

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



«Кадры для регионов»



*ФГБОУ ВО «Амурский
государственный университет»*

*Методические указания подготовлены в рамках реализации
проекта о подготовке высококвалифицированных кадров для
предприятий и организаций регионов («Кадры для регионов»)*

Н.В. Савина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Методические указания к практическим занятиям

Благовещенск
Издательство АмГУ
2017

ББК 31.27я73
П 79

Печатается по решению
редакционно-издательского
совета
Амурского государственного
университета

Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ПАО «Федеральная сетевая компания Единой электроэнергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС»)

Рецензенты:

П.С. Радин, заместитель начальника Южно-Якутского РЭС Амурского ПМЭС филиала ПАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Востока.

Д.А. Теличенко, доцент кафедры АППиЭ ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет» (АмГУ, г. Благовещенск), канд. техн. наук.

П79 Савина Н.В. Проектирование развития электроэнергетических систем и электрических сетей [Электронный ресурс] : метод. указания к практ. занятиям магист. направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» / Н. В. Савина ; АмГУ – 2-е изд., испр. и доп. – Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. – 65 с.

Методические указания к практическим занятиям предназначены для подготовки магистров по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», магистерской программе «Электроэнергетические системы и сети». Рассмотрены практические аспекты проектирования развития электроэнергетических систем и электрических сетей, выбора экономически целесообразных вариантов проектирования электроэнергетических систем и сетей, в том числе с применением инновационных технологий и компонентов в электросетевых комплексах.

В авторской редакции.

ББК 31.27я73
©Амурский государственный университет, 2017
©Савина Н.В., 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Требования к изучаемой дисциплине	5
1.1 Цели и задачи практических занятий	5
1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины	8
1.3 Перечень тем и трудоемкость практических занятий	10
2 Методика проведения практических занятий	13
2.1 Практические занятия по теме «Подготовка к проектированию и организация проектирования объектов и электрических сетей ЭЭС»	13
2.2 Практическое занятие по теме «Определение перспективных вероятностных характеристик активной и реактивной мощности узлов нагрузки. Выбор климатических и географических характеристик для проектирования ЭЭС»	18
2.3 Практическое занятие по теме «Разработка вариантов конфигурации электрических сетей при их развитии. Технический анализ вариантов конфигурации электрических сетей»	20
2.4 Практическое занятие по теме «Выбор классов номинального напряжения вновь вводимых участков сети»	23
2.5 Практическое занятие по теме «Выбор мощности и мест размещения средств компенсации реактивных нагрузок в проектируемой сети»	25
2.6 Практическое занятие по теме «Проектирование линий электропередачи»	27
2.7 Практическое занятие по теме «Проектирование подстанций»	30
2.8 Практическое занятие по теме «Определение потерь электроэнергии при ее транспорте на этапе проектирования объектов систем электроэнергетики»	34
2.9 Практическое занятие по теме «Учет надежности при проектировании развития ЭЭС»	37
2.10 Практическое занятие по теме «Расчёт и анализ показателей экономической эффективности при проектировании развития электроэнергетической системы»	38
2.11 Практическое занятие по теме «Учет надежности при проектировании развития ЭЭС»	41
2.12 Практическое занятие по теме «Повышение экономичности режимов в проектируемой электрической сети»	44
2.13 Темы и примеры индивидуальных заданий	46
3 Примеры выполнения типовых заданий	50
3.1 Определение вероятностных характеристик графиков электрических нагрузок и режимных характеристик потребителей электрической сети	50
3.2 Повышение надежности электрической сети путем организации неполнофазного режима	52
3.3 Повышение экономичности режима путем компенсации реактивной мощности	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания для практических занятий магистрантов предназначены для подготовки магистров по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», магистерской программе «Электроэнергетические системы и сети». Методические указания предназначены для оказания помощи магистрантам в получении необходимых дополнительных знаний по проектированию развития электроэнергетических систем и электрических сетей. В методических указаниях даны структура, задания и методика реализации всех видов практических занятий в соответствии с рабочей программой дисциплины.

На практических занятиях магистранты приобретают умения и навыки выбора экономически целесообразных вариантов проектирования электроэнергетических систем (ЭЭС) и сетей, в том числе с применением инновационных технологий и компонентов в электроэнергетике. Изучают стратегию и основные направления модернизации, реконструкции и развития электроэнергетических систем и электрических сетей, знакомятся с Федеральными целевыми программами, региональными энергетическими программами, научно-исследовательскими работами в области электроэнергетики. Магистранты в процессе практических занятий также знакомятся с видами проектных работ, стадийностью проектирования и составом проектной документации, требованиями к объему и содержанию всех видов работ по проектированию ЭЭС, осваивают порядок проектирования электроэнергетических систем и электрических сетей, учатся проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений в электроэнергетике.

Актуальным и эффективным способом приобретения практических навыков проектирования развития электрических сетей является выполнение индивидуальных заданий, ответы на проблемно-ориентированные вопросы, защита собственных проектных решений в предметной области.

1 ТРЕБОВАНИЯ К ИЗУЧАЕМОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

При практической работе над разделами теоретического курса магистрантам необходимо:

изучить дополнительные материалы по программе теоретического курса в соответствии с индивидуальным планом подготовки составленным дополнительно к учебно-тематическому плану учебной дисциплины;

выполнить необходимые практические работы согласно программе дисциплины;

подготовить устные ответы на контрольные вопросы, приведенные после каждой темы;

выполнить индивидуальные задания;

пройти тестирование.

Темы на индивидуальные задания, а также их варианты (по уровню сложности) преподаватель выдает магистрантам на консультациях после собеседования с ними или входного контроля.

1.1 Цели и задачи практических занятий

Информация из ФГОС ВО, относящаяся к дисциплине

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к следующим видам профессиональной деятельности выпускника:

- производственно-технологическая деятельность;
- проектно-конструкторская деятельность;
- научно-исследовательская деятельность.

Дисциплина направлена на подготовку магистра к решению следующих профессиональных задач:

а) производственно-технологическая деятельность:

- разработка норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии;
- выбор оборудования и технологической оснастки;
- оценка экономической эффективности технологических процессов, ин-

новационно-технологических рисков при внедрении новой техники и технологий;

- разработка мероприятий по эффективному использованию энергии и сырья;

- выбор методов и способов обеспечения экологической безопасности производства;

б) проектно-конструкторская деятельность:

- разработка и анализ обобщенных вариантов решения проблемы;

- прогнозирование последствий принимаемых решений;

- нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности и неопределенности;

- планирование реализации проекта;

- оценка технико-экономической эффективности принимаемых решений;

в) научно-исследовательская деятельность:

- анализ состояния и динамики показателей качества объектов деятельности с использованием

- необходимых методов и средств исследований;

- создание математических моделей объектов профессиональной деятельности;

- разработка планов и программ проведения исследований;

- анализ и синтез объектов профессиональной деятельности;

- организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований;

- формирование целей проекта (программы), критериев и показателей достижения целей,

- построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач.

Цели и задачи освоения дисциплины

Целями дисциплины «Проектирование развития электроэнергетических

систем и электрических сетей» являются формирование систематизированных знаний, умений и профессиональных компетенций в области проектирования развития электроэнергетических систем и электрических сетей, приобретение магистрантами навыков выбора экономически целесообразных вариантов проектирования электроэнергетических систем (ЭЭС) и сетей, в том числе с применением инновационных технологий и компонентов в электроэнергетике.

Задачи дисциплины:

- Изучение научных основ построения современных электроэнергетических систем, их проектирования, принципов и методов реализации оптимальных технических решений при проектировании развития электроэнергетических систем.

- Изучение нормативно-технической документации в области проектирования электроэнергетических систем и электрических сетей;

- Освоение методов выбора основных проектных решений и технико-экономического обоснования принятых решений при развитии ЭЭС;

- Овладение алгоритмами проектирования электроэнергетических систем и сетей, расчета установившихся режимов сложных электроэнергетических систем;

- Формирование профессиональных и исследовательских навыков по проектированию развития ЭЭС и электроэнергетических объектов.

Целями практических занятий является формирование профессиональных и исследовательских навыков по проектированию развития электроэнергетических систем и электрических сетей.

Задачи практических занятий:

- изучение нормативно-технической документации по проектированию ЭЭС, электрических сетей, подстанций, линий электропередачи и применение полученных знаний при проектировании;

- формирование практических навыков по проектированию развития ЭЭС и электрических сетей;

- освоение методов и алгоритмов проектирования ЭЭС и электрических сетей, расчета и анализа установившихся режимов и применение их на практике;
- получение навыков в применении к реальным объектам научных основ построения ЭЭС и электрических сетей, в реализации оптимальных технических решений, инновационных технологий и оборудования последнего поколения при проектировании объектов и систем электроэнергетики;
- формирование навыков в компенсации реактивной мощности и управлении потоками реактивной мощности, регулировании напряжения;
- освоение методами и алгоритмами технико-экономического обоснования вариантов развития ЭЭС и электрических сетей.

1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины обучающийся формирует и демонстрирует обладание следующими профессиональными компетенциями:

готовностью проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений (ПК-5);

способностью формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства (ПК-6);

способностью выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности (ПК-9);

способностью осуществлять технико-экономическое обоснование проектов (ПК-11).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

современные достижения науки и передовой технологии в области электроэнергетики; нормативно-техническую документацию, регламентирующую работу электроэнергетических объектов и систем и используемую при их про-

ектировании, методы проведения экспертизы проектно-конструкторских и новых технологических решений (ПК-5);

методы расчета режимов ЭЭС, в том числе с помощью программно-вычислительных комплексов, и их анализа (ПК-6);

типы и характеристики электрооборудования, используемого при проектировании; организацию и порядок проектирования ЭЭС и их объектов (ПК-9);

критерии и методики выбора и обоснования проектных решений (ПК-11);

2) Уметь:

осуществлять экспертизу проектной документации, новых технологических решений (ПК-5);

формулировать технические задания на проектирование объектов ЭЭС при их развитии, использовать программно-вычислительные комплексы для расчета режимов ЭЭС (ПК-6);

использовать нормативные документы и методические указания по проектированию развития электроэнергетических систем; проектировать электроэнергетические объекты, электрические сети и ЭЭС при их развитии, с использованием современного оборудования, методов и технологий проектирования (ПК-9);

подбирать, готовить и анализировать исходную информацию для проектирования развития ЭЭС и электрических сетей; обоснованно выбирать вариант развития ЭЭС и электрических сетей (ПК-11);

3) Владеть навыками:

работы со справочной литературой и проектной документацией, ее экспертизы (ПК-5);

стратегического видения целей и задач развития электроэнергетики; применения достижений отечественной и зарубежной науки и техники при проектировании развития ЭЭС и электрических сетей; составления и анализа технического задания на проектирование (ПК-6);

использования методов проектирования ЭЭС и сопоставления вариантов, выполнения проектных работ по развитию объектов ЭЭС (ПК-9);

технико-экономического обоснования проектов по развитию электроэнергетических систем и электрических сетей (ПК-11).

1.3. Перечень тем и трудоемкость практических занятий

План и виды занятий

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 академических часов.

