваемая генераторами электростанции, должна быть равна:

$$P_{\Gamma} = \sum_{i=1}^N P_{\text{MAX}i} + \Delta P_{\text{C}} + \Delta P_{\text{CH}}, \quad (3.1)$$

где P_{MAX} - максимальная нагрузка i -го пункта; ΔP_{C} - потери активной мощности в линиях и трансформаторах сети; ΔP_{CH} - мощность собственных нужд электростанций.

Потери активной мощности в линиях 35 кВ составляют от 0,6% до 3,8% передаваемой полной мощности. Потери активной мощности в линиях 110 кВ составляют от 2% до 5% передаваемой полной мощности. Потери активной мощности в линиях 220 кВ составляют от 3% до 10% передаваемой мощности.

Наименьшие значения относительных потерь активной мощности соответствуют наименьшим рекомендуемым длинам ЛЭП, наименьшим применяемым сечениям и минимальной экономической плотности тока для сталеалюминиевых проводов. Наибольшие значения относительных потерь активной мощности приведены для максимальных рекомендуемых длин линий электропередачи, максимальных применяемых сечений и максимальной плотности тока.

Потери активной мощности в трансформаторах с высшим напряжением 35 кВ составляют от 1.1% до 0,4% от передаваемой полной мощности. Потери активной мощности в трансформаторах с высшим напряжением 110 кВ составляют от 1.0% до 0,4% от передаваемой полной мощности. Потери активной мощности в трансформаторах с высшим напряжением 220 кВ составляют от 0.6% до 0,4% для понижающих и 0,5%-0,2% для повышающих от передаваемой полной мощности. Наибольшая величина относительных потерь в трансформаторах меньшей мощности. Приведенные выше значения относительных потерь

рассчитаны для двухтрансформаторных подстанций при коэффициенте загрузки трансформатора в режиме наибольших нагрузок около 70 %.

Расход электроэнергии на собственные нужды КЭС составляет 3,7-6,8% выработки при работе на угле, 4,9-2,3% выработки при работе на газе и 5,2-2,5% при работе на мазуте. Расход электроэнергии на собственные нужды АЭС составляет 5-7% выработки. На собственные нужды ТЭЦ расходуется 6,6-13,1% вырабатываемой электроэнергии. Расход электроэнергии на собственные нужды гидравлических электростанций составляет 0,3-2% выработки.

Большие относительные расходы на электростанциях меньшей мощности /11,12/.

При проектировании сетей для мощных потребителей следует учитывать и резерв мощности, который необходим, например, для обеспечения работы электрической системы с приемлемыми параметрами в послеаварийных рабочих режимах /3,7/.

3.2. Потребление и покрытие потребностей в реактивной мощности

Составление баланса реактивной мощности в данном проекте позволяет определить мощность компенсирующих устройств, а затем разместить компенсирующие устройства по подстанциям.

Поступление реактивной мощности в сеть происходит от генераторов электростанций, батарей конденсаторов и синхронных компенсаторов также от линий электрической сети.

$$Q_{\text{ПОСТ}} = P_{\Gamma} \operatorname{tg} \varphi_{\Gamma} + Q_{\text{СК}} + Q_{\text{БК}} + Q_{\text{С}}, \quad (3.2.)$$

где P_{Γ} - мощность, выдаваемая генераторами ЭС (определяется в 3.1); $\operatorname{tg} \varphi_{\Gamma}$ - средний номинальный коэффициент мощности генераторов (в соответствии с заданием на курсовой проект); $Q_{\text{СК}}$ и $Q_{\text{БК}}$ - реактивная мощность синхронных компенсаторов и батарей статических конденсаторов; $Q_{\text{С}}$ - генерация реактивной мощности линиями сети.

В отличие от баланса активной мощности, даже при ориентировочных расчетах в балансе реактивной мощности необходим учет потерь реактивной мощности в трансформаторах. Потребляемая в сети реактивная мощность определяется потреблением реактивной мощности нагрузками, потерями реактивной мощности в линиях электропередачи, потерями в понижающих трансформаторах 110 кВ напряжение короткого замыкания $u_{\text{К}}=10,5\%$

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n Q_{\text{Н}i} + \sum_{i=1}^k \Delta Q_{\text{W}i} + \sum_{i=1}^n \Delta Q_{\text{T}i} + \Delta Q_{\text{ТС}}, \quad (3.3)$$

Относительные потери реактивной мощности в понижающих трансформаторах подстанций потребителей примерно соответствуют параметру каталога – напряжению короткого замыкания $\Delta Q_{\text{T}i} \approx u_{\text{К}} S_{\text{МАХ}i}/100$. Этот параметр достаточно стабилен для трансформаторов одного класса напряжения, что позволяет оценить величину потерь реактивной мощности в трансформаторах по мощности нагрузок до выбора силовых трансформаторов. Для трансформаторов 35 кВ напряжение короткого замыкания $u_{\text{К}}=6,5-7,5\%$, для трансформаторов 110 кВ $u_{\text{К}}=10,5\%$, для трансформаторов 220 кВ $u_{\text{К}}=12\%$. Составление баланса реактивной мощности проводится до выбора компенсирующих устройств. Поэтому, чтобы не закладывать в расчеты завышенные значения потерь следует учитывать предполагаемую компенсацию реактивной мощности. После установки на подстанциях устройств компенсации реактивной мощности $S_{\text{МАХ}i} = P_{\text{МАХ}i} / \cos \varphi_i$ коэффициент мощности изменится до величины $\cos \varphi = 0,95-0,96$. Так как, расчетные выражения для балансов мощности формируются для шин генераторов, то следует учитывать и потери реактивной мощности в повышающих трансформаторах электростанций. В первом приближении можно принять их равными потерям в трансформаторах подстанций.

В линиях 110 кВ, в ряде случаев, можно принять равенство генерации и потерь реактивной мощности.

В сетях нескольких номинальных напряжений наиболее целесообразно осуществить максимально возможную компенсацию реактивной мощности в электрической сети низшего напряжения. В электрических сетях целесообразна наиболее полная компенсация реактивной мощности наиболее электрически удаленных подстанций. Если допускается, что отличие в электрической удаленности пунктов от источников питания незначительно, то компенсирующие устройства размещаются таким образом, что этим обеспечивается равенство коэффициентов мощности.

Среднее значение отношения реактивной мощности подстанции к активной (коэффициент мощности) после установки компенсирующих устройств будет равно:

$$\operatorname{tg} \varphi_K = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Hi} - \sum_{i=1}^n Q_{KYi}}{\sum_{i=1}^n P_{MAXi}} \quad (3.9)$$

Если для какой-то подстанции значение $\operatorname{tg} \varphi_K < \operatorname{tg} \varphi_i$, то это означает, что компенсация реактивной мощности на этой подстанции не требуется, а расчет $\operatorname{tg} \varphi_K$ следует провести вторично, предполагая, что мощность компенсирующих устройств на этой подстанции равна нулю.

Реактивная мощность на подстанции после установки компенсирующих устройств, будет равна

$$Q_{HKi} = P_{MAXi} \operatorname{tg} \varphi_K \quad (3.10)$$

а мощность компенсирующих устройств i -той подстанции должна равняться

$$Q_{KYi} = Q_{Hi} - Q_{HKi}, \quad (3.11)$$

где $i=1,2,\dots$ номера подстанций

4. Выбор схемы, номинального напряжения и основного электрооборудования

4.1. Составление вариантов схемы сети и сопоставление вариантов по натуральным показателям.

Одним из важнейших условий, которые обязательно соблюдаются при составлении схемы, является требование обеспечения надежности электроснабжения.

Требования к надежности зависят от состава потребителей по категориям. Эти сведения приведены в задании на курсовой проект по электрическим сетям и системам.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения приемники разделяются на три категории. Необходимая степень надежности согласно ПУЭ, которые являются обобщением, практического опыта проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем и установок, в основном определяется характером потребителей, их ролью и важностью в народном хозяйстве, величиной морального и материального ущерба при ограничении и перерывах электроснабжения /10/.

К первой категории относятся электроприемники перерыв электроснабжения, которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждения дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов народного хозяйства.