№ п/п	Тема (раздел) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды контактной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в академических часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра). Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				ЛК	ПЗ	СР, в том числе КП	
1	Организация проектирования развития электроэнергетических систем и электрических сетей	3	1-4	6	6	10	3 неделя – блиц-опрос на лекции; 2,4 недели – опрос на практическом занятии.
2	Основы инженерного проектирования развития систем и технических объектов электроэнергетики	3	5-14	22	22	42 36	5,7,9,11,13 недели - блиц-опрос на лекции; 6,8,10,12 недели - опрос на практическом занятии; защита практических заданий; 6,8,10,12 недели – контроль хода выполнения курсового проекта 14 неделя – защита курсового проекта
4	Промежуточная аттестация	3				36	Экзамен

Примечания:

ЛК – лекции, ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы, КП – курсовой проект; СР – самостоятельная работа.

Практические занятия проводятся с целью закрепления знаний, полученных при изучении теоретического курса, приобретения навыков их применения при исследовании электроэнергетических систем и их подсистем. Задания, рассматриваемые на практических занятиях, адаптированы к электроэнергетической системе и основаны на реальных схемах объектов и систем электро-

энергетики. На практических занятиях каждому магистранту выдаются индивидуальные задания.

На практических занятиях магистранты учатся:

- анализировать схемы электрических сетей;
- выполнять расчёты нормальных и послеаварийных режимов при предоставлении полного объема исходных данных и при неполноте (некорректности) исходной информации;
- применять организационные и технические мероприятия с целью улучшения режимных параметров;
- решать оптимизационные вопросы;
- рассчитывать потери электроэнергии и снижать их уровень;
- регулировать режим напряжений и распределение реактивной мощности в электрических сетях;
- уметь решать вопросы компенсации реактивной мощности;
- проводить разработку мероприятий по снижению потерь энергии, качеству электрической энергии;
- оценивать экономичность работы сетей.
- разрабатывать варианты развития электрических сетей и выбирать оптимальный.

Тематика практических занятий приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1. – Перечень тем практических занятий

№ п/п.	Наименование темы	Кол-во акад. часов
1.	Подготовка к проектированию и организация проектирования объектов и электрических сетей ЭЭС	6
2.	Определение перспективных вероятностных характеристик активной и реактивной мощности узлов нагрузки. Выбор климатических и географических характеристик для проектирования ЭЭС	2
3.	Разработка вариантов конфигурации электрических сетей при их развитии. Технический анализ вариантов конфигурации электрических сетей	2
4.	Выбор классов номинального напряжения вновь вводимых участков сети	2
5.	Выбор мощности и мест размещения средств компенсации реактивных нагрузок в проектируемой сети	2
6.	Проектирование линий электропередачи	2
7.	Проектирование подстанций	2

№ п/п.	Наименование темы	Кол-во акад. часов
8.	Определение потерь электроэнергии при ее транспорте на этапе проектирования объектов систем электроэнергетики	2
9.	Учет надежности при проектировании развития ЭЭС	2
10.	Расчёт и анализ показателей экономической эффективности при проектировании развития электроэнергетической системы	2
11.	Расчет и анализ режимов электрических сетей при их проектировании	2
12.	Повышение экономичности режимов в проектируемой электрической сети	2

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1. *Практические занятия по теме «Подготовка к проектированию и организация проектирования объектов и электрических сетей ЭЭС»*

На указанную тему проводится три практических занятия согласно рабочей программе дисциплины.

Цель: формирование у магистрантов практических навыков в подготовке к проектированию и организации работ по проектированию ЭЭС, электрических сетей и их объектов.

Основные понятия: программа обновления объектов электроэнергетики, проектные работы, научно-исследовательские работы, схема и программа развития, модернизация, реконструкция, развитие.

Вопросы к практическим занятиям:

1. Основные направления модернизации, реконструкции и развития электроэнергетических систем и электрических сетей.
2. Проектная, нормативная и иная документация, используемая при проектировании развития ЭЭС.
3. Организация работ по проектированию ЭЭС и электрических сетей.

План проведения занятий:

1. Знакомство с рабочей программой дисциплины, ее целями, задачами и содержанием, образовательными технологиями, итоговой формой контроля; определение ее места в образовательной программе направления подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника.

2. Достижения отечественной и зарубежной науки и техники, использование которых целесообразно при развитии ЭЭС. Стратегия и основные направления развития ЭЭС и электрических сетей.

3. Программы и документация, используемые при проектировании развития ЭЭС.

4. Организация проектирования ЭЭС и электрических сетей.

5. Проверка усвоенных в ходе самостоятельной работы основных понятий и определений теории систем и их прикладного применения к электроэнергетическим системам.

6. Входной контроль знаний, сбор ожиданий и предложений.

Методические рекомендации

1. Знакомство с рабочей программой дисциплины проводится в ходе объяснения и обсуждения. Текст рабочей программы дисциплины должен быть представлен в виде мультимедийной презентации и загружен в ноутбуки мобильного компьютерного класса для использования в течение времени изучения дисциплины. Рекомендуется каждому магистранту иметь свой экземпляр рабочей программы дисциплины, который будет «путеводителем», дидактическим материалом и «шпаргалкой».

На этом этапе работы важно продемонстрировать магистрантам, какие свои потребности они смогут удовлетворить в ходе изучения дисциплины, что они приобретут в результате проведения практических занятий, какие компетенции приобретут в целом после изучения дисциплины, объяснить, что для этого предстоит сделать. Необходимо, чтобы у них сложилось четкое представление о «правилах игры» и была создана положительная познавательная мотивация. Также необходимо раскрыть роль и содержание самостоятельной работы в ходе изучения дисциплины.

2. Обсуждение достижений отечественной и зарубежной науки и техники, использование которых целесообразно при развитии ЭЭС, стратегии и основных направлений развития ЭЭС и электрических сетей проходит в интерактивном режиме. При этом делается акцент на важность их изучения, на целесообразность применения при проектировании развития ЭЭС и электрических сетей, объясняется их важность. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны связать основные достижения науки и техники в области электроэнергетики и в смежных областях, основные направления и стратегию развития электроэнергетики с вопросами проектирования развития и организации работ по проектированию развития ЭЭС и электрических сетей. Ито-

гом этих трех практических занятий должно являться четкое понимание важности этапа подготовки к проектированию ЭЭС, электрических сетей и их объектов, получение практических навыков и умений в области организации работ по проектированию развития ЭЭС и электрических сетей.

3. Ознакомление с программами и документацией, используемыми при проектировании развития ЭЭС и электрических сетей проходит в форме дискуссии под руководством преподавателя. При этом рассматриваются: программа обновления объектов электроэнергетики на перспективный период, Федеральные целевые программы, региональные энергетические программы, проектные и научно-исследовательские работы по вопросам развития электроэнергетики, внестадийные работы, отчетные данные и информация по перспективам функционирования и развития, предоставляемая субъектами рынка энергии и мощности. Более детально обсуждаются схемы и программы развития (СиПР) регионов, виды проектных работ. Затем каждому магистранту выдается индивидуальное задание, над которым он работает самостоятельно.

4. Организация проектирования ЭЭС и электрических сетей рассматривается на примере объектов ОЭС Востока и электроэнергетической системы Амурской области. Магистрант осваивает навыки организации работ по проектированию ЭЭС и электрических сетей. При этом в процессе дискуссии под руководством модератора определяется порядок проектирования электроэнергетических систем, рассматриваются сущность, особенности, структура и методы проектирования развития ЭЭС, виды проектных работ. Определяются стадийность проектирования и состав проектной документации, требования к объему и содержанию всех видов работ по проектированию энергосистем. Магистранты изучают форму документа «Технические условия на технологическое подключение электроэнергетических объектов к электрическим сетям» и порядок выдачи заданий на проектирование, согласования и утверждения проектов. В качестве индивидуального задания на команду (состав 2-3 человека) выдается задание на тему «Формулировка и написание технического задания на проектирование объектов и подсистем ЭЭС».

5. Проверку того, насколько точно определены и хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы основные вопросы практических занятий, можно произвести в форме деловой игры или собеседования.

6. Входной контроль необходим, чтобы понять на какую базовую подготовку необходимо опираться в организации учебного процесса с данной академической группой. Это возможно путем использования тестов, включающих вопросы на проверку остаточных знаний, вопрос на интеллект, творческие способности, задания для проверки входного уровня формируемых в ходе изучения дисциплины компетенций, либо путем собеседования.

Ожидания и предложения по изучению дисциплины магистранты сдают преподавателю, который их комментирует на следующем занятии.

Отчетные материалы:

1. В качестве отчетных материалов представляются рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.

2. Выполненные и надлежащим образом оформленные индивидуальные задания.

3. Материалы входного контроля.

4. Материалы итогового контроля по каждому практическому занятию.

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите основные направления модернизации, реконструкции и развития электроэнергетических систем и электрических сетей.

2. Приведите основные положения Энергетической стратегии России на долгосрочный период и дайте их характеристику.

3. В чем заключается программа обновления объектов электроэнергетики на перспективный период, какими документами она утверждается?

4. Дайте характеристику Федеральных целевых программ в области электроэнергетики, приведите примеры региональных энергетических программ, их назначение.

5. На какие виды и задачи профессиональной деятельности выпускника по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника» ориентировано изучение дисциплины «Проектирование развития электроэнергетических систем и электрических сетей» и почему?

6. Какие компетенции должны быть сформированы в ходе изучения дисциплины?

7. Перечислите виды проектных работ, стадийность проектирования и состав проектной документации. Дайте им характеристику.

8. Что понимается под внестадийной работой?

9. Какими отчетными данными по перспективам функционирования и развития, предоставляемыми субъектами рынка, можно пользоваться при проектировании в области электроэнергетики.

10. Как организовать работу по проектированию развития ЭЭС?

11. Охарактеризуйте сущность, особенности, структуру и методы проектирования развития ЭЭС.

12. Каковы требования к объему и содержанию всех видов работ по проектированию энергосистем.

13. Приведите пример формулировки технического задания на проектирование объектов и подсистем ЭЭС.

14. Что входит в «Технические условия на технологическое подключение электроэнергетических объектов к электрическим сетям», кто их выдает?

15. Каков порядок выдачи заданий на проектирование, согласования и утверждения проектов?

16. Какие средства автоматизации применяют при проектировании и технологической подготовке производства?

17. Перечислите особенности разработки схем развития электроэнергетических систем регионов, электрических сетей, объектов электроэнергетики.

18. Какая нормативно-техническая документация используется при проектировании развития электроэнергетических систем и электрических сетей?

2.2. Практическое занятие по теме «Определение перспективных вероятностных характеристик активной и реактивной мощности узлов нагрузки. Выбор климатических и географических характеристик для проектирования ЭЭС»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: научиться определять вероятностные характеристики нагрузки, выбирать климатические и географические характеристики для проектирования ЭЭС и электрических сетей, проводить структурный анализ существующей сети и ее потребителей.

Основные понятия: график электрических нагрузок, вероятностные характеристики, узел нагрузки, климатическая характеристика, географическая характеристика, район проектирования

Вопросы к практическому занятию:

1. Анализ графиков электрических нагрузок (ГЭН).
2. Характеристика района проектирования.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Определение перспективных нагрузок при проектировании, вероятностных характеристик ГЭН.
3. Характеристика района проектирования при развитии электрических сетей.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение необходимых исходных данных для проектирования и их анализ проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны определить состав исходных информации, необходимой для проектирования развития ЭЭС и электрических сетей, источники ее получения, полноту и достоверность исходных данных, методы и способы представления этой информации для реализации проектных работ. Должно быть усвоено практическое применение анализа электрических нагрузок.

зок, обработки ГЭН, получены навыки в описании и анализе района проектирования. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание методики прогнозирования электрических нагрузок, определения вероятностных характеристик ГЭН, того, в чем заключается характеристика района проектирования.

2. Определение перспективных нагрузок при проектировании, вероятностных характеристик ГЭН проводится вначале на примере результатов контрольных замеров одного из объектов электроэнергетики Дальнего Востока под руководством преподавателя, затем каждому магистранту выдается индивидуальное задание, над которым он работает самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. При проведении практического занятия магистранты под руководством преподавателя учатся характеризовать район проектирования при развитии электрических сетей, рассматривая при этом необходимы климатические и географические характеристики, проводя структурный анализ электрической сети, анализируя особенности основных потребителей района, необходимы при разработке схем электрических сетей. Проверку того, насколько точно определены и хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы методические подходы к характеристике района проектирования электрической сети, можно произвести в форме деловой игры или в виде дискуссии.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы для самопроверки:

1. Как определяют балансы электрической энергии и мощности, и с какой целью?
2. Каким образом описывают электрические нагрузки при проектировании электроэнергетических систем? Как определяют перспективные нагрузки?
3. Как спрогнозировать ГЭН при разных способах задания нагрузки?
4. С какой целью, и каким образом определяют вероятностные характеристики ГЭН?
5. Назовите основные положения характеристики района проектирования при развитии ЭЭС.
6. Что входит в климатическую и географическую характеристику района? С какими разделами проекта соотносится эта информация?
7. Приведите методику и порядок структурного анализа существующей сети и возможных источников питания
8. Что входит в характеристику потребителей электроэнергии.
9. Как и с какой целью проводится анализ схемно-режимной ситуации района проектирования?

2.3. Практическое занятие по теме «Разработка вариантов конфигурации электрических сетей при их развитии. Технический анализ вариантов конфигурации электрических сетей»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: получить практические навыки по разработке и техническому анализу вариантов конфигурации электрических сетей при их развитии.

Основные понятия: режимы, конфигурация, электрическая схема, технический анализ, конкурентоспособный вариант, развитие, проектирование, принципы построения электрической сети.

Вопросы к практическому занятию:

1. Разработка вариантов конфигурации электрических сетей.
2. Технический анализ вариантов развития электрической сети.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Методика разработки вариантов конфигурации электрических сетей.
3. Порядок и назначение технического анализа вариантов развития электрической сети.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы разработки технически возможных вариантов конфигурации электрической сети при ее развитии проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны понять методику разработки технически осуществимых вариантов развития электрических сетей, усвоить принципы построения конфигурации электрической сети. Должны быть получены навыки в учете режимов работы электростанций при проектировании развития электроэнергетических систем, приобретены навыки технического анализа вариантов развития электрической сети. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание принципов разработки вариантов развития электрических сетей, приобретение умений в проведении технического анализа вариантов конфигурации действующей электрической сети при ее развитии.

2. Разработка вариантов конфигурации электрических сетей проводится вначале на примере действующего участка электрической сети Дальнего Востока под руководством преподавателя, затем каждому магистранту выдается индивидуальное задание, над которым он работает самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. При проведении практического занятия магистранты под руководством преподавателя приобретают навыки проведения технического анализа вариантов развития действующей электрической сети, при этом предполагается работа в команде из двух-трех человек в виде деловой игры. Проверку того, насколько точно определены и хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы принципы и порядок технического анализа вариантов

развития электрической сети, можно произвести в форме в виде дискуссии или собеседования.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. С какой целью разрабатывают и анализируют несколько вариантов развития электрической сети?
2. Перечислите и охарактеризуйте принципы построения электрической сети.
3. Почему необходимо учитывать режимы работы действующих электрических станций в районе проектирования развития электрической сети?
4. Приведите порядок разработки варианта конфигурации электрической сети.
5. Что понимается под технически осуществимым вариантом электрической сети?
6. Что понимается под конкурентоспособным вариантом развития электрической сети?
7. Покажите порядок проведения технического анализа вариантов конфигурации электрической сети на конкретном примере.
8. Сколько вариантов развития электрической сети целесообразно оставить после технического анализа и почему?
9. Какие технические критерии и ограничения учитываются при техническом анализе вариантов развития электрической сети?

2.4. Практическое занятие по теме «Выбор классов номинального напряжения вновь вводимых участков сети»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: получить практические навыки по выбору номинального напряжения новых участков электрической сети при ее развитии.

Основные понятия: номинальное напряжение, участок сети, активная мощность, длина линии.

Вопрос к практическому занятию:

1. Методические подходы к выбору номинального напряжения электрической сети при ее развитии.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Методы и способы определения рационального напряжения электрической сети.
3. Порядок выбора номинального напряжения электрической сети при ее развитии.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы выбора номинального напряжения электрической сети при ее развитии проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны освоить на углубленном уровне методы и способы определения номинального напряжения вновь вводимых участков электрической сети, усвоить принципы сочетания разных классов номинального напряжения при оптимальном развитии электрической сети. Должны быть получены навыки выбора номинального напряжения электрической сети при ее развитии не только на новых участках, но и на действующих, исходя из принципа обеспечения оптимального сочетания номинального напряжения, передаваемой мощностей и длины участка сети. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание значимости про-

блемы выбора номинального напряжения для обеспечения оптимального варианта развития электрических сетей.

2. Методы и способы определения рационального напряжения электрической сети рассматриваются на примере действующей электрической сети Дальнего Востока под руководством преподавателя, затем каждому магистранту выдается индивидуальное задание, над которым он работает самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Порядок выбора номинального напряжения электрической сети при ее развитии магистрантами осваивается с помощью проектного метода. Группа разбивается на команды, и каждой команде выдается электрическая сеть, выбирается оптимальное номинальное напряжение при подключении новых участков. Проверку того, насколько хорошо усвоены методика и порядок выбора номинального напряжения при развитии электрической сети в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в форме в виде дискуссии или деловой игры.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Перечислите эмпирические формулы выбора рационального напряжения, проведите их анализ. В чем заключаются недостатки этих формул.

2. Как пользоваться номограммами при выборе номинального напряжения участка электрической сети?

3. Перечислите все возможные способы определения номинального напряжения электрической сети и проведите их сравнительный анализ

4. Приведите порядок выбора номинального напряжения электрической сети при ее развитии. Какие факторы нужно учитывать?

5. Как свойства электрических сетей влияют на выбор номинального напряжения?

2.5. Практическое занятие по теме «Выбор мощности и мест размещения средств компенсации реактивных нагрузок в проектируемой сети»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: освоить методику оптимального выбора мощности и мест размещения компенсирующих устройств разного типа в проектируемой сети.

Основные понятия: реактивная мощность, напряжение, компенсирующее устройство, электрическая сеть.

Вопросы к практическому занятию:

1. Компенсация реактивной мощности в электрической сети.
2. Регулирование напряжения посредством компенсации реактивной мощности.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Продольная и поперечная компенсация реактивной мощности в электрической сети.
3. Выбор оптимальной мощности и места расположения компенсирующих устройств при проектировании развития электрической сети.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы управления потоками реактивной мощности и регулирования напряжения в электрической сети при ее развитии проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора понимают значимость указанной проблемы, ее влияние на надеж-

ность и эффективность функционирования электрической сети, приходят к выводу, что эту проблему лучше решать на этапе проектирования. Магистрантами должны быть получены навыки оптимального выбора типа, мощности и места установки компенсирующих устройств с целью обеспечения оптимальных перетоков реактивной мощности и уровней напряжения в узлах сети. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание значимости проблемы компенсации реактивной мощности для обеспечения оптимального варианта развития электрических сетей и путей ее решения.

2. Продольная и поперечная компенсация реактивной мощности рассматриваются на примере развития действующей электрической сети Дальнего Востока под руководством преподавателя, затем каждому магистранту выдается индивидуальное задание, над которым он работает самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Выбор оптимальной мощности и места расположение компенсирующих устройств при проектировании развития электрической сети магистрантами осваивается с помощью проектного метода. Рассматривается решение указанной задачи как часть комплексного задания по проектированию развития заданного участка сети. Возможен вариант выполнения этого задания по тематике курсового проекта. Проверку того, насколько хорошо усвоена методика выбора оптимальной мощности и места расположения компенсирующих устройств при проектировании развития электрической сети в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в форме в виде дискуссии или деловой игры.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите нормативные документы, относящиеся к компенсации реактивной мощности, и дайте и краткую характеристику.
2. Обоснуйте необходимость компенсации реактивной мощности.
3. Назовите естественные коэффициенты мощности для основных групп потребителей Амурской области.
4. Какие три задачи компенсации реактивной мощности Вы знаете? В чем их суть, какова область применения каждой из задач.
5. Методика и алгоритм поперечной компенсации реактивной мощности.
6. Методика и алгоритм продольной компенсации реактивной мощности.
7. Как выбрать компенсирующие устройства для регулирования уровня напряжения в сети?
8. Методика и алгоритм выбора оптимальной мощности и места расположения компенсирующих устройств при проектировании развития электрической сети.
9. Перечислите технические средства, используемые для компенсации реактивной мощности, дайте их краткую характеристику и проведите их сравнительный анализ.

2.6. Практическое занятие по теме «Проектирование линий электропередачи»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: рассмотреть вопросы проектирования линий электропередачи при развитии электрических сетей, получить практические навыки по проектированию линий электропередачи.

Основные понятия: воздушная линия, кабельная линия, кабельно-воздушная линия, сечение, экономические токовые интервалы, экономическая плотность тока, нагрев, длительно-допустимый ток.

Вопросы к практическому занятию:

1. Выбор сечений линий электропередачи.
2. Конструктивное исполнение линий электропередачи. Порядок проектирования линий.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Методы выбора сечений проводников и их сравнение.
3. Порядок проектирования кабельных и воздушных линий.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение вопросов проектирования линий электропередачи проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора рассматривают этапы проектирования воздушных и кабельных линий электропередачи, осваивают методы выбора сечений проводников и области их применения, приходят к выводу о целесообразности совершенствования этих методов для линий нового поколения. Магистрантами должны быть получены навыки выбора конструктивного исполнения воздушных, кабельных линий, изолированных воздушных линий, кабельно-воздушных линий с учетом инновационных компонентов этих линий. Последовательно рассматривая проблему выбора сечения линий, магистранты должны понять, что выбор сечения непосредственно влияет на надежности и экономичность функционирования линий. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание как проектировать линии электропередачи различного конструктивного исполнения.

2. Изучение методов выбора сечений проводников начинается с постановки проблемы и истории их развития. Под руководством преподавателя магистранты анализируют алгоритмы каждого из методов выбора сечений, их об-

ласть применения, достоинства и недостатки, получают практические навыки по выбору сечений линий различного конструктивного исполнения путем выполнения индивидуального задания, над которым работают самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Порядок проектирования кабельных и воздушных линий магистрантами осваивается с помощью проектного метода. Вначале рассматриваются и анализируются различные конструкции проводов и опор воздушных линий, конструкции кабельных линий. Затем изучаются этапы и особенности проектирования каждого типа линий. Решение указанной задачи рассматривается как часть комплексного задания по проектированию развития заданного участка сети. Возможен вариант выполнения этого задания по тематике курсового проекта. Проверку того, насколько хорошо усвоены этапы и алгоритмы проектирования линий электропередачи в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в виде дискуссии или деловой игры. При этом магистрантам предлагается свое выступление провести с помощью презентации.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите все возможные варианты конструктивного исполнения линий электропередачи.
2. Приведите краткую характеристику основных компонентов воздушной линии.