Электроприемники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников может быть допущен на время автоматического включения резерва.

К числу независимых источников питания относятся две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих двух условий:

1. Каждая из секций или системы шин имеет питание от независимого источника питания;

2. Секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций (систем) шин.

Электроприемники второй категории - электроприемники, перерыв в электроснабжении которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении на время необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Допускается питание электроприемников второй категории по одной воздушной линии, в том числе с кабельной вставкой, если обеспечена возможность проведения аварийного ремонта этой линии за время не более суток. Кабельная вставка этой ВЛ должна выполняться двумя кабелями, каждый из которых выбирается по длительно допустимой нагрузке.

При возможности замены поврежденного трансформатора за время не более суток допускается питание электроприемников второй категории от одного трансформатора.

К третьей категории относятся электроприемники не подходящие под определение первой и второй категории.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы, не превышает одних суток.

Таким образом, целесообразность схем электроснабжения электроприемников второй и третьей категории должна обосновываться технико-экономическими расчетами с учетом ущерба от недоотпуска электроэнергии, а лучшей схемой сети для электроприемников первой категории будет схема, которая с наименьшими затратами обеспечит требуемую надежность.

При проектировании распределительных сетей энергосистем соблюдается целый ряд принципов, которые не входят в объем учебного проектирования. Например: комплексное электроснабжение всех потребителей в зонах электрических сетей независимо от их ведомственной принадлежности;

экономичность развития и функционирования сети при обеспечении оптимальных уровней токов КЗ и потерь электроэнергии;

возможность выполнять релейную защиту и релейную автоматику;

максимальное использование существующих сетей с учетом их возможной реконструкции.

Проектируемая районная электрическая сеть должна обеспечить надежность электроснабжения в соответствии с ПУЭ, качество электроэнергии в соответствии с ГОСТ с наименьшими затратами. Обеспечение качества анализируется только на примере одного показателя - отклонения напряжения.

Допускается ограничение потребителей при обеспечении резервирования электроприемников первой категории. При отсутствии данных, нагрузки первой категории рекомендуется принимать в размере 10 - 15 % общей нагрузки подстанций /11/.

Протяженность намечаемых линий при отсутствии более точных данных принимается на 15 - 20 % больше расстояний по прямой между рассматриваемыми пунктами.

При разработке учебного проекта, как правило, не требуется обоснование схемы электрических соединений подстанций с учетом развития ПС, с учетом постепенного расширения РУ всех напряжений и т.п.

Схема подстанций должна удовлетворять следующим требованиям:

соответствовать схеме электроснабжения района; обеспечивать требуемую надежность электроснабжения потребителей в соответствии с категориями электроприемников; обеспечивать транзит мощности через подстанции в нормальном, ремонтном и послеаварийном режимах; обеспечивать возможность проведения ремонтных работ на отдельных элементах схемы без отключения смежных присоединений; обеспечивать наглядность, простоту, экономичность и автоматичность восстановления питания потребителей в послеаварийной ситуации. В зависимости от напряжения, количества трансформаторов и линий могут быть выбраны типовые схемы подстанций.

При разработке схем электрических сетей могут намечаться не резервируемые сети - радиальные и магистральные. Эти схемы наиболее пригодны для потребителей третьей категории. Более надежны резервированные схемы, которые выполняются в виде двухцепных или радиальных линий. Рекомендуется проанализировать и целесообразность использования кольцевых схем, которые относятся к резервированным схемам. Могут применяться и смешанные варианты схем. При этом можно обеспечить выполнение требований надежности электроснабжения с наименьшими затратами.

Вопросами обоснования схем электрических станций и подстанций уделяется достаточное внимание в соответствующем курсе. Этим вопросам посвящен и курсовой проект. Поэтому при выполнении курсового проекта электрической сети выбор схем подстанций производится на основе рекомендаций справочной и учебной литературы /10, 11, 12, 16/.

В таблице 4.1 и на рис.4.2. приведены характеристики типовые схемы тупиковых (кольцевых), ответвительных, проходных и узловых подстанций.

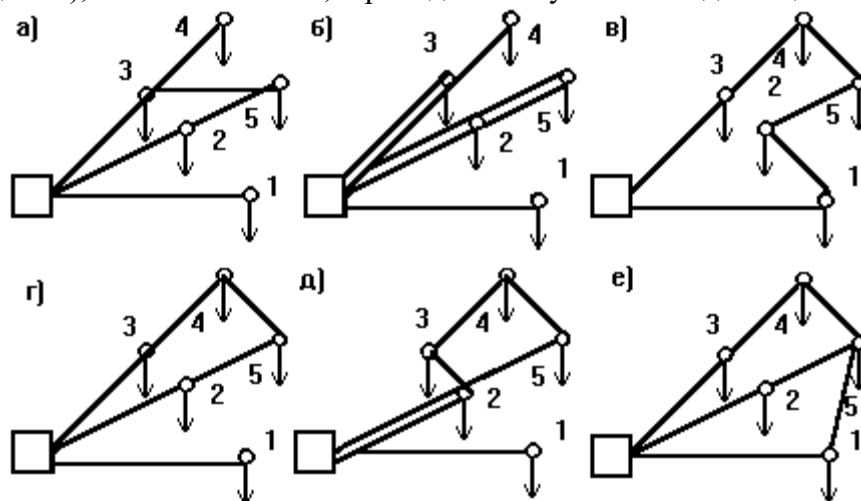


Рис.4.1. Варианты схем сети.

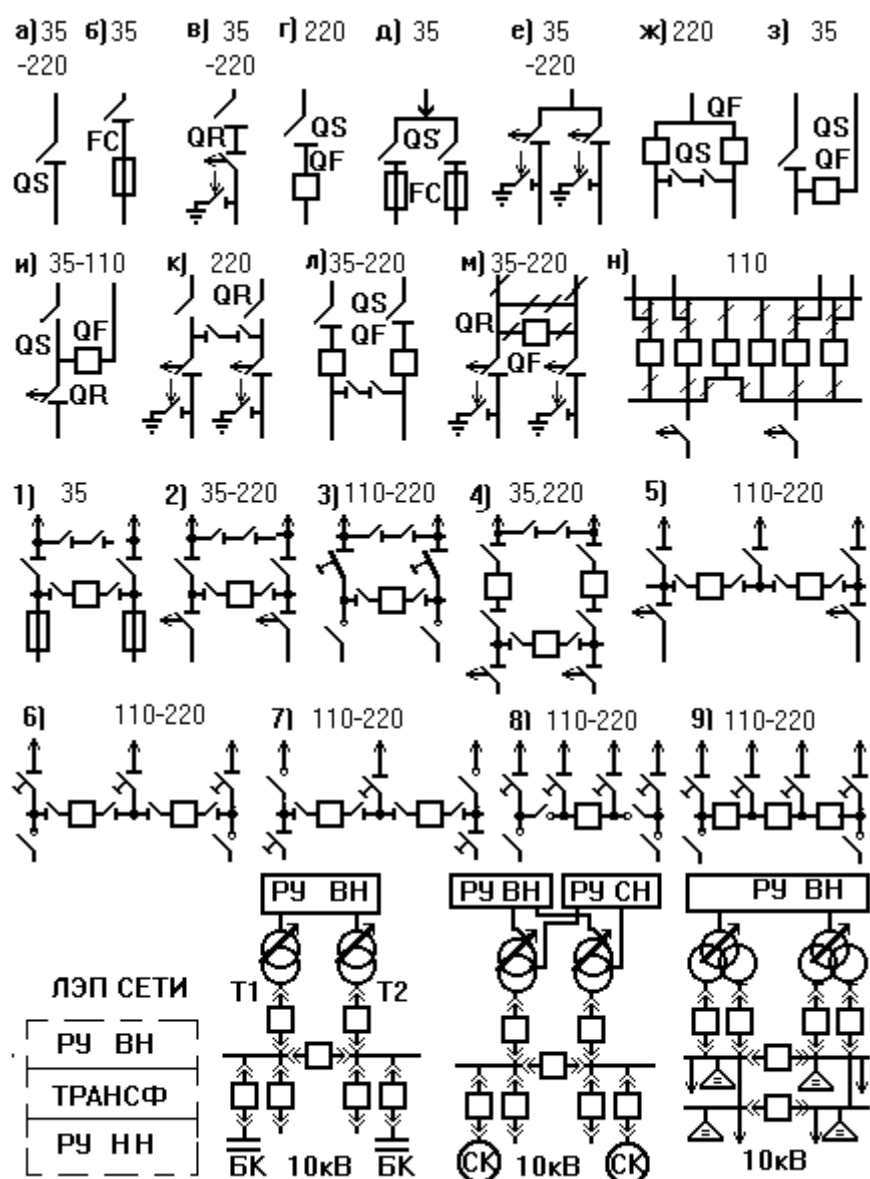


Рис. 4.2.Схемы РУ ВН и РУ НН подстанций

Таблица 4.1 – Рекомендуемые схемы РУ ВН подстанций

№№	Наименование схемы (Рис.4.2)
а	Блок линия - трансформатор (Т) с разъединителем (Р)
б	Блок линия - Т с предохранителем
в	Блок линия - Т с отделителем (ОД) или с выключателем нагрузки (ВН)
г	Блок линия - Т с выключателем (В)
д	Укрупненный блок линия - два Т с предохранителями
е	Укрупненный блок линия - два Т с ОД (или ВН) в цепях Т
ж	Укрупненный блок линия - два Т с В в цепях Т
з	Блок линия-Т с предохранителями в его цепи и отходящей линией присоединенной через В
и	Блок линия-Т с ОД в его цепи и отходящей линией .присоединенной через В
к	Два блока с ОД (или ВН) и неавтоматической перемычкой со стороны линии
л	Два блока с В и автоматической перемычкой со стороны трансформаторов
м	Мостик с В в перемычке и ОД в цепях Т
н	Одна секционированная система шин с обходной с ОД в цепях Т и совмещенными секционным и обходным В (до шести присоединений)
1	С В в перемычке и предохранителями в цепях Т
2	С В в перемычке, ОД в цепях Т
3	С В в перемычке, В-Н в цепях Т и Р с дистанционными приводами в ВЛ
4	С В в перемычке и на ВЛ и ОД в цепях Т
5	Двойной мостик с ОД в цепях Т и дополнительной ВЛ, присоединенной через два выключателя
6	То же, но с Р с дистанционными приводами в цепях ВЛ и В-Н в цепях Т
7	То же, но с В-Н в цепях, питающих ВЛ и с Р дистанционным приводом в цепях Т и радиальной ВЛ
8	Тройной мостик с одним В и В-Н в перемычке и цепях Т и Р с дистанционными приводами в цепях ВЛ
9	Тройной мостик с тремя В в перемычке, В-Н в цепях Т и Р с дистанционными приводами в в цепях ВЛ

Схема а - одиночный блок, трансформатор питается по тупиковой преимущественно короткой, воздушной линии. Предполагается, что защита питающего конца чувствительна к повреждениям в трансформаторе.

Схема б применима на подстанциях с одним трансформатором, питаемым по тупиковым линиям, когда защита питающего конца нечувствительна к повреждениям на подстанции.

Схема в применяется на ответвительной подстанции с двух - и трехобмоточным трансформатором. В цепи трансформатора установлен ОД, отделяющий трансформатор при его повреждении в бестоковую паузу АПВ. При нечувствительности релейной защиты питающего конца в цепи трансформатора установлен короткозамыкатель.

Схема г применяется в основном при питании автотрансформатора от воздушной линии с ОАПВ.

Установка коммутационной аппаратуры на стороне высшего напряжения в схемах д, е, ж определяется теми же условиями, что и в схемах б, в, г.

В схемах з и и показано каким образом присоединяется отходящая воздушная линия сравнительно большой длины.

Схемы 1-9 мостиковые схемы. Схема 1 применяется редко, когда предохранители обеспечивают необходимую чувствительность и селективность защиты.

Схема 2 получила широкое распространение и применяется для автоматического секционирования на промежуточных ПС на участке длиной около 50 км в сетях 110 кВ и 100

км в сетях 220 кВ. Однако из-за наличия разъединителей в цепях ВЛ при устойчивой аварии питающей ВЛ при одном трансформаторе ПС полностью обесточивается или теряет один из двух трансформаторов, что в ряде случаев также недопустимо (когда фактическая загрузка трансформатора превышает проектную и оставшийся в работе трансформатор с перегрузкой в 40% не обеспечивает в период аварии максимум нагрузки или есть особо ответственные потребители).

Применение в цепях ВЛ разъединителей с дистанционными приводами, включенными в цикл автоматики (схема 3), делает схему автоматической и исключает описанную аварийную ситуацию, а также ошибки персонала при ручном оперировании разъединителями. В дальнейшем с освоением выключателей нагрузки их установка в цепях трансформаторов снизит количество перерывов, определяемое относительно высокой удельной повреждаемостью отделителей, и ускорит цикл АПВ при аварии с трансформатором (время срабатывания ОД 0,5-0,3с; выключателя нагрузки 0,12-0,1с). Таким образом, в дальнейшем рекомендуется схема 3 вместо схемы 2.

Схема 4 рекомендуется для одиночной ВЛ с двусторонним питанием и транзитом мощности при наличии ОАПВ или в холодном климате при отсутствии ОД типа ХЛ. При ревизии любого выключателя включается ремонтная перемычка. Учитывая недостатки схемы рекомендуют в ряде случаев, особенно при ответственном потребителе на СН или НН, применять схему квадрата.

Схема 5 (двойной мостик) применяется в сетях 110 кВ при необходимости присоединения тупиковой или ответвительной ПС с одной радиальной ВЛ или при наличии транзита, допускающего разрыв при отключении радиальной ВЛ и на период ревизии выключателя.

С освоением выключателей нагрузки 220 кВ схема 5 также может быть использована в сетях 220 кВ в случаях, когда не намечается расширение этой ПС и когда ПС, питающаяся по радиальной ВЛ, имеет второе питание. Наличие в схеме только двух выключателей делает ее исключительно экономичной и надежной (при коротком замыкании на любой питающей ВЛ и отказе выключателя питание потребителей сохраняется от второго трансформатора).

Схема 5 на 220 кВ из-за указанных ограничивающих условий не включена в число типовых.

Схема 6 (применима в сетях 110 и 220 кВ) придает схеме 5 автоматичность за счет установки в цепях ВЛ разъединителей с дистанционным приводом, включенным в цикл автоматики. После освоения выключателей нагрузки 330 кВ с установкой их в цепях трансформаторов возможно применение схемы в сетях 330 кВ и можно будет осуществить схему 7, аналогичную 6 и применимую на транзитной ПС в сетях 110-330 кВ.

Схемы 8 и 9 (тройной мостик) отличаются тем, что первая предназначена для попарно параллельных ВЛ, а вторая при наличии, кроме транзитной ВЛ, еще двух радиальных ВЛ.

Примеры схем подстанций на низшем напряжении приведены на рис.4.2. На низшем напряжении 6-10 кВ подстанций, как правило, применяется одиночная секционированная система шин с раздельной работой секций. Синхронные компенсаторы и батареи статических конденсаторов непосредственно включаются на секции низшего напряжения. На низшем напряжении могут устанавливаться реакторы и другое оборудование для регулирования напряжения, ограничения токов КЗ.

Технико-экономическое сравнение вариантов производится в два этапа.

На первом этапе варианты с одинаковым номинальным напряжением сетей сравниваются

по натуральным показателям. Например: по длине линий; по длине трасс линий; по

протяженности двухцепных линий; числу выключателей на подстанции; по величине

наибольшей потери напряжения; надежности электроснабжения потребителей; по гибкости сети, т.е. возможности производства переключений без перерывов в электроснабжении и возможности дальнейшего расширения сети.

Варианты схем с разными напряжениями сравниваются с учетом капиталовложений.