3. Приведите краткую характеристику конструктивного исполнения кабелей высокого напряжения.

4. В чем преимущества и недостатки кабелей со СПЭ-изоляцией?

5. С какой целью стали применять кабельно-воздушные линии и как конструктивно осуществляется соединений воздушной и кабельной части?

6. Приведите краткую характеристику самонесущих изолированных проводов (СИП). Конструктивное исполнение СИП и области применения.

7. В чем сущность метода экономической плотности тока? Его достоинства и недостатки.

8. В чем сущность метода экономических токовых интервалов? Его достоинства и недостатки, область применения и алгоритм.

9. Как выбрать проводник по нагреву длительно-допустимым током? Сущность метода, область применения, достоинства и недостатки.

10. Перечислите основные этапы проектирования линий электропередачи и дайте их краткую характеристику.

2.7. Практическое занятие по теме «Проектирование подстанций»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: рассмотреть этапы проектирования подстанций и освоить их реализацию.

Основные понятия: подстанция, схема, силовой трансформатор (автотрансформатор), распределительное устройство, конструкция подстанции, оборудование и аппараты подстанции.

Вопросы к практическому занятию:

1. Выбор схемы и конструктивного исполнения подстанции.
2. Выбор и проверка силовых трансформаторов (автотрансформаторов), оборудования подстанции.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Требования к электрическим схемам подстанций и методические подходы к выбору схемы подстанции, ее конструктивному исполнению.

3. Этапы проектирования подстанций.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение вопросов проектирования подстанций проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора рассматривают этапы проектирования подстанций, осваивают методические подходы к оптимальному выбору схемы и конструктивного исполнения подстанций, приходят к выводу о целесообразности применения на подстанциях оборудования и технологий нового поколения. Магистрантами должны быть получены навыки выбора схем распределительных устройств подстанции, силовых трансформаторов, силового оборудования с учетом инновационного оборудования. Последовательно рассматривая этапы проектирования подстанций, магистранты должны понять, что правильный выбор ее схемы и оборудования влияет на надежность и экономичность функционирования электрических сетей. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание как проектировать подстанции.

2. Рассматривая проблему выбора схемы и конструктивного исполнения подстанций, магистранты под руководством преподавателя анализируют типовые схемы распределительных устройств, возможные компоновки подстанций, возможные конструктивные исполнения, получают практические навыки по выбору схемы и конструктивного исполнения подстанции путем выполнения индивидуального задания, над которым работают самостоятельно. Возможно совмещение индивидуального задания с выполнением курсового проекта. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Этапы проектирования подстанций и их реализация магистрантами осваиваются с помощью проектного метода. Вначале выбираются и проверяются силовые трансформаторы (автотрансформаторы), при этом делается акцент на их технических характеристиках, обеспечивающих экономичный режим работы трансформатора. Затем последовательно осваивается каждый этап проек-

тирования подстанции, изучаются особенности его реализации. При выборе оборудования и электрических аппаратов предпочтение отдается оборудованию и технологиям проектирования последнего поколения. Решение указанной задачи рассматривается как часть комплексного задания по проектированию развития заданного участка сети. Возможен вариант выполнения этого задания по тематике курсового проекта. Проверку того, насколько хорошо усвоены этапы и алгоритмы проектирования подстанций в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в виде дискуссии или деловой игры. При этом магистрантам предлагается свое выступление провести с помощью презентации.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите все возможные варианты конструктивного исполнения подстанций.
2. Приведите краткую характеристику каждого варианта конструктивного исполнения подстанций.
3. Проведите сравнительный анализ подстанций контейнерного типа, модульного исполнения, закрытого и открытого исполнения, в виде КРУЭ.
4. Какие факторы влияют на выбор силовых трансформаторов, их количества, конструктивного исполнения?
5. Как выбрать оптимальную мощность трансформатора при проектировании?

6. Приведите краткую характеристику каждого этапа проектирования подстанции.

7. Как правильно выбрать схему распределительного устройства?

8. Приведите алгоритмы выбора и проверки силового оборудования подстанции.

9. Какие электрические аппараты необходимо предусмотреть при проектировании подстанции и почему?

2.8. Практическое занятие по теме «Определение потерь электроэнергии при ее транспорте на этапе проектирования объектов систем электроэнергетики»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: получить практические навыки по определению потерь электроэнергии на этапе проектирования электрической сети.

Основные понятия: транспорт электроэнергии, потери электроэнергии, элементы электрической сети.

Вопросы к практическому занятию:

1. Определение потерь электроэнергии в электрической сети.
2. Влияние потерь электроэнергии на выбор экономически целесообразного варианта развития электрической сети.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Методика расчета потерь электроэнергии в элементах сети и в сети в целом.
3. Структурный анализ потерь электроэнергии.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы определения потерь электроэнергии на этапе проектирования электрической сети проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора определяют в каких элементах электрической сети целесообразно учитывать потери электро-

энергии при проектировании, изучают алгоритм их определения. Магистрантами должны быть получены навыки расчета и анализа потерь электроэнергии при проектировании электрической сети. Последовательно рассматривая решение проблемы определения потерь электроэнергии, магистранты должны понять, что величина потерь влияет на выбор варианта развития сети, а их структурный анализ позволяет определить недостатки варианта электрической сети на этапе технико-экономического сравнения и оперативно устранить их или отказаться от варианта. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание роли потерь электроэнергии при проектировании электрической сети.

2. Освоение методики определения потерь электроэнергии при проектировании электрической сети осуществляется на примере электрической сети Дальнего Востока. При этом рассматриваются различные варианты ее развития, в каждом определяются и анализируются потери электроэнергии. Под руководством преподавателя магистранты делают выводы о целесообразности дальнейшей реализации рассматриваемых вариантов, предлагают варианты их улучшения. Практические навыки по определению потерь электроэнергии в проектируемой электрической сети магистранты получают путем выполнения индивидуального задания, над которым работают самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Структурный анализ потерь электроэнергии проводится по ряду признаков. Рассматривается поэлементный анализ потерь электроэнергии, по уровням номинального напряжения, по режиму работы путем выделения нагрузочных потерь и потерь холостого хода. Анализируются полученные результаты и делается вывод какой вариант развития сети предпочтительнее с точки зрения потерь электроэнергии. Расчет потерь электроэнергии осуществляется с помощью лицензионного программного обеспечения. Решение указанной задачи рассматривается как часть комплексного задания по проектированию развития заданного участка сети. Возможен вариант выполнения этого задания по тема-

тике курсового проекта. Проверку того, насколько хорошо усвоена методика определения потерь электроэнергии при проектировании электрической сети в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в виде дискуссии или деловой игры. При этом магистрантам предлагается свое выступление провести с помощью презентации.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите составляющие потерь электроэнергии, которые целесообразно учитывать при проектировании электрических сетей.
2. Назовите элементы электрической сети, в которых нужно определять потери электроэнергии при проектировании электрической сети.
3. Приведите перечень необходимой исходной информации для определения потерь электроэнергии и охарактеризуйте ее достоверность и полноту.
4. Перечислите источники получения исходных данных для определения потерь электроэнергии?
5. С какой целью учитывают потери электроэнергии при технико-экономическом сравнении вариантов?
6. Покажите, с какой целью проводится структурный анализ потерь электроэнергии при проектировании.
7. Как влияет величина потерь электроэнергии на выбор варианта электрической сети.

2.9. Практическое занятие по теме «Учет надежности при проектировании развития ЭЭС»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: приобретение практических навыков по определению надежности в вариантах развития ЭЭС.

Основные понятия: структурная надежность, подстанция, схема, электрическая сеть, показатели надежности, ущерб.

Вопросы к практическому занятию:

1. Надежность и ее значимость при проектировании объектов электроэнергетики.
2. Определение ущербов при перерывах электроснабжения.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Методические подходы к анализу надежности при проектировании развития ЭЭС.
3. Определение ущербов от недоотпуска электроэнергии и ограничении потребителей.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение вопросов учета надежности при проектировании развития ЭЭС проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора анализируют показатели надежности, рассматривают методы определения их определения для объектов ЭЭС, выбирают и осваивают те из них, которые пригодны для рассматриваемой задачи, приходят к выводу о целесообразности учета надежности при технико-экономическом сравнении конкурентоспособных вариантов. Магистрантами должны быть получены навыки расчета показателей надежности и ущербов от недоотпуска электроэнергии и ограничении потребителей. Магистранты должны понять, что учет надежности влияет на выбор варианта развития ЭЭС и электрических сетей. Итогом практического занятия должно являться четкое

понимание как правильно учитывать надежность при проектировании объектов и систем электроэнергетики.

2. Рассматривая проблему анализа надежности в сравниваемых вариантах развития ЭЭС, магистранты под руководством преподавателя анализируют единичные и комплексные показатели надежности и отбирают те, которые целесообразно определять при сравнении вариантов, рассматривают методы определения надежности и выбирают наиболее пригодные для поставленной задачи, получают практические навыки по определению надежности в сравниваемых вариантах проектирования развития ЭЭС путем выполнения индивидуального задания, над которым работают самостоятельно. Возможно совмещение индивидуального задания с выполнением курсового проекта. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Определение ущербов от недоотпуска электроэнергии и ограничения потребителей рассматривается на реальных объектах ЭЭС. Определяя возможные ущербы для каждого из сравниваемых вариантов, магистранты получают навыки выбора более надежного варианта развития ЭЭС. Здесь же ставится проблема соотношения обеспечения требуемого уровня надежности и затрат на его реализацию, рассматриваются пути ее решения. Определение ущербов от перерывов электроснабжения рассматривается как часть комплексного задания по проектированию развития заданного участка сети. Возможен вариант выполнения этого задания по тематике курсового проекта. Проверку того, насколько хорошо усвоены методические подходы к учету надежности при проектировании развития ЭЭС в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в виде дискуссии или деловой игры. При этом магистрантам предлагается свое выступление провести с помощью презентации.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите виды надежности. Все ли нужно учитывать при проектировании развития ЭЭС?
2. Приведите краткую характеристику методов определения надежности.
3. Какие показатели надежности целесообразно определять при проектировании ЭЭС? Обоснуйте свой ответ.
4. Каким образом надежность влияет на выбор варианта развития ЭЭС?
5. По каким критериям нужно выбирать метод определения надежности ЭЭС и почему?
6. Для каких режимов нужно определять надежность при проектировании и почему?
7. Как определяются ущербы при недоотпуске электроэнергии и ограничении потребителей?
8. Как тип схемы электрической сети, распределительного устройства подстанции влияет на надежность транспорта электроэнергии?
9. Приведите алгоритм учета надежности при проектировании развития ЭЭС.

2.10. Практическое занятие по теме «Расчёт и анализ показателей экономической эффективности при проектировании развития электроэнергетической системы»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: получить практические навыки по применению показателей экономической эффективности к объектам ЭЭС при проектировании развития ЭЭЯ..

Основные понятия: транспорт электроэнергии, потери электроэнергии, элементы электрической сети.

Вопросы к практическому занятию:

1. Определение потерь электроэнергии в электрической сети.
2. Влияние потерь электроэнергии на выбор экономически целесообразного варианта развития электрической сети.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Методика расчета потерь электроэнергии в элементах сети и в сети в целом.
3. Структурный анализ потерь электроэнергии.
4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы определения потерь электроэнергии на этапе проектирования электрической сети проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора определяют в каких элементах электрической сети целесообразно учитывать потери электроэнергии при проектировании, изучают алгоритм их определения. Магистрантами должны быть получены навыки расчета и анализа потерь электроэнергии при проектировании электрической сети. Последовательно рассматривая решение проблемы определения потерь электроэнергии, магистранты должны понять, что величина потерь влияет на выбор варианта развития сети, а их структурный анализ позволяет определить недостатки варианта электрической сети на этапе технико-экономического сравнения и оперативно устранить их или отказаться от варианта. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание роли потерь электроэнергии при проектировании электрической сети.

2. Освоение методики определения потерь электроэнергии при проектировании электрической сети осуществляется на примере электрической сети Дальнего Востока. При этом рассматриваются различные варианты ее развития,

в каждом определяются и анализируются потери электроэнергии. Под руководством преподавателя магистранты делают выводы о целесообразности дальнейшей реализации рассматриваемых вариантов, предлагают варианты их улучшения. Практические навыки по определению потерь электроэнергии в проектируемой электрической сети магистранты получают путем выполнения индивидуального задания, над которым работают самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Структурный анализ потерь электроэнергии проводится по ряду признаков. Рассматривается поэлементный анализ потерь электроэнергии, по уровням номинального напряжения, по режиму работы путем выделения нагрузочных потерь и потерь холостого хода. Анализируются полученные результаты и делается вывод, какой вариант развития сети предпочтительнее с точки зрения потерь электроэнергии. Расчет потерь электроэнергии осуществляется с помощью лицензионного программного обеспечения. Решение указанной задачи рассматривается как часть комплексного задания по проектированию развития заданного участка сети. Возможен вариант выполнения этого задания по тематике курсового проекта. Проверку того, насколько хорошо усвоена методика определения потерь электроэнергии при проектировании электрической сети в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в виде дискуссии или деловой игры. При этом магистрантам предлагается свое выступление провести с помощью презентации.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.

- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите составляющие потерь электроэнергии, которые целесообразно учитывать при проектировании электрических сетей.
2. Назовите элементы электрической сети, в которых нужно определять потери электроэнергии при проектировании электрической сети.
3. Приведите перечень необходимой исходной информации для определения потерь электроэнергии и охарактеризуйте ее достоверность и полноту.
4. Перечислите источники получения исходных данных для определения потерь электроэнергии?
5. С какой целью учитывают потери электроэнергии при технико-экономическом сравнении вариантов?
6. Покажите, с какой целью проводится структурный анализ потерь электроэнергии при проектировании.
7. Как влияет величина потерь электроэнергии на выбор варианта электрической сети.

2.11. Практическое занятие по теме «Учет надежности при проектировании развития ЭЭС»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: приобретение практических навыков по определению надежности в вариантах развития ЭЭС.

Основные понятия: структурная надежность, подстанция, схема, электрическая сеть, показатели надежности, ущерб.

Вопросы к практическому занятию:

1. Надежность и ее значимость при проектировании объектов электроэнергетики.
2. Определение ущербов при перерывах электроснабжения.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.

2. Методические подходы к анализу надежности при проектировании развития ЭЭС.

3. Определение ущербов от недоотпуска электроэнергии и ограничении потребителей.

4. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение вопросов учета надежности при проектировании развития ЭЭС проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора анализируют показатели надежности, рассматривают методы определения их определения для объектов ЭЭС, выбирают и осваивают те из них, которые пригодны для рассматриваемой задачи, приходят к выводу о целесообразности учета надежности при технико-экономическом сравнении конкурентоспособных вариантов. Магистрантами должны быть получены навыки расчета показателей надежности и ущербов от недоотпуска электроэнергии и ограничении потребителей. Магистранты должны понять, что учет надежности влияет на выбор варианта развития ЭЭС и электрических сетей. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание как правильно учитывать надежность при проектировании объектов и систем электроэнергетики.

2. Рассматривая проблему анализа надежности в сравниваемых вариантах развития ЭЭС, магистранты под руководством преподавателя анализируют единичные и комплексные показатели надежности и отбирают те, которые целесообразно определять при сравнении вариантов, рассматривают методы определения надежности и выбирают наиболее пригодные для поставленной задачи, получают практические навыки по определению надежности в сравниваемых вариантах проектирования развития ЭЭС путем выполнения индивидуального задания, над которым работают самостоятельно. Возможно совмещение индивидуального задания с выполнением курсового проекта. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Определение ущербов от недоотпуска электроэнергии и ограничения потребителей рассматривается на реальных объектах ЭЭС. Определяя возможные ущербы для каждого из сравниваемых вариантов, магистранты получают навыки выбора более надежного варианта развития ЭЭС. Здесь же ставится проблема соотношения обеспечения требуемого уровня надежности и затрат на его реализацию, рассматриваются пути ее решения. Определение ущербов от перерывов электроснабжения рассматривается как часть комплексного задания по проектированию развития заданного участка сети. Возможен вариант выполнения этого задания по тематике курсового проекта. Проверку того, насколько хорошо усвоены методические подходы к учету надежности при проектировании развития ЭЭС в ходе выполнения заданий самостоятельной работы, можно произвести в виде дискуссии или деловой игры. При этом магистрантам предлагается свое выступление провести с помощью презентации.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите виды надежности. Все ли нужно учитывать при проектировании развития ЭЭС?
2. Приведите краткую характеристику методов определения надежности.
3. Какие показатели надежности целесообразно определять при проектировании ЭЭС? Обоснуйте свой ответ.
4. Каким образом надежность влияет на выбор варианта развития ЭЭС?

5. По каким критериям нужно выбирать метод определения надежности ЭЭС и почему?

6. Для каких режимов нужно определять надежность при проектировании и почему?

7. Как определяются ущербы при недоотпуске электроэнергии и ограничении потребителей?

8. Как тип схемы электрической сети, распределительного устройства подстанции влияет на надежность транспорта электроэнергии?

9. Приведите алгоритм учета надежности при проектировании развития ЭЭС.

2.12. Практическое занятие по теме «Повышение экономичности режимов в проектируемой электрической сети»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: приобретение практических навыков по обеспечению экономичных режимов в проектируемой электрической сети.

Основные понятия: режим, экономичность, активная мощность, реактивная мощность, напряжение, точки размыкания сети, потери электроэнергии, управление.

Вопрос к практическому занятию:

1. Схемные и технические решения, направленные на повышение экономичности установившихся режимов.

План проведения занятия

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Выбор мероприятий, направленных на повышение экономичности режимов в проектируемой электрической сети.

3. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение вопросов повышения экономичности установившихся режимов в проектируемой электрической сети проходит в интерактивном режиме. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора анали-

зируют параметры режима и схемы, влияющие на экономичность режима, рассматривают способы, схемные решения и технические средства, применение которых позволит обеспечить экономичность режимов, осваивают методику их ранжирования с целью добиться наибольшего эффекта от их реализации. Магистрантами должны быть получены навыки обеспечения экономичности режимов на этапе проектирования электрической сети, что позволит снизить эксплуатационные издержки при ее дальнейшей эксплуатации. Итогом практического занятия должно являться четкое понимание как анализировать и обеспечивать экономичные режимы в проектируемой электрической сети.

2. Рассматривая проблему повышения экономичности установившихся режимов в проектируемой электрической сети, магистранты под руководством преподавателя на примере развития действующей сети анализируют способы, методы и средства, обеспечивающие экономичность режимов на этапе проектирования ее развития. Затем осуществляется выбор наиболее целесообразного комплекта мероприятий для максимального повышения экономичности режимов при минимальных затратах на их реализацию в проекте. Эту работу выполняют командой из двух-трех человек проектным методом с последующим обсуждением полученных результатов. Индивидуальное задание выдается на команду, возможно совмещение индивидуального задания с выполнением курсового проекта. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения.

3. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по теме практического занятия с их разбором на практическом занятии.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Презентации выступлений на практических занятиях.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Что понимают под экономичностью режима?
2. Приведите параметры режима и схемы, влияющие на экономичность режима.
3. Какие схемные решения целесообразно применить для повышения экономичности режима? Охарактеризуйте их.
4. Какие способы позволяют обеспечить экономичность режима?
5. Перечислите технические средства и проектные решения, влияющие на экономичность режимов.
6. Проведите сопоставление предлагаемого технического средства с параметром режима и/или схемы, на изменение которого влияет рассматриваемое средство.
7. Какие проектные решения позволяют добиться экономичности режима?
8. Приведите порядок ранжирования мероприятий, направленных на повышение экономичности режима в проектируемой электрической сети.
9. Относятся ли компенсация реактивной мощности, гибкое секционирование сети к мероприятиям, направленным на повышение экономичности режима? Ответ обосновать.

2.13. Темы и примеры индивидуальных заданий

При проведении практических занятий предусмотрено выполнение индивидуальных заданий на следующие темы:

- Исходные данные для проектирования и их анализ;
- Проработка вариантов подключения новых подстанций к электрической сети;
- Определение показателей экономической эффективности при проектировании развития электрической сети;
- Расчет и анализ установившихся режимов электрических сетей при их проектировании

- Комплексное задание на тему: «Подготовка к проектированию и выбор основных проектных решений»

Объекты для исследования по каждой теме задаются преподавателем индивидуально каждому магистранту.

Примеры индивидуальных заданий

Тема 1. «Исходные данные для проектирования и их анализ»

- 1.1. Произвести анализ схемно-режимной ситуации электрической сети, к которой планируется подключение новых подстанций.
- 1.2. Сформулировать техническое задание на проектирования ее развития.
- 1.3. Определить вероятностные характеристики активной и реактивной мощности узлов нагрузок сети с учетом прогноза
- 1.4. Привести климатическую и географическую характеристики района размещения электрической сети.

Тема 2. «Проработка вариантов подключения новых подстанций к электрической сети»

- 2.1. Разработать технически осуществимые варианты подключения новых нагрузок к электрической сети.
- 1.2. Осуществить технический анализ вариантов.
- 1.3. Выбрать и обосновать номинальное напряжение проектируемых участков сети.
- 1.4. Произвести оптимальную компенсацию реактивной мощности, выбрать мощность и места размещений компенсирующих устройств. Проверить выполнение требований приказа Минэнерго РФ № 380 от 2015 г. по предельному коэффициенту реактивной мощности.
- 1.5. Выбрать экономически целесообразное сечение линий электропередачи, питающих новые подстанции. Рассмотреть различные варианты исполнения проводов и выбрать оптимальный для рассматриваемого района. Проанализировать целесообразность выполнения новой линии кабельно-воздушной.
- 1.6. Выбрать конструктивное исполнение опор, рассмотрев и проанализировав несколько вариантов. Выбранный вариант обосновать.

1.7. Выбрать и обосновать число и мощность силовых трансформаторов для вводимых подстанций.

1.8. Разработать подробную однолинейную схему вводимых подстанций и их конструктивное исполнение.