Потери напряжения при предварительном анализе, когда еще не выбраны сечения линий, можно найти, исходя из средних значений сопротивлений ВЛ. Активное удельное сопротивление ЛЭП 35 кВ равно 0,8-0,2 Ом/км, для ЛЭП 110кВ 0,4-0,1 Ом/км, для ЛЭП 220 кВ около 0,1 Ом/км. Удельное индуктивное сопротивление для ВЛ 35-220 кВ примерно равно 0,4 Ом/км. Считается, что удовлетворительные уровни напряжения на понижающих подстанциях получаются, если в нормальных режимах потери напряжения в сети одного напряжения не превосходят 15%, а в послеаварийных режимах - 20%.

4.2. Выбор основного оборудования и определение технико-экономических показателей

Экономическое сечение проводов и линий электропередачи напряжением 35-220 кВ определяется на основе нормированной экономической плотности тока/5/:

$$F_{\text{ЭК}} = I \alpha_i / j_{\text{ЭК}}, \quad (4.1)$$

где I - базисный ток, определяемый по максимальной нагрузке 5-го года эксплуатации; α_i - поправочный коэффициент, учитывающий изменение максимальной токовой нагрузки по годам за рассматриваемый период (0,6-1,4); $j_{\text{ЭК}}$ - экономическая плотность тока.

Динамика изменения нагрузок по годам, как правило, в курсовом проекте не учитывается. Поэтому значение поправочного коэффициента можно принять равным 1.

Величина экономической плотности тока зависит и от продолжительности использования наибольшей нагрузки, значение которой приводится в задании на курсовой проект.

В соответствии с экономическим сечением выбирается стандартное ближайшее сечение проводов. Если для выбора стандартного сечения воспользоваться данными приложения П.1, то не потребуется проверять провода по условиям короны. Это объясняется тем, что минимальные сечения проводов в П.1 приводятся с учетом условия отсутствия коронирования проводов при среднеэксплуатационных климатических условиях.

Рекомендуется проверить выбранные провода по нагреву в послеаварийных режимах согласно сведениям из приложения П.1.

В данном курсовом проекте не производится выбор определенных типов выключателей. Для оценки стоимости ячеек выключателей можно воспользоваться сведениями из приложения П.3.

Выбор количества трансформаторов (автотрансформаторов) зависит от требований к надежности электроснабжения питающихся от подстанций потребителей и является, т.о., технико-экономической задачей.

На подстанциях с высшим напряжением 220 кВ и выше, как правило, устанавливаются автотрансформаторы, обладающие рядом преимуществ по сравнению с трансформаторами (меньшие масса, стоимость и потери при той же мощности).

В практике проектирования на подстанциях всех категорий предусматривается, как правило, установка двух трансформаторов (автотрансформаторов). Мощность трансформаторов выбирается по нагрузке 5-го года эксплуатации подстанции, считая с года ввода трансформаторов.

Исходя из допустимой перегрузки на время максимума нагрузки на 40 %, мощность каждого из двух трансформаторов выбирается равной 0,65 - 0,7 максимальной нагрузки подстанции для обеспечения питания всех потребителей при аварийном выходе одного трансформатора. В аварийных режимах масляные трансформаторы допускают кратковременные перегрузки сверх номинального тока независимо от вида их охлаждения, длительности предшествующей нагрузки, температуры окружающей среды и места установки.

Если коэффициент начальной нагрузки не больше 0,93, то ТУ допускают в течение не более 5 суток перегрузку на 40% сверх номинального тока на время максимумов нагрузки общей продолжительностью не более 6 часов в сутки.

Мощность однитрансформаторной подстанции определяется максимальной загрузкой трансформатора (до 100%).

Установка на трансформаторной подстанции больше двух трансформаторов может привести к значительному уменьшению установленной мощности и потерь электроэнергии, однако, данное мероприятие требует технико-экономического обоснования.

На подстанциях рассматриваемого проекта, как правило, следует устанавливать понижающие трансформаторы с РПН.

Расчеты по определению сравнительной экономической эффективности капитальных вложений применяются в электроэнергетической отрасли при сопоставлении вариантов хозяйственных или технических решений, размещения предприятий и их комплексов, при решении задач по выбору взаимозаменяемой продукции, внедрению новых видов техники по строительству новых или реконструкции действующих предприятий, выбору их параметров и т. п.

Показателем сравнительной экономической эффективности капитальных вложений является минимум приведенных затрат. Приведенные затраты по каждому варианту представляют собой сумму ежегодных издержек производства (себестоимости продукции) и капитальных вложений приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативом эффективности.

Приведенные затраты для равных по надежности вариантов определяются по следующей формуле:

$$З = E_n K + И, \quad (4.2)$$

где $З$ – приведенные затраты по одному из рассматриваемых вариантов; $И$ – ежегодные издержки производства (себестоимость продукции) по варианту; K – суммарные капитальные вложения в строительство объекта по варианту; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Показатели K и $И$ могут меняться как в полной сумме капитальных вложений и себестоимости годовой продукции, так и в виде удельных величин: удельные капитальные вложения на единицу продукции и себестоимость единицы продукции.

Из числа технически сопоставимых вариантов предпочтение отдается варианту с наименьшими приведенными затратами. При отличии вариантов на 5% и меньше необходим дополнительный качественный анализ.

Значение приведенных затрат определяется по формуле (1) при условии, что капитальные вложения осуществляются в течение одного года, а ежегодные издержки производства остаются постоянными за весь период нормальной эксплуатации, нормативный

коэффициент эффективности капитальных вложений в энергетической отрасли принимается равным $E_n = 0,12$.

Если сопоставляемые варианты обеспечивают различную надежность электроснабжения, то приведенные затраты определяются следующим образом:

$$Z = E_n K + И + У, \quad (4.3)$$

где $У$ – народнохозяйственный ущерб от недоотпуска электроэнергии.

Народнохозяйственный ущерб определяется для потребителей второй и третьей категории, которые допускают перерыв в электроснабжении.

Значение приведенных затрат определяется по формуле (1) при условии, что капитальные вложения осуществляются в течение одного года, а ежегодные издержки производства остаются постоянными за весь период нормальной эксплуатации, нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в энергетической отрасли принимается равным $E_n = 0,12$.

В литературе приводится несколько методик по определению народнохозяйственного ущерба [3,5,9,10,11,12]. Ниже рассматриваются основы методики определения ущерба, разработанной в ВГПИ и НИИ “Энергосетьпроект”. Это одна из простейших методик, не требующих знания графика электрических нагрузок.

4.3. Определение надежности схемы и ущерба от недоотпуска электроэнергии

Надежность электроснабжения потребителей зависит от множества факторов: схемы сети, климатических условий, устойчивости, наличия резерва мощности на электростанциях, работы устройств защиты и автоматики и т. п.

В курсовом проекте, как правило, достаточно проанализировать структурную надежность.

При расчете характеристик надежности сети составляют блок-схему надежности относительно точки сети, к которой подключаются потребители. В общем случае блок-схема содержит последовательные ветви, параллельные и мостики. В последовательные ветви включают те элементы, отказ каждого из которых приводит к простоем остальных, а параллельно соединяют те элементы, отказ которых не ведет к отключению других. Анализ надежности схемы допустимо проводить без учета надежности релейной защиты. В блок-схему вводят основные элементы сети: линия, Т_в, выключатели и т. д.

В качестве технических характеристик надежности используются следующие: параметр потока отказов (среднее количество отказов в год) ω , 1/год; среднее время восстановления электроснабжения T_B , лет/ отказ и т.п.

Сведения о параметрах потока отказов элементов электрических сетей, о среднем времени восстановления элементов электрических сетей и среднегодовом времени плановых простоев приведены в приложении П элементов коэффициент вынужденного простоя равен

$$K_{ВПОС} = \sum_{i=1}^N K_{Bi} = \sum_{i=1}^N T_{Bi} \omega_i, \quad (4.4)$$

где ω_i – параметр потока отказов i -го элемента, T_{Bi} – среднее время восстановления i -го элемента.

При параллельном соединении элементов коэффициент вынужденного простоя определяется по выражению:

$$K_{ВПАР} = \prod_{i=1}^N K_{Bi} = \prod_{i=1}^N (T_{Bi} \omega_i) \quad (4.5)$$

Для схемы (рис.4.4в) минимальные сечения состоят из элементов (1,2), (4,5), (1,2,3) и (3,4,5).

Коэффициент вынужденного простоя узла В при питании от узла А равен

$$K_{В АВ} = K_{B1}K_{B2} + K_{B4}K_{B5} + K_{B1}K_{B2} K_{B3} + K_{B3}K_{B4}K_{B5}$$

Народнохозяйственный ущерб от перерывов электроснабжения I-го потребителя можно определить после расчета коэффициента вынужденного простоя

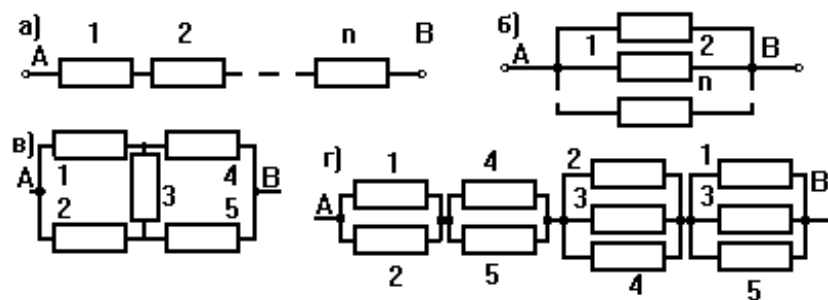


Рис.4.4. Блок-схемы для расчета надежности

а - последовательное соединение, б - параллельное соединение, в - схема мостика, г - минимальные сечения для схемы (в).

$$Y_I = P_{\max I} T_m (K_{BI} \alpha_I \varepsilon_{BI} + K_{nI} \beta_I \varepsilon_{nI}) \quad (4.7)$$

где $P_{\max I}$ - максимальное значение мощности потребителя; T_m - число часов использования максимума нагрузки; K_{BI} ; K_{nI} - средние вероятности аварийных и преднамеренных отключений; α_I - удельное значение ущерба от аварийного ограничения электроснабжения; ε_{BI} ; ε_{nI} - величины ограничений аварийных и плановых; β_I - удельное значение ущерба при преднамеренном отключении.

В табл. 4.3 приведены данные об удельных ущербах для различных нагрузок.

Расчетный годовой ущерб от аварийных α и плановых β ограничений электроснабжения, руб/кВт

Таблица 4.3

ε	$\alpha_1 \varepsilon$	$\beta_1 \varepsilon$	$\alpha_2 \varepsilon$	$\beta_2 \varepsilon$	$\alpha_3 \varepsilon$	$\beta_3 \varepsilon$
0.2	0.1	0.04	0.22	0.06	0.02	0.02
0.3	0.3	0.12	0.45	0.15	0.06	0.045
0.4	0.52	0.2	0.84	0.28	0.12	0.08
0.5	1	0.3	1.5	0.5	0.2	0.125
0.6	1.65	0.6	2.34	0.75	0.33	0.18
0.7	2.31	0.8	3.08	1.19	0.46	0.28
0.8	3.2	1.2	4.0	1.6	0.76	0.44
0.9	3.4	1.26	4.23	1.58	1.22	0.72
1.0	3.5	1.3	4.3	1.6	1.6	1

Примечание: нагрузка: 1- промышленная 60-80%, быт и сфера обслуживания 10-30%, сельскохозяйственная 5-10%; 2- промышленная 70-90%, быт и сфера обслуживания 10-30%; 3-промышленная 20-40%, сельскохозяйственная 60-80% .

5. Расчет схемных и режимных параметров выбранных вариантов сети

5.1. Рекомендации по расчету основных рабочих режимов сети.

Для отобранных по натуральным показателям вариантов проводится уточненный расчет режимов и технико-экономические расчеты, что позволяет, аргументировано выбрать наилучший вариант сети. На этой стадии расчеты проводятся не по усредненным, а по фактическим значениям сопротивлений линий, определяются ожидаемые напряжения на шинах подстанций, подбираются ответвления трансформаторов и т. п. Параметры режима определяются для следующих характерных случаев: нормального режима наибольших нагрузок; нормального режима наименьших нагрузок; наиболее тяжелого послеаварийного режима.

Основой расчетов являются схемы замещения электрической сети. Схемы составляются максимально простыми, но с подробностью достаточной для выполняемого расчета. Так по расчетной схеме рис. 5.1в определяется потокораспределение, потери мощности в линиях сети, потери напряжения в ЛЭП и т. п. Для определения ответвления трансформаторов достаточно составление схем, которые аналогичны схеме представленной на рис. 5.1б.

При анализе режимов потери мощности допустимо определять по номинальным напряжениям.

Потери мощности в трансформаторах вычисляются по формулам:

$$\Delta \dot{S}_T = \Delta P_T + j\Delta Q_T; \dot{S}_{HT} = \dot{S}_H - jQ_{KY}$$

$$\Delta P_T = \frac{S_{HT}^2 R_T}{n U_{НОМ}^2} + n \Delta P_{ХХ} \quad (5.1)$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_{HT}^2 X_T}{n U_{НОМ}^2} + n \Delta Q_{ХХ}$$

где S_{HT} - нагрузка трансформаторов, n - число параллельно работающих трансформаторов, $U_{НОМ}$ - номинальное напряжение, R_T , X_T - активное и реактивное сопротивления трансформатора, $\Delta P_{ХХ}$, $\Delta Q_{ХХ}$ - активные и реактивные потери холостого хода трансформатора.

Потери мощности в ЛЭП вычисляются следующим образом:

$$\Delta S_{Л} = \frac{S^2 R_{Л}}{U_{НОМ}^2} + j \frac{S^2 X_{Л}}{U_{НОМ}^2} \quad (5.2)$$

где S - мощность, передаваемая по ЛЭП, $R_{Л}$ и $X_{Л}$ - активное и индуктивное сопротивления ЛЭП.

Генерация реактивной мощности ЛЭП рассчитывается по формуле:

$$Q_C = b_0 L U^2, \quad (5.3)$$

где b_0 и L - удельная емкостная проводимость и длина ЛЭП. Таким образом, после расчета потерь и генерации мощности в ЛЭП и потерь в трансформаторах может быть определена приведенная мощность i - той нагрузки и преобразована схема рис. 5.1в к виду рис.5.1в.

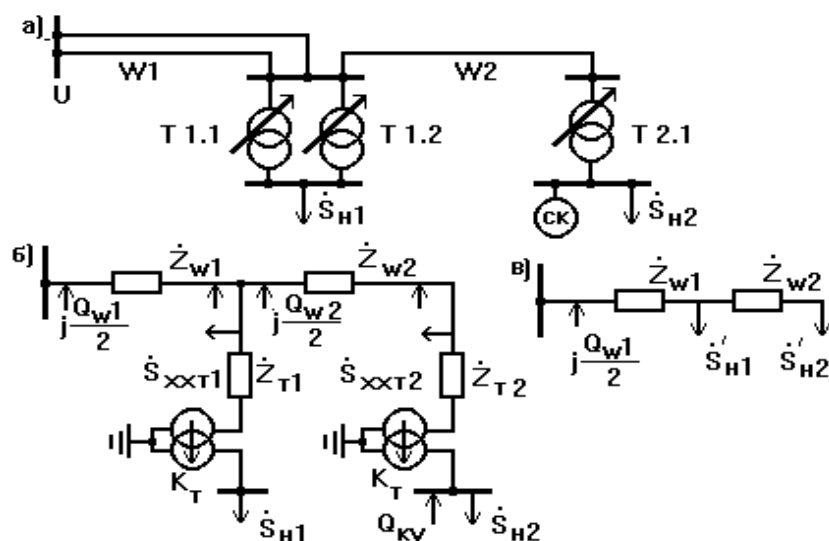


Рис. 5.1. Схемы замещения сети

$$\dot{S}_{HI} = \dot{S}_{HI} + \Delta \dot{S}_{TI} - j \sum_{I=1}^N \frac{Q_{CI}}{2} - jQ_{KYI}, \quad (5.4)$$

где ΔS_{TI} - потери мощности в трансформаторах,

$\sum_{I=1}^N \frac{Q_{CI}}{2}$ - генерация реактивной мощности в линиях подходящих к I- той подстанции,

Q_{KY} - мощность компенсирующих устройств.