Тема 3. «Определение показателей экономической эффективности при проектировании развития электрической сети»

3.1. Оценить надежность разработанного варианта развития электрической сети и определить количественные показатели надежности.

3.2. Определить показатели экономической эффективности конкурентоспособных вариантов развития электрической сети и произвести их анализ.

3.3. Произвести экспертизу предложенного проекта развития электрической сети.

Тема 4. Расчет и анализ установившихся режимов электрических сетей при их проектировании

4.1. Для принятого варианта развития электрической сети произвести расчет и анализ режимов нормальной схемы, наиболее тяжелых ремонтных и послеаварийных режимов.

4.2. На основе анализа режимов предложить способы и выбрать средства для повышения экономичности режимов в выбранном варианте развития электрической сети

5. Комплексное задание на тему «Подготовка к проектированию и выбор основных проектных решений»

Для заданного района развития электрической сети (карта-схема прилагается) подготовить исходные данные для проектирования и решить следующие вопросы:

5.1. Спрогнозировать электрические нагрузки действующих подстанций, по заявке на технологическое присоединение определить нагрузки потребителей, подключаемых к сети. Определить вероятностные характеристики спрогнозированных и вновь присоединяемых нагрузок.

5.2. Предложить 4 варианта развития электрической сети и осуществить их технический анализ.

5.3. Для выбранных двух конкурентоспособных вариантов определить номинальное напряжение сети, разработать однолинейные схемы новых и реконструируемых подстанций, выбрать силовые трансформаторы (автотрансформаторы), выбрать типы и сечения линий электропередачи с учетом компенсации реактивной мощности.

5.4. Путем технико-экономического сравнения выбрать оптимальный вариант развития электрической сети.

5.5. Произвести расчет и анализ установившихся режимов в выбранном варианте развития электрической сети.

5.6. Обеспечить экономичность нормальных установившихся режимов.

Все индивидуальные задания выполняются для одного участка действующей сети, у которой предполагается развитие. Номера вариантов приведены в таблице.

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Участок электрической сети
1	Район с центром питания ПС Амурская в Амурской области, подключение газохимического комбината
2	Район с центром питания ПС Западная Приморского края, подключение объектов Оборонсервиса
3	Район с центром питания ПС Уссурийск Приморского края, подключение объектов Агрокомплекса
4	Район с центром питания ПС Февральская в Амурской области, подключение ПС Рудная
5	Район с центром питания ПС Угольная Приморского края, подключение Находкинского завода минеральных удобрений
6	Район с центром питания ПС Спасск Приморского края, подключение объектов ТОР Михайловский
7	Район с центром питания ПС Нижний Куранах, Якутия, подключение двух НПС
8	Район с центром питания ПС Амурская в Амурской области, подключение двух НПС

Для каждого варианта прилагаются:

карта-схема района развития электрической сети;

однолинейная электрическая схема сети;

результаты контрольных замеров участка электрической сети.

3. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАНИЙ

3.1. Определение вероятностных характеристик графиков электрических нагрузок и режимных характеристик потребителей электрической сети

Определить вероятностные характеристики графиков электрических нагрузок подстанций А, Б, В, Г, Д, Е, Ж по результатам контрольных замеров.

Для построения суточных графиков электрических нагрузок рассчитаем активные и реактивные мощности для понизительных подстанций по формулам:

$$P_i^{(t_j - t_{j+1})} = P_*^{(t_j - t_{j+1})} \cdot a_{*i} \cdot P_{max}, \quad (1)$$

где P_i – активная мощность для интервала времени $(t_j - t_{j+1})$; P_{*i} – относительная ордината суточного графика потребления для интервала времени $(t_j - t_{j+1})$; a_{*i} – процентное соотношение нагрузки потребителя; P_{max} – максимальное значение мощности, указанное в задании на проект.

$$Q_i^{(t_j - t_{j+1})} = Q_*^{(t_j - t_{j+1})} \cdot a_{**i} \cdot P_{max}, \quad (2)$$

где Q_i – реактивная мощность для интервала времени $(t_j - t_{j+1})$; Q_{*i} – относительная ордината суточного графика потребления для интервала времени $(t_j - t_{j+1})$; a_{**i} – процентное соотношение нагрузки потребителя; P_{max} – максимальное значение мощности, указанное в задании на проект.

Характеристикой потребителей также является годовой график по продолжительности активной нагрузки.

Это упорядоченный график, в котором значения мощности расположены в порядке убывания, показывающий длительность работы в течение года с различной нагрузкой.

Площадь, ограниченная этим графиком и осями координат пропорциональна активной энергии, потребляемой в год W .

По ней можно определить еще одну характеристику-число часов использования наибольшей нагрузки T_{max} .

$$T_{max} = W / P_{max} = \sum P_i \cdot \Delta T_i / P_{max} \quad (3)$$

Вероятностные характеристики графика электрических нагрузок определяются по следующим формулам.

Средняя нагрузка:

$$P_{cp} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^n P_i t_i$$

$$Q_{cp} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^n Q_i t_i$$
(4)

Эффективная нагрузка:

$$P_{эф} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_i}$$

$$Q_{эф} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^n Q_i^2 \cdot t_i}$$
(5)

Максимальная нагрузка:

$$P_{max} = P_{cp} (1 + 1,96 \sqrt{K_{\phi p}^2 - 1})$$

$$Q_{max} = Q_{cp} (1 + 1,96 \sqrt{K_{\phi p}^2 - 1})$$
(6)

где P_{cp} , Q_{cp} - средняя нагрузка; P_{max} , Q_{max} - максимальная нагрузка; K_{ϕ} - коэффициент формы.

Минимальная нагрузка:

$$P_{min} = P_{cp} (1 - 1,96 \sqrt{K_{\phi p}^2 - 1})$$

$$Q_{min} = Q_{cp} (1 - 1,96 \sqrt{K_{\phi p}^2 - 1})$$
(7)

где P_{cp} , Q_{cp} - средняя нагрузка; K_{ϕ} - коэффициент формы; P_{min} , Q_{min} - минимальная нагрузка.

Коэффициент формы определяется следующим образом:

$$K_{\phi p} = P_{эф} / P_{cp}$$

$$K_{\phi Q} = Q_{эф} / Q_{cp}$$
(8)

где $P_{эф}$, $Q_{эф}$ - эффективная мощность

Вероятностные характеристики представлены в таблице 1

Таблица 1 – Вероятностные характеристики

Время	ПС	P_{cp}	$P_{эф}$	P_{max}	P_{min}	Q_{cp}	$Q_{эф}$	Q_{max}	Q_{min}
Зима	А	80.60	80.637	84.847	76.37	83.867	83.869	85.108	82.625
Лето	А	78.19	78.218	82.301	74.079	82.189	82.192	83.406	80.972
Год	А	79.399	79.437	84.2	74.598	83.028	83.035	85.081	80.975
Зима	Б	9.523	9.795	14.022	5.093	5.075	5.234	7.588	2.561
Лето	Б	7.567	7.764	10.969	4.165	2.748	2.836	4.122	1.375
Год	Б	8.545	8.838	12.97	4.119	3.911	4.21	6.961	0.862
Зима	В	6.122	6.297	9.014	3.229	3.262	3.365	4.878	1.646
Лето	В	4.865	4.991	7.052	2.677	1.767	1.823	2.65	0.884
Год	В	5.493	5.682	8.338	2.648	2.514	2.706	4.475	0.554
Зима	Г	69.382	69.54	77.998	60.766	72.643	72.695	78.013	67.274
Лето	Г	51.342	51.445	57.718	44.967	50.124	50.16	53.829	46.419
Год	Г	60.362	61.155	79.597	41.127	61.384	62.452	83.93	38.838
Зима	Д	17.685	18.191	26.041	9.329	9.424	9.72	14.093	4.756
Лето	Д	14.053	14.418	20.372	7.734	5.104	5.267	7.655	2.553
Год	Д	15.869	16.414	24.087	7.65	7.264	7.818	12.928	1.6
Зима	Е	32.332	32.532	39.405	25.259	30.115	30.175	33.837	26.393
Лето	Е	28.818	28.949	34.202	23.435	26.658	26.689	29.215	24.1
Год	Е	30.575	30.793	37.741	23.409	28.386	28.485	33.042	23.73
Зима	Ж	35.735	35.957	43.552	27.918	33.285	33.351	37.399	29.171
Лето	Ж	31.852	31.996	37.802	25.902	29.464	29.499	32.29	26.637
Год	Ж	33.793	34.034	47.714	25.873	31.374	31.484	36.52	26.228

Далее проводится анализ полученных графиков, определяются их коэффициенты и режимные характеристики сети.

3.2. Повышение надежности электрической сети путем организации неполнофазного режима

Проверить возможность неполнофазного режима при отключении одной фазы воздушной линии напряжением 110 кВ, питающей трехфазный трансформатор Т мощностью 40 МВА с коэффициентом трансформации 110/10 кВ. Обмотки трансформатора соединены по схеме Y_0/Δ . Наибольшая мощность суммарной нагрузки на стороне 10 кВ трансформатора Т равна $15+j7,5$ МВА. Мощность трехфазного к.з. на шинах 110 кВ трансформатора Т равна 2000 МВА.

Решение

Проверка возможности неполнофазного режима должна производиться по следующим параметрам:

- 1) уменьшению напряжения прямой последовательности на шинах 10 кВ;

- 2) величине напряжения обратной последовательности на этих же шинах;
- 3) значением токов в обмотках трансформатора Т и заземляющем устройстве.

Расчет выполняем в относительных единицах (о.е.) За базисные значения принимаем номинальное напряжение сети и мощность трансформатора $S_{\text{ТНОМ}}$: $U_6=10\text{кВ}$; $S_6=40\text{ МВА}$.

Для выполнения расчета применяется схема замещения для расчета параметров при разрыве одной фазы.

Примем, что эквивалентное сопротивление системы одинаково для всех трех последовательностей и является чисто реактивным.

- 1) Определим сопротивление системы:

$$X_c = \frac{S_{\text{баз}}}{S_{\text{кз}}} = \frac{40}{2000} = 0,02$$

- 2) Определим индуктивное сопротивление трансформатора $X_T = U_k$ для всех трех последовательностей в о.е. Активное сопротивление и ветвь намагничивания в схеме замещения СТ в данном случае не учитываются ввиду их относительной малости. $X_T = 0,105$.

Определим сопротивление обратной последовательности нагрузки на стороне 10кВ.

В о.е. при токе промышленной частоты для нагрузки, присоединенной к сети 6-10 кВ: $Z_{2*} = 0,18 + j 0,24$, присоединенной к сети 110 кВ, $Z_{2*} = 0,19 + j 0,36$.