В режиме наименьших нагрузок следует проверить баланс реактивной мощности. В случае избытка реактивной мощности возможно отключение части компенсирующих устройств.

Рекомендуется расчет наиболее тяжелых послеаварийных режимов: отключение линий, компенсирующих устройств и т. п. Под наиболее “тяжелым” понимается режим, при котором возможны наибольшие снижения напряжения на понижающих подстанциях.

5.2. Обеспечение нормативных отклонений напряжения на шинах вторичного напряжения подстанций проектируемой сети

Единственным показателем качества, который оценивается в данном проекте, является отклонение напряжения. ГОСТом (ГОСТ 13109-97). Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная) установлены достаточно жесткие требования к отклонениям напряжения на зажимах электроприемников.

Для выполнения этих требований напряжение на шинах 6-20 кВ подстанций необходимо поддерживать определенным образом при изменении нагрузки.

Обычно отклонения напряжения выражаются в процентах номинального напряжения:

$$V_{I\%} = \frac{U_I - U_H}{U_H} 100, \quad (5.5)$$

где U_I - напряжение в узле I-той сети, U_H - номинальное напряжение сети.

На шинах вторичного напряжения понижающих подстанций в случае необходимости обеспечивается встречное регулирование напряжения в пределах от 0 до +5% номинального напряжения сети. В периоды снижения суммарной нагрузки до 30% и ниже от ее наибольшей величины напряжение на шинах должно поддерживаться на уровне номинального напряжения сети. В периоды нагрузки напряжение на шинах должно превышать номинальное напряжение сети не менее чем на 5%, допускается повышение напряжения на шинах

вторичного напряжения до 10 %, если при этом отклонения напряжения ближайших потребителей не превысит наибольшей величины, допускаемой ПУЭ. В послеаварийных режимах при встречном регулировании напряжение на шинах низшего напряжения не должно быть ниже номинального напряжения сети.

В качестве специальных средств регулирования напряжения используются специальные трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой.

Если известно приведенное к высокой стороне напряжение на шинах низшего напряжения подстанции U'_H , то можно определить необходимое (расчетное) напряжение регулировочного ответвления трансформатора:

$$U_{ВН} = \frac{U'_H U_{НН}}{U_{НЖ}}, \quad (5.6)$$

где $U_{НН}$ - номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, $U_{НЖ}$ - напряжение, которое необходимо поддерживать на шинах низшего напряжения в различных режимах работы сети ($1,05 U_H$ - в режиме наибольшей нагрузки и U_H - в режиме наименьшей нагрузки и в послеаварийном режиме).

Для сетей с номинальным напряжением 6 кВ необходимые напряжения равны 6,3 кВ - в режиме наибольших нагрузок, и 6 кВ - в режиме наименьших нагрузок и в послеаварийных режимах. Для сетей с номинальным напряжением 10 кВ соответствующие значения составят 10,5 и 10 кВ.

В случае трансформаторов с РПН имеется возможность изменять регулировочное ответвление без отключения трансформатора. Поэтому следует определить напряжение регулировочного ответвления отдельно для режимов наибольшей и наименьшей нагрузок. Так как время возникновения аварийного режима неизвестно, то будем считать, что он возникает в наиболее неблагоприятном случае, т. е. в период наибольших нагрузок. С учетом сказанного выше расчетное напряжение регулировочного ответвления трансформатора будет равно:

для режима наибольших нагрузок

$$U_{ВНМАКС} = \frac{U'_{НМАКС} U_{НН}}{U_{НМАКС}}; \quad (5.7)$$

для режима наименьших нагрузок

$$U_{ВНМИН} = \frac{U'_{НМИН} U_{НН}}{U_{НМИН}}; \quad (5.8)$$

для послеаварийного режима

$$U_{ВНП} = \frac{U'_{НП} U_{НН}}{U_{НП}}. \quad (5.9)$$

Обозначим напряжение выбранных регулировочных ответвлений для режимов наибольших и наименьших нагрузок соответственно через $U_{ВНДМАКС}$ и $U_{ВНДМИН}$. Тогда действительные напряжения в режиме наибольших нагрузок

$$U_{НДМАКС} = \frac{U'_{НМАКС} U_{НН}}{U_{ВНДМАКС}}; \quad (5.10)$$

в режиме наименьших нагрузок

$$U_{НДМИН} = \frac{U'_{НМИН} U_{НН}}{U_{ВНДМИН}}; \quad (5.11)$$

в послеаварийном режиме

$$U_{НДП} = \frac{U'_{НП} U_{НН}}{U_{ВНДП}} \quad (5.12)$$

Определенные таким образом значения напряжения подстанций сравниваются с желаемыми значениями напряжения.

Приложения

Допустимая длительная мощность по нагреву воздушных линий со
сталеалюминиевыми проводами при $t=+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, МВА

Таблица П.1.2

Сечение, мм ²	Класс напряжения, кВ			
	35	110	150	220
35	10,7	–	–	–
50	14,0	–	–	–
70	17,5	–	–	–
95	21,4	67,0	–	–
120	24,1	75,8	107	–
150	28,2	88,8	125	–
185	32,7	103	145	–
240	–	122	171	244
300	–	142	199	276
330	–	–	–	–
400	–	–	242	346
500	–	–	–	388
600	–	–	–	440

Длительные допустимые токовые нагрузки на голые сталеалюминиевые провода вне
помещений при $t=+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица П.1.2

S, мм ²	35	50	70	95	120	150	185	240	300	330	400	500	600
Ток, А	175	210	265	330	380	445	510	610	690	730	835	945	1050

П.2 Показатели надежности элементов электрических сетей

Параметры потока отказов элементов электрических сетей, 1/год

Таблица П.2.1.

Элемент	Напряжение, кВ		
	220	150-110	35
Воздушные линии (на 100 км):			
одноцепные	0,6	1,1	1,4
двухцепные, отказ одной цепи	0,5	0,9	1,1
отказ двух цепей	0,1	0,2	0,3
Трансформаторы и автотрансформаторы	0,02	0,02	0,01
Воздушные выключатели:			
в цепях ВЛ	0,15	0,1	0,08
в других цепях	0,06	0,05	0,04
Масляные выключатели:			
в цепях ВЛ	0,07	0,03	0,02
в других цепях	0,01	0,01	0,01
Сборные шины (на присоединение)	0,01	0,01	0,01
Отделители и короткозамыкатели	0,01	0,01	0,01
Разъединители	0,01	0,01	0,01

Среднее время восстановления элементов электрических сетей $T_v \cdot 10^{-3}$, лет/отказ

Таблица П.2.2.

Элемент	Напряжение, кВ		
	220	110	35
Воздушные линии:			
одноцепные	1,1	1,0	1,0
двухцепные, отказ одной цепи	0,2	0,4	0,8
двухцепные, отказ двух цепей	4,0	3,0	2,5
трансформаторы и автотрансформаторы	80	60	45
Выключатели	4,8	2,8	1,3
Отделители и короткозамыкатели	0,4	0,4	0,4
Сборные шины	0,4	0,25	0,25
Разъединители	0,3	0,2	0,2

Примечания: 1. Среднее время восстановления поврежденной фазы однофазного трансформатора (при установленной на подстанции резервной фазе) составляет $1,1 \times 10^{-3}$ лет/отказ. 2. Время восстановления электроснабжения при повреждении выключателей в схемах с обходной системой $0,06 \times 10^{-3}$ лет/отказ, а в схемах многоугольника, полуторных и мостиковых $0,03 \times 10^{-3}$ лет/отказ.

Среднегодовое время преднамеренных простоев на одну ВЛ или на единицу оборудования $q_n \times 10^{-3}$

Таблица П.2.3.

Элемент	Напряжение, кВ		
	220	110	35
Воздушные линии	7,0	5,0	4,0
Трансформаторы и автотрансформаторы	8,5	7,5	6,0

Воздушные выключатели	20,0	10,0	5,0
Масляные выключатели	8,5	6,5	2,0
Сборные шины (на одно присоединение)	0,4	0,2	0,2
Разъединители	0,3	0,2	0,2
Отделители и короткозамыкатели	1,0	1,0	1,0

П.3. Параметры компенсирующих устройств

Комплектные конденсаторные установки

Таблица П.3.1.

Тип	$S_{\text{ном}}$, квар	Исполнение	Цена, руб.
КУ6-1	330	Внутреннее	1450
КУ6-2	500		2010
КУ10-1	330		1480
КУ10-2	500		2050
КУН6-2	420	Наружное	1780
КУН10-2	400		1710
КУ6-1 с БРВ-1	330	Внутреннее, с БРВ	1540
КУ6-2 с БРВ-1	500		2100
КУ10-2 с БРВ-1	330		2140
КУ10-1 с БРВ-1	500		1570
УК6-450	450	Внутреннее	1760
УК10-450	450		1760

Синхронные компенсаторы

Таблица П.3.2.

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$, кВ	Стоимость, тыс. руб.	
			компенсатора	расчетная
КС-10-6У3	10	6,3	55	110
КС-16-6У3	16	6,3	65	140
КС-16-11У3	16	10,5	72	140
КСБВ-50-11	50	11	162	350
КСВ-100-11У1	100	11	264	660
КССВ-160-15У1	160	15	410	1000
КСВВ-350-20	350	20	850	1700

Конденсаторные батареи

Таблица П.3.3.

$U_{\text{ном}}$, кВ	Батареи с конденсаторами типа КСА-0,66-20		
	Мощность, Мвар		Расчетная стоимость, тыс.руб
	установленная	располагаемая	
10	5,3	3,4	39
6	3,4	1,9	27

$U_{\text{ном}}$, кВ	Батареи с конденсаторами типа КС2Н-0,66-40		
	Мощность, Мвар		Расчетная стоимость, тыс. руб
	установленная	располагаемая	
10	10,6	6,7	67
6	6,7	3,8	44

Располагаемая мощность конденсаторных батарей принята при номинальном напряжении. Несоответствие установленной и располагаемой мощности батарей объясняется особенностями комплектами конденсаторов в батарее, главным образом требованием обеспечения надежности работы батареи в целом при повреждении одного из конденсаторов.

П.4. Укрупненные показатели стоимости сооружения
линий электропередачи напряжением 35-220 кВ

Стоимость 1 км ВЛ 220 кВ, тыс. руб.

Таблица П.4.1.

Характеристика и материал опор	Районы по гололеду	Провода сталеалюминиевые сечением, мм ²		
		240/32	300/39	400/51
Стальные одноцепные	I	15,6	16,4	18,3
	II	16,1	16,6	18,3
	III	17,5	17,8	19,2
	IV	18,9	19,1	20,4
Стальные двухцепные с подвеской двух цепей	I	25,6	27,2	31,5
	II	26,3	27,6	31,5
	III	28,6	29,4	32,8
	IV	30,7	31,4	34,1
Стальные двухцепные с подвеской одной цепи	I	21,5	22,3	23,6
	II	22,0	22,3	23,6
	III	24,2	23,9	24,4
	IV	25,9	25,5	25,4
Железобетонные одноцепные	I	12,4	13,2	15,0
	II	12,3	13,2	15,0
	III	13,1	13,7	15,5
	IV	14,3	14,7	17,0
Деревянные одноцепные тросовые	I	12,9	13,7	15,7
	II	13,1	14,1	15,8
	III	14,0	14,5	16,0
	IV	14,4	14,8	16,4
Подвеска второй цепи	I- IV	5,5	6,6	8,8

Стоимость 1 км ВЛ 110 кВ тыс. руб

Таблица П.4.1.

Характеристика и материал опор	Районы по гололеду	Провода сталеалюминиевые сечением, мм ²					
		70	95	120	150	185	240
Стальные одноцепные	I	10,8	10,8	11,5	11,8	12,7	13,7
	II	12,3	12,1	12,5	12,5	13,1	13,8

	III	14,6	14.0	14.1	14.4	14.4	14.8
	IV	16.1	15.2	15.4	15.4	15.4	16.2
Стальные двухцепные подвеской двух цепей	I	16.1	16.5	17.8	18.4	20.6	22.6
	II	18.4	18.2	19.0	19.3	21.2	22.9
	III	21.8	21.2	21.3	21.4	22.4	24.0
	IV	22.4	23.1	23.4	23.7	23.6	25.6
Стальные двухцепные подвеской одной цепи	I	14.5	14.5	15.6	15.7	17.2	18.3
	II	16.6	16.1	16.6	17.4	17.7	18.3
	III	19.7	18.8	19.4	19.0	19.8	20.3
	IV	21.5	20.3	20.4	20.4	20.8	21.7
Железобетонные одноцеп- ные	I	7.9	8.2	8.1	8.7	9.3	10.3
	II	9.0	8.9	8.5	8.9	9.5	10.3
	III	10.9	10.6	9.8	10.1	10.2	11.2
	IV	12.3	11.8	10.7	10.7	11.3	12.3
Железобетон- ные двухцеп- ные с подвес- кой двух цепей	I	11.7	12.5	13.0	15.0	16.4	17.8
	II	13.2	13.1	13.6	15.0	16.4	17.8
	III	16.0	15.5	15.3	16.6	17.6	18.7
	IV	18.2	17.2	16.7	18.0	18.9	20.2
Железобетон- ные двухцеп- ные с подвес- кой одной цепи	I	10.2	10.5	10.8	12.3	12.9	13.6
	II	11.4	11.1	11.2	12.3	12.9	13.6
	III	13.9	13.1	12.7	13.7	13.8	14.3
	IV	15.7	14.5	13.8	14.4	14.9	15.4
Деревянные двухстоечные бестросовые	I	4.0	4.3	4.6	5.3	5.8	-
	II	4.5	4.6	4.7	5.3	5.9	-
	III	5.0	5.1	5.2	5.7	6.1	-
	IV	5.6	5.6	5.7	6.1	6.6	-
Подвеска второй цепи	I- IV	2.5	2.6	2.8	3.3	4.0	4.5

Стоимость 1 км ВЛ 35 кВ, тыс. руб.

Таблица П.4.4

Характеристика и материал опор	Районы по гололеду	Провода сталеалюминиевые сечением, мм ²				
		50	70	95	120	150
Стальные одноцепные	I	-	8.9	9.1	9.7	9.8
	II	-	10.6	10.4	10.4	10.6
	III	-	12.2	11.8	11.8	13.1
	IV	-	13.5	13.1	12.8	15.7
Стальные двухцепные с подвеской двух цепей	I	-	13.0	13.5	14.3	14.5
	II	-	15.1	15.1	15.2	16.0
	III	-	18.2	18.1	18.8	19.0
	IV	-	20.4	20.3	21.6	21.8
Стальные двухцепные с подвеской одной цепи	I	-	11.6	11.7	12.1	12.1
	II	-	13.5	13.0	12.9	13.0
	III	-	16.2	15.7	16.0	15.6
	IV	-	18.2	17.6	17.8	17.8
Железобетонные двухцепные	I	-	-	6.5	7.2	7.8
	II	-	-	7.3	7.6	8.0
	III	-	-	8.4	8.6	8.7
	IV	-	-	9.4	9.4	9.5
Железобетонные двухцепные с подвеской двух цепей	I	-	-	10.5	9.7	10.8
	II	-	-	11.4	10.0	11.1
	III	-	-	13.4	11.9	13.0
	IV	-	-	15.0	12.9	13.9
Железобетонные двухцепные с подвеской одной цепи	I	-	-	8.8	7.8	8.6
	II	-	-	9.5	8.1	8.8
	III	-	-	11.3	9.6	10.2
	IV	-	-	12.6	10.3	11.0
Деревянные двухстоечные бестросовые	I	3.5	3.6	3.9	4.3	4.9
	II	4.0	4.0	4.2	4.4	5.0
	III	4.6	4.4	4.6	4.7	5.3
	IV	5.1	5.0	4.9	5.1	5.6
Подвеска второй цепи	I- IV	-	2.5	2.6	3.3	3.5

П.5. Экономические показатели подстанций

Стоимость ячейки ОРУ с выключателями, тыс. руб.

Таблица П.5.1.