С учетом относительной мощности нагрузки, равной:

$$\frac{S_{\text{нагр}}}{S_{\text{Тном}}} = \frac{\sqrt{15^2 + 7,5^2}}{40} = 0,42$$

Сопротивление обратной последовательности нагрузки на стороне 10 кВ равно:

$$Z_{2н} = Z_{2*} \frac{S_{\text{нагр}}}{S_{\text{Тном}}} = (0,18 + j0,24) \frac{40}{16,8} = 0,428 + j0,572$$

Определим эквивалентное сопротивление схемы обратной последовательности:

$$Z_{2\Sigma} = jX_c + jX_T + Z_{2H} = j 0,02 + j 0,105 + 0,428 + j 0,572 = 0,428 + j 0,697.$$

Определим эквивалентное сопротивление схемы нулевой последовательности

$$Z_{0\Sigma} = jX_c + jX_T = j 0,02 + j 0,105 = j 0,125.$$

3) Заменяем разветвление из схем обратной и нулевой последовательности эквивалентным сопротивлением (они соединены параллельно).

$$Z_{\Delta} = \frac{Z_{2\Sigma} Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} = \frac{(0,428 + j 0,697) j 0,125}{0,428 + j 0,697 + j 0,125} = 0,008 + j 0,11.$$

Это сопротивление Z_{Δ} является добавочным в схеме прямой последовательности и потому вызывает дополнительную потерю напряжения.

4) Определим в о.е. ток прямой последовательности:

$$I_1 = \frac{S_H}{S_{Tном}} = \frac{15 + j 7,5}{40} = 0,375 + j 0,187$$

5) Определим дополнительное снижение напряжения прямой последовательности на шинах 10 кВ ПС, с учетом того, что при расчете в о.е. коэффициент U_3 не вводится.

$$\Delta U_1 = I_{1a} R_{\Delta} + I_{1p} X_{\Delta} = 0,375 \cdot 0,008 + 0,187 \cdot 0,11 = 0,0242 .$$

Эта величина составляет 2,42 %, т.е. невелика. При наличии устройств РПН требуемый режим напряжения может быть обеспечен.

6) Ток обратной последовательности в питающей сети 110 кВ:

$$I_2 = - I_1 \frac{Z_{\Delta}}{Z_{2\Sigma}} = - (0,375 + j 0,187) \frac{0,008 + j 0,11}{0,428 + j 0,677} = - (0,031 + j 0,038) \text{ о.е.}$$

Модуль этого тока равен $I_2 = 0,05$.

7) Определим относительное напряжение обратной последовательности на шинах 10 кВ при сопротивлении нагрузки по модулю, равном

$$Z_{2н} = \sqrt{Z_{2на}^2 + Z_{2нр}^2} = \sqrt{0,428^2 + 0,572^2} = 0,715$$

$$U_2 = I_2 Z_{2н} = 0,05 \cdot 0,715 = 0,0358 \text{ или } 3,6 \%$$

Полученная несимметрия напряжения практически относится к зажимам ЭП независимо от места их подключения, т.к. сопротивление распределительной сети относительно мало.

Такая несимметрия может оказаться недопустимой для осветительной нагрузки и для ЭД. Допустимость работ ЭП с такой несимметрией требует дополнительной проверки.

8) Ток нулевой последовательности в сети 10 кВ отсутствует, т.к. обмотка вторичного напряжения соединена в треугольник.

Определим ток нулевой последовательности в питающей сети 110 кВ по выражению:

$$\dot{I}_0 = -\dot{I}_1 \frac{\dot{Z}_\Delta}{\dot{Z}_{\Sigma}} = - (0,375 + j 0,187) \frac{0,008 + j 0,11}{j 0,125} = - (0,338 + j 0,143) \text{ о.е.}$$

Модуль тока нулевой последовательности равен $\dot{I}_0 = 0,368$.

9) Действительный ток, проходящий по заземляющему устройству, равен:

$$\dot{I}_3 = 3 \dot{I}_0 \frac{S_6}{U_3 U_6} = 3 \cdot 0,368 \frac{40000}{U_3 \cdot 110} = 232 \text{ А}$$

Это достаточно большой ток. Допустимость длительного прохождения столь большого тока по устройствам заземления требует дополнительной проверки.

10) Определим токи в фазах трансформатора подстанции по выражению:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 \dot{S}_1 + \dot{I}_2 \dot{S}_2 + \dot{I}_0 \dot{S}_0,$$

где матрица системы симметричных координат имеет вид

$$\dot{S} = \begin{vmatrix} \dot{S} & \dot{S} & \dot{S} \\ a & a & 1 \\ a & a & 1 \end{vmatrix}$$

Здесь $\hat{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ - оператор изменения аргумента

$$\hat{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\begin{aligned} \dot{I} &= (0,375 + j0,187) \hat{S} 1 - (0,031 + j0,038) \hat{S} 2 - (0,338 + j0,143) j \hat{S} 0 = \\ &= \begin{vmatrix} -0,315 - j0,567 \\ -0,703 + j0,134 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

и по модулю

$$I = \begin{vmatrix} 0 \\ 0,65 \\ 0,72 \end{vmatrix}$$

Полученные результаты показывают, что токи в фазах трансформатора не превышают номинальных. В данном случае это очевидно, связано с тем, что в нормальном режиме трансформатор загружен всего на 42%. При работе трансформатора с большим коэффициентом загрузки в нормальных условиях его перегрузка при отключении одной фазы могла оказаться недопустимой. Т.о., рассматриваемый режим нельзя признать безусловно допустимым по всем параметрам. В частности требуется симметрирование напряжения в распределительной сети.

3.3. Повышение экономичности режима путем компенсации реактивной мощности

Задание 1. Выбрать тип и число компенсирующих устройств для регулирования напряжения в сети, показанной на рис. 1.

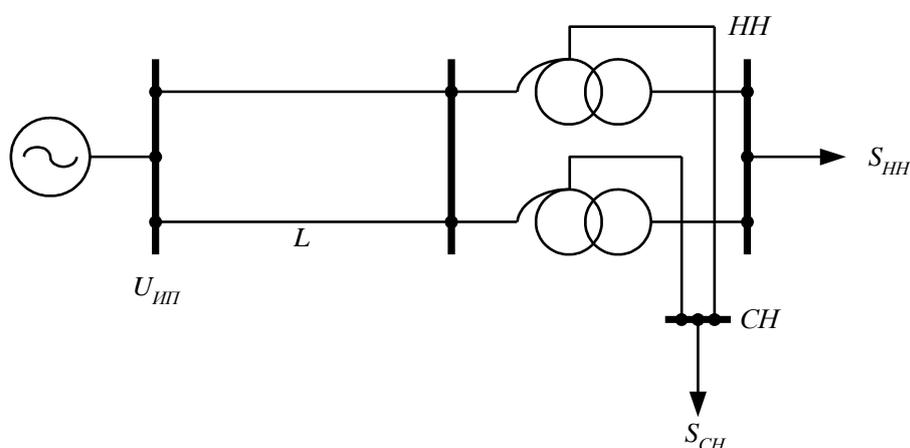


Рис. 1 Участок электрической сети

Исходные данные:

$$\begin{aligned}U_{\text{ИП}} &= 240 \text{ кВ}; & L &= 67 \text{ км}; \\S_{\text{СН}} &= 50 + j22 \text{ МВА}; & S_{\text{НН}} &= 45 + j20 \text{ МВА}; \\U_{\text{СН}}^{\text{жел}} &= 121 \text{ кВ}; & U_{\text{НН}}^{\text{жел}} &= 10,5 \text{ кВ}.\end{aligned}$$

Решение

Для выбора компенсирующего устройства необходимо знать сопротивление ВЛ и обмоток автотрансформаторов, следовательно, необходимо выбрать сечение проводов ВЛ и марку автотрансформатора по заданной нагрузке.

Определяем ток в линии:

$$I = \frac{\sqrt{(P_{\text{СН}} + P_{\text{НН}})^2 + (Q_{\text{СН}} + Q_{\text{НН}})^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{цеп.}}} = \frac{\sqrt{(50 + 45)^2 + (22 + 20)^2}}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 2} \cdot 1000 = 136 \text{ А}.$$

Принимаем провод АС–240/32, имеющий удельное сопротивление $z_0 = 0,121 + j0,435$ Ом/км. Определяем сопротивление линии:

$$Z_{\text{ВЛ}} = R_{\text{ВЛ}} + jX_{\text{ВЛ}} = z_0 \cdot L / n_{\text{цеп.}} = (0,121 + j0,435) \cdot 67 / 2 = 4,05 + j14,57 \text{ Ом}.$$

Требуемая мощность автотрансформатора:

$$S_{\text{АТ.расч}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{СН}} + P_{\text{НН}})^2 + (Q_{\text{СН}} + Q_{\text{НН}})^2}}{K_{\text{з.онт.}} \cdot N_{\text{т}}} = \frac{\sqrt{(50 + 45)^2 + (22 + 20)^2}}{2 \cdot 0,7} = 74 \text{ МВА}.$$

Принимаем к установке два автотрансформатора АТДЦТН–125000/220/110. По справочным данным определили сопротивления высокой, средней и низкой сторон АТ:

$$R_{\text{АТ В}} = 0,5 \cdot 0,55 = 0,275 \text{ Ом}; \quad X_{\text{АТ В}} = 0,5 \cdot 59,2 = 29,6 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{АТ С}} = 0,5 \cdot 0,48 = 0,24 \text{ Ом}; \quad X_{\text{АТ С}} = 0;$$

$$R_{\text{АТ Н}} = 0,5 \cdot 3,2 = 1,6 \text{ Ом}; \quad X_{\text{АТ Н}} = 0,5 \cdot 131 = 65,5 \text{ Ом}.$$

Компенсирующее устройство выбирается из условия поддержания желаемого напряжения на шинах СН и НН.

Допустимая суммарная потеря напряжения ΔU_{Σ} , определённая по заданным желаемым напряжениям на сторонах СН и НН:

$$\Delta U_{\Sigma \text{доп}} = \Delta U_{\text{СНдоп}} + \Delta U_{\text{ННдоп}},$$

$$\Delta U_{\text{СНдоп}} = U_{\text{ИП}} - U_{\text{СН}}^{\text{ВН}} = U_{\text{ИП}} - U_{\text{СН}}^{\text{жел}} \cdot \frac{U_{\text{АТВН}}^{\text{НОМ}}}{U_{\text{АТСН}}^{\text{НОМ}}};$$

$$\Delta U_{\text{ННдоп}} = U_{\text{ИП}} - U_{\text{НН}}^{\text{ВН}} = U_{\text{ИП}} - U_{\text{НН}}^{\text{жел}} \cdot \frac{U_{\text{АТВН}}^{\text{НОМ}}}{U_{\text{АТНН}}^{\text{НОМ}}}.$$

Рассчитываем $\Delta U_{\Sigma \text{доп}}$:

$$\Delta U_{\Sigma \text{доп}} = 2 \cdot U_{\text{ИП}} - U_{\text{СН}}^{\text{жел}} \cdot \frac{U_{\text{АТВН}}^{\text{НОМ}}}{U_{\text{АТСН}}^{\text{НОМ}}} - U_{\text{НН}}^{\text{жел}} \cdot \frac{U_{\text{АТВН}}^{\text{НОМ}}}{U_{\text{АТНН}}^{\text{НОМ}}};$$

$$\Delta U_{\Sigma} = 2 \cdot 240 - 121 \cdot \frac{230}{121} - 10,5 \cdot \frac{230}{10,5} = 20 \text{ кВ.}$$

Суммарная потеря напряжения в схеме до установки СК:

$$\Delta U_{\Sigma} = \frac{(P_{\text{СН}} + P_{\text{НН}}) \cdot (R_{\text{ВЛ}} + R_{\text{АТВ}}) + P_{\text{СН}} \cdot R_{\text{АТС}} + P_{\text{НН}} \cdot R_{\text{АТН}}}{U_{\text{ИП}}} + \frac{(Q_{\text{СН}} + Q_{\text{НН}} - Q_{\text{КУ}}) \cdot (X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{АТВ}}) + Q_{\text{СН}} \cdot X_{\text{АТС}} + (Q_{\text{НН}} - Q_{\text{КУ}}) \cdot X_{\text{АТН}}}{U_{\text{ИП}}}.$$

Из выражения для суммарной потери напряжения находим мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{\text{КУ}} = \frac{P_{\text{СН}} \cdot (R_{\text{ВЛ}} + R_{\text{АТВ}} + R_{\text{АТС}}) + P_{\text{НН}} \cdot (R_{\text{ВЛ}} + R_{\text{АТВ}} + R_{\text{АТН}}) + Q_{\text{СН}} \cdot (X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{АТВ}} + X_{\text{АТС}})}{X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{АТВ}} + X_{\text{АТН}}} + Q_{\text{НН}} - \frac{\Delta U_{\Sigma} \cdot U_{\text{ИП}}}{X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{АТВ}} + X_{\text{АТН}}}.$$

Рассчитываем $Q_{\text{КУ}}$:

$$Q_{\text{КУ}} = \frac{50 \cdot (4,05 + 0,275 + 0,24) + 45 \cdot (4,05 + 0,275 + 1,6) + 22 \cdot (14,57 + 29,6 + 0)}{14,57 + 29,6 + 65,5} +$$

$$+20 - \frac{20 \cdot 240}{14,57 + 29,6 + 65,5} = -10,4 \text{ МВар}$$

Принимаем к установке два статических синхронных компенсатора мощность 16 МВА, каждый из них в рассматриваемом режиме должен потреблять по 5,2 МВАр реактивной мощности.

Задание 2. Выбрать установку продольной компенсации (УПК) реактивной мощности для следующих условий. Понижающая подстанция связана с центром питания ($U_{\text{ИП}}=235$ кВ) одноцепной ВЛЭП длиной 170 км, марка провода АС–240. Наибольшая расчетная нагрузка подстанции равна $110+j50$ МВА. По условиям работы потребителей потери напряжения в ВЛЭП при этой нагрузке не должны превышать $\Delta U_{\text{доп}\%}=7\%$.

Решение

Рассчитываем сопротивление ВЛЭП:

$$Z_{\text{ВЛ}} = L \cdot (r_0 + jx_0) = 170 \cdot (0,121 + j0,435) = 20,57 + j73,95 \text{ Ом.}$$

Определяем потери напряжения в ВЛ без УПК. Расчет выполняем без учёта потерь мощности в ВЛ:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R_{\text{ВЛ}} + Q \cdot X_{\text{ВЛ}}}{U_{\text{ИП}}} = \frac{110 \cdot 20,57 + 50 \cdot 73,95}{235} = 25,4 \text{ кВ.}$$

Допустимое значение потерь напряжения равно:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot U_{\text{ном}} / 100 = 7 \cdot 220 / 100 = 15,4 \text{ кВ.}$$

Определяем сопротивление УПК, снижающей потери напряжения, ΔU в ВЛЭП до допустимого значения, $\Delta U_{\text{доп}}$, из уравнения

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{P \cdot R_{\text{ВЛ}} + Q \cdot (X_{\text{ВЛ}} - X_{\text{УПК}})}{U_{\text{ИП}}};$$

$$X_{\text{УПК}} = \frac{P \cdot R_{\text{ВЛ}} + Q \cdot X_{\text{ВЛ}} - \Delta U_{\text{доп}} \cdot U_{\text{ИП}}}{Q} =$$

$$= \frac{110 \cdot 20,57 + 50 \cdot 73,95 - 15,4 \cdot 235}{50} = 46,82 \text{ Ом.}$$

Определяем ток, текущий по линии:

$$I_{ВЛ} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{\sqrt{110^2 + 50^2}}{\sqrt{3} \cdot 220} \cdot 1000 = 317 \text{ А.}$$

УПК состоит из однофазных стандартных конденсаторов, включаемых последовательно для снижения потерь напряжения и параллельно для обеспечения протекания через УПК расчетного тока.

Выбираем однофазные стандартные конденсаторы для снижения потерь напряжения, включаемые последовательно в каждую фазу, типа КС-6,3-225У1, мощностью $Q_{К \text{ ном}} = 225$ кВАр, напряжением $U_{К \text{ ном}} = 6,3$ кВ.

Номинальный ток одного конденсатора:

$$I_{К \text{ ном}} = \frac{Q_{К \text{ ном}}}{U_{К \text{ ном}}} = \frac{225}{6,3} = 35,714 \text{ А.}$$

Определяем число конденсаторов k , включенных параллельно в одну фазу, для получения расчетного тока ВЛ по условию:

$$k \geq \frac{I_{ВЛ}}{I_{К \text{ ном}}} = \frac{317}{35,714} = 8,9; \quad \text{округляем до целого значения: } k=9.$$

Рассчитываем сопротивление одного конденсатора:

$$X_{К \text{ ном}} = \frac{U_{К \text{ ном}}}{I_{К \text{ ном}}} = \frac{6300}{35,71} = 176,4 \text{ Ом.}$$

Определим число конденсаторов n , включенных последовательно, зная сопротивление каждого конденсатора $X_{К \text{ ном}}$, число параллельных ветвей k и требуемое сопротивление $X_{УПК}$, из уравнения:

$$X_{УПК} = \frac{X_{К \text{ ном}} \cdot n}{k},$$

$$\text{получили: } n = \frac{X_{УПК} \cdot k}{X_{К \text{ ном}}} = \frac{46,82 \cdot 9}{176,4} = 2,4; \quad \text{округляем до целого числа: } n=3.$$

Общее число конденсаторов, стоящих в одной из трёх фазах ВЛЭП:

$$n_1 = n \cdot k = 3 \cdot 9 = 27; \quad n_3 = 3 \cdot n_1 = 3 \cdot 27 = 81.$$

Установленная мощность УПК составляет:

$$Q_{\text{уст УПК}} = n_3 \cdot Q_{\text{К ном}} = 81 \cdot 0,225 = 18,225 \text{ МВАр.}$$

Определяем номинальное напряжение и номинальный ток УПК:

$$U_{\text{ном УПК}} = U_{\text{К ном}} \cdot n = 6,3 \cdot 3 = 18,9 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{ном УПК}} = I_{\text{К ном}} \cdot k = 35,714 \cdot 9 = 321,4 \text{ А.}$$

Рассчитываем действительное сопротивление УПК с учётом принятого числа конденсаторов:

$$X_{\text{УПК}} = \frac{X_{\text{К ном}} \cdot n}{k} = \frac{176,4 \cdot 3}{9} = 58,8 \text{ Ом.}$$

Определим фактические потери напряжения в ЛЭП после установки УПК:

$$\Delta U_{\text{ф}} = \frac{P \cdot R_{\text{ВЛ}} + Q \cdot (X_{\text{ВЛ}} - X_{\text{БК}})}{U_{\text{ЛП}}} = \frac{110 \cdot 20,57 + 50 \cdot (73,95 - 58,8)}{235} = 12,85 \text{ кВ};$$

$\Delta U_{\text{ф}} = 12,85 \text{ кВ}$, что меньше допустимого значения, равного 15,4 кВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания для практических занятий магистрантов предназначены для подготовки магистров по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», магистерской программе «Электроэнергетические системы и сети».

В методических указаниях представлены структура, задания и методика реализации всех видов практических занятий в соответствии с рабочей программой дисциплины, что поможет магистрантам в области проектирование развития электроэнергетических систем и электрических сетей получить дополнительные знания и самостоятельно оценить их уровень.

Практические занятия являются наиболее продуктивной формой образовательной и познавательной деятельности магистрантов в период обучения.

Рассмотрены следующие виды выполнения текущей и проблемно-ориентированной практической работы:

- постановка задания по работе с теоретическим разделом;
- обсуждение результатов работы по теории и постановка задания по работе с методическими материалами;
- обзор, анализ и оценка проектно-конструкторских разработок и применения инновационных технологий при проектировании развития ЭЭСС по выбору магистранта или по заданию преподавателя;
- обсуждение результатов работы с методическими материалами и постановка задания к оцениванию степени освоения материала при самостоятельной работе, например, в виде тестирования или деловой игры, кейс-задания;
- подготовка к экзамену.

Успешное выполнение заданий практической работы позволяет полнее изучить разделы дисциплины и приобрести необходимые навыки и умения. Это подтверждается результатами блиц-опросов, результатами само тестирования, а также результатами текущего контроля и промежуточной аттестации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Розанов Ю.К., Основы современной энергетики. Том 2. Современная электроэнергетика. [Электронный ресурс] : учеб. / Розанов Ю.К., Старшинов В.А., Серебрянников С.В.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 632 с. — Режим доступа : <http://e.lanbook.com/book/72256>
2. Розанов Ю.К., Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Розанов Ю.К., Бурман А.П., Шакарян Ю.Г.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2012. — 384 с. — Режим доступа : <http://e.lanbook.com/book/72311>

Дополнительная литература:

1. Жуков В.В., Бизнес-планирование в электроэнергетике. [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2011. — 568 с. — Режим доступа : <http://e.lanbook.com/book/72205>
2. Осика, Л.К. Инжиниринг объектов интеллектуальной энергетической системы. Проектирование. Строительство. Бизнес и управление [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2014. — 780 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72227> — Загл. с экрана.
3. Электротехнический справочник. Том 3: Производство, передача и распределение электрической энергии. [Электронный ресурс] : справ. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2009. — 964 с. — Режим доступа : <http://e.lanbook.com/book/72341>
4. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. -3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. -391 с.
5. Балаков Ю.Н., Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Балаков Ю.Н., Мисри-

- ханов М.Ш., Шунтов А.В.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2016. — 288 с. — Режим доступа : <http://e.lanbook.com/book/72271>
6. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд.- М. : Омега-Л, 2006, 2013. – 269 с.

Нормативная литература:

1. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем СО 153-34.20.118-2003. Утверждены приказом Минэнерго России от 30.06.03 № 281. – Режим доступа : <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294812/4294812999.pdf>
2. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 23 июня 2015 г. N 380. – Режим доступа : www.sahen.elektra.ru/POTREBL/RASK_INF/19_380.docx
3. Об утверждении методических указаний по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети (договорам энергоснабжения). Приказ Федеральной службы по тарифам от 31 августа 2010 г. N 219-э/6. – Режим доступа : <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=165067>
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока. Утверждены приказом Минэнерго от 30.06.2003. № 288. – М.:2003-40с. – Режим доступа : <http://www.complexdoc.ru>

5. Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи. Утверждены приказом Минэнерго от 30.06.2003. № 284. – М.:2003-40с. – Режим доступа : <http://www.complexdoc.ru>
6. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ. СТО 56947007- 29.240.55.192-2014. ОАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы», стандарт организации. – Режим доступа : http://www.fsk-ees.ru/about/management_and_control/test/STO_56947007-29.240.55.192-2014.pdf
7. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС». – Режим доступа : http://www.fsk-ees.ru/about/standards_organization/
8. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций напряжением 35-750 кВ. Типовые решения. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.30.010-2008. – Режим доступа : <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf>
9. Методические указания по устойчивости энергосистем СО 153-34.20.576-2003, утверждены приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 277. – Режим доступа : <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294814/4294814841.pdf>