U, кВ	Общее число выключ. в ОРУ	Расчетная стоимость ячейки с выключателем			
		воздушные		масляные	
		при отключенном токе, кА			
		до 40	более 40	до 30	более 30
35	до 3	-	-	6	-
	3	11	25	7	10
110	2-4	-	-	30	38
	4	32	46	23	30
150	2-4	50	-	-	-
	4	45	-	-	-
220	4	78	-	80	-
	4	78	124	70	76

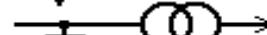
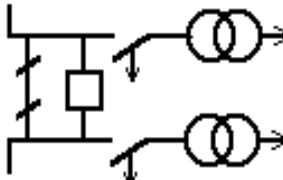
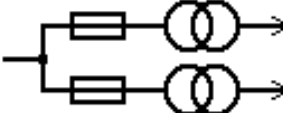
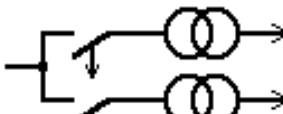
Постоянная часть затрат по подстанциям 35-220 кВ

Таблица П.5.2.

U, кВ	Электрическая схема подстанции на стороне ВН	Постоянная часть затрат, тыс. руб.
220/110	Сборные шины	650
	Мостик, четырехугольник	460
	Без выключателей	350
220/35/10	Четырехугольник, сборные шины	400
	Мостик	300
	Без выключателей	200
110/35/10	Сборные шины	270
	Мостик	210
	Без выключателей	150
110/10	Сборные шины	240
	Мостик	180
	Без выключателей	110
25/10	С выключателями на постоянном токе	90
	на переменном токе	55
	Без выключателей	50

Стоимость открытых РУ, в целом для ОРУ, тыс. руб.

Таблица П.5.3.

Схема эл. соед. п/ст.	Схема	Напряжение		
		35	110	220
Блок(линия трансформатор) аппаратуры с предохранителем с отделителем с выключателем	без	1.7	3.0	8.5
		1.9	4.5	-
		3.1	5.5	12
		6	-	80
Два блока с отделителями автоматическая перемычка со стороны трансформатора дополнительная линия, присоединенная через два выключателя		-	16	43
				
		-	70	190
				
Мостик с отделителями в цепях трансформа-то ров и выключателем в перемычке		10	45	120
Укрупненный блок (линия - два трансформатора) с предохранителями с отделителями с выключателями		3.4	-	-
		6.4	11.5	25
		12	-	160
				

П.6. Стоимость трансформаторов и автотрансформаторов 35-220 кВ

Трансформаторы 35 кВ

Таблица П.6.1.

S _{НОМ} , МВА	Трансформаторы двухобмоточные							Трех обмо точны е с РПН
	без РПН	с РПН		С расщепленной обмот- кой НН и РПН				
	расче тная	транс форм атора	расче тная	расче тная	трансфор матор а	расче тная	транс форм матор а	
0.1	0.76	1.37	-	-	-	-	-	-
0.16	1.15	1.95	-	-	-	-	-	-
0.25	1.44	2.59	-	-	-	-	-	-
0.40	1.83	3.76	-	-	-	-	-	-
0.63	2.2	5.17	-	-	-	-	-	-
1.0	2.92	7.74	10	16	-	-	-	-
1.6	4.2	9.8	11	17	-	-	-	-
2.5	5.45	11	13.3	19.6	-	-	-	-
4.0	7.2	13	15.7	22.2	-	-	-	-
6.3	9.2	24	18.6	34	-	-	21.7	37.6
10	13.8	29	32	48	-	-	29.4	46.2
16	20.8	36.5	38.4	57.4	-	-	36.8	54.1
25	-	-	-	-	56.6	76	-	-
32	-	-	-	-	62	87.5	-	-
40	44.5	67	-	-	75.4	101.8	-	-
63	-	-	-	-	92.4	122	-	-
80	80.1	106	-	-	107.5	138	-	-

Трансформаторы 110 кВ

Таблица П.6.2.

S _{НОМ} , МВА		Трансформаторы двухобмоточные						Трехобмоточные с РПН	
		без РПН		с РПН		с расщепленной обмоткой НН и РПН			
		трансформатора	расчетная	трансформатора	расчетная	трансформатора	расчетная		
2.5	-	-	21	37	-	-	-	-	
6.3	-	-	29	45	-	-	40	62	
10	-	-	36	55	-	-	52	75	
25	-	-	-	-	65	92	69	107	
16	-	-	48	67	-	-	57	81	
32	-	-	-	-	73	101	-	-	
40	52	89	-	-	80	110	89	129	
63	-	-	-	-	99	135	114	157	
80	80	123	-	-	104	141	124	170	

Продолжение табл.6.2

--

25	23	80	75	19
00	65	10		
50	95	57		
00	95	60		

Трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Таблица П.6.3

S _{НОМ} , МВА	Трансформаторы						Автотранс- форматоры с РПН	
	двухобмоточные				трехобмо точные с РПН			
	без РПН		с расщеп- ленной об- моткой НН и РПН					
	транс фор мато ра	расче тная	транс фор мато ра	расче тная	транс фор мато ра	расче тная	транс фор мато ра	расче тная
25	-	-	-	-	111	168	-	-
32	-	-	82	130	-	-	88	144
40	-	-	-	-	127	189	-	-
63	-	-	117	170	204	273	117	183
80	65	123	-	-	-	-	-	-
100	-	-	187	251	-	-	177	250
125	173	243	-	-	-	-	197	270
165	-	-	271	345	-	-	227	304
200	222	290	-	-	-	-	-	-
250	236	316	-	-	-	-	239	316
400	336	420	-	-	-	-	397	510
630	443	579	-	-	-	-	-	-
1000	640	820	-	-	-	-	-	-

Рекомендуемая литература

1. Папков, Б. В. Электроэнергетические системы и сети. Токи короткого замыкания : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Б. В. Папков, В. Ю. Вуколов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 353 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-8148-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/434716> (дата обращения: 08.10.2019).
2. Ушаков, В. Я. Электроэнергетические системы и сети : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / В. Я. Ушаков. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 446 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-00649-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/433945> (дата обращения: 08.10.2019).
3. Михеев, Г. М. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования / Г. М. Михеев. — 2-е изд. — Саратов : Профобразование, 2019. — 297 с. — ISBN 978-5-4488-0089-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/88012.html> (дата обращения: 08.10.2019).
4. Электротехнический справочник: В 3-х т. Т.3 Кн. 1 Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. - М.: Энергоиздат, 1982.-656 с.
5. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. - М.: Энергия, 1977.- 288 с.
6. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, В.В. Ежков и др.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-504 с.
7. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в развитие энергетического хозяйства (генерирование, передача и распределение электрической и тепловой энергии). - М.: Энергия, 1973.-55 с.
8. Правила устройства электроустановок. Раз. П. Канализация электроэнергии. Гл. П-1. Электропроводки. Гл. П-2. Токопроводы напряжением до 35 кВ. Гл. П-5. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1000 В.- М.: Атомиздат, 2020. - 96 с.
9. Справочник по проектированию подстанций 35-500 кВ. Под ред. С.С. Рокотяна и Я.С. Самойлова.- М.: Энергоиздат, 1982.-352 с.
10. Электротехнический справочник: в 3-х т. Т.2. Электротехнические устройства / Под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. - М.: Энергоиздат, 1981.- 640 с.
11. Блок В.М. Электрические сети и системы. - М.: Высшая школа. 1986. - 430 с.
12. Ананичева, С. С. Электроэнергетические системы и сети. Примеры и задачи : учебное пособие для вузов / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг ; под научной редакцией Е. Н. Котовой. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 177 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-07672-1 (Издательство Юрайт). — ISBN 978-5-7996-1784-4 (Изд-во Урал. ун-та). — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/442040> (дата обращения: 08.10.2019).
13. Электроэнергетические системы и сети : лабораторный практикум / Ю. Г. Кононов, Н. Н. Кононова, В. Е. Мартусенко [и др.]. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2017. — 161 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/83238.html> (дата обращения: 08.10.2019).
14. Максимов В. П. Электроэнергетические системы и сети: Учебно-методическое пособие выполнения лабораторных работ. – Южно-Сахалинск: изд-во СахГУ, 2015. – 60 с.