Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

сборник учебно-методических материалов

для направления подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника

Благовещенск, 2017

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета

Составитель: Савина Н.В.

Повышение пропускной способности электрических сетей: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 13.06.01. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

©Амурский государственный университет, 2017
©Кафедра энергетики, 2017
©Савина Н.В. составление

Содержание

1. КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**Ошибка! Закладка не определена.**

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ 34

3.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ 43

4.СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 52

1. КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

1.1. Базовые сведения об электрических сетях

Единая электроэнергетическая система России является уникальным организационно-техническим объектом, взаимодействующим практически со всеми отраслями экономики. Характерными особенностями современной ЭЭС являются: недостаточная пропускная способность межсистемных и системообразующих линий электропередачи; слабая управляемость электрических сетей; недостаточный объем средств регулирования напряжения и реактивной мощности; неоптимальное распределение потоков мощности в сетях разных классов номинального напряжения.

Анализ современного состояния электрических сетей и ЭЭСпоказал следующее:

высокий износ энергетического оборудования электростанций всех типов и систем транспорта, передачи и распределения электроэнергии, составляющий по официальным данным 56%, а по оборудованию электрических сетей до 80%. Доля распределительных электрических сетей, выработавших свой нормативный срок, составила 50 %; 7 % электрических сетей выработало 2 нормативных срока. Общий износ распределительных электрических сетей достиг 70 %. Износ магистральных электрических сетей составляет около 50 %;

ослабление технологической дисциплины и порядка соблюдения регламентов, правил эксплуатации и сервисного обслуживания энергетического оборудования, приводящее к снижению его надежности и безопасности в эксплуатации;

устаревшая структура генерирующих мощностей, не соответствующая современным стандартам по энергетической и экологической эффективности, гибкости регулирования нагрузки;

высокая зависимость предприятий ТЭК от импортных энергетических технологий и оборудования;

низкая энергетическая и экономическая эффективность отрасли: низкий к.п.д. большинства ТЭС, высокий уровень потерь электроэнергии, неоптимальная загрузка генерирующих мощностей, наличие «запертых мощностей»;

нахождение вне зоны централизованного энергоснабжения примерно 2/3 территории России.

Можно выделить наиболее значимые проблемы, решение которых должно быть первоочередным: это снижение потерь электроэнергии, регулирование напряжения и реактивной мощности, повышение надежности и качества электроснабжения.

Организационная структура ЭЭС и электроэнергетических рынков оказывает существенное влияние на режимы системы. Например, если при жестко централизованных принципах управления случайные факторы определялись нерегулярными колебаниями нагрузки и перетоков по связям, то в условиях спотового рынка появились дополнительно случайные колебания потоков вследствие флуктуаций текущих рыночных взаимодействий по купле-продаже электроэнергии

Организационная структура ЭЭС сегодня представляет собой структуры, специализированные на отдельных видах деятельности — генерации, распределении электроэнергии, диспетчеризации и сбыте. При этом к конкурентным секторам относятся генерация и сбыт электроэнергии, к естественным монополиям (государственная собственность и государственное регулирование) относятся диспетчеризация, магистральные и распределительные сети.

Структура электрических сетей является сложнозамкнутой с тенденцией увеличения коэффициента связности до 1.

Основные требования, предъявляемые к системам электроэнергетики: надежность, качество электроэнергии, информационная и физическая безопасность, адаптивность, эффективность работы, устойчивость.

Электрические сети современных электроэнергетических систем характеризуются весьма сложной структурой и конфигурацией, поэтому их невозможно классифицировать по какому-либо одному признаку.

Можно выделить следующие признаки классификации электрических сетей:

- Классификация по номинальному напряжению;
- Классификация по роду тока;

– Классификация по выполняемым функциям;
– Классификация по характеру потребителей;
– Классификация по конфигурации схемы сети;
– Классификация по охвату территории;
– Классификация по отношению к помещениям;
– Классификация по конструктивному исполнению.

По номинальному напряжению сетиделятся на:

– низковольтные сети (НН) до 1 кВ;
– сети среднего напряжения (СН) (3-35 кВ);
– сети высокого напряжения (ВН) (110-220 кВ);
– сети сверхвысокого напряжения (СВН) (330-750 кВ);
– сети ультравысокого напряжения (УВН) 1150 кВ.

По роду тока сети делятся на сети переменного и постоянного тока.

По выполняемым функциям различают: системообразующие, питающие и распределительные сети.

Системообразующие сетинапряжением 330 ÷ 1150 кВ осуществляют функции формирования объединенных энергосистем, объединяя мощные электростанции и обеспечивая их функционирование как единого объекта управления, и одновременно обеспечивают передачу электроэнергии от мощных электростанций. Они предназначены для передачи больших потоков мощности (от сотен МВт до нескольких ГВт) отдаленным потребителям (расстояние до 1000 км и более) и выполняются в основном магистральными линиями электропередачи на переменном токе. На Дальнем Востоке к системообразующим сетям относятся также сети 220 кВ. Межсистемные линии электропередачи сооружают обычно на напряжение более высокое, чем напряжение внутрисистемных линий соединяемых систем, и включают трансформаторные подстанции по концам. Межсистемные передачи электроэнергии переменным током осуществляются преимущественно на напряжении 500 и 750 кВ. Напряжение 500 кВ используется для системообразующих сетей в энергосистемах со шкалой номинальных напряжений сетей 110—220—500—1150 кВ и напряжение 750 кВ в ОЭС со шкалой 150—330—750 кВ. Системообразующие сети осуществляют системные связи, т.е. связи очень большой длины между энергосистемами.

Питающие сети предназначены для передачи электроэнергии от ПС системообразующей сети и частично от шин 110-220 кВ электростанций к центрам питания (ЦП) распределительных сетей – районным подстанциям. Питающие сети обычно замкнутые. Как правило, напряжение этих сетей ранее было 110-220 кВ. В последнее время напряжения питающих сетей повысилось до 330-500 кВ.

Распределительная сеть предназначена для передачи электроэнергии от центров питания непосредственно к потребителям. Распределительные сети – это сети, к которым непосредственно подсоединяются электроприемники и трансформаторные пункты. Это классическое определение распределительных сетей. По мере роста плотности нагрузок, мощности электростанций и протяженности электрических сетей увеличивается напряжение распределительных сетей. В настоящее время распределительные сети выполняются и на напряжение 110-220 кВ. Для энергоемких промышленных предприятий распределительные сети выполняют на напряжение 500 кВ.

Эта классификация условна, т.к. одни и те же сети в настоящее время выполняют несколько функций, например, являются питающими и распределительными одновременно. Мы будем ею пользоваться лишь для понимания особенностей физических процессов, происходящих при транспорте и распределении электроэнергии.

Согласно ГОСТ 24291-90 электрические сети по назначению делятся на системообразующую электрическую сеть, сеть высших классов напряжения, обеспечивающую надежность и устойчивость энергосистемы как единого объекта, и распределительную электрическая сеть, обеспечивающую распределение электрической энергии между пунктами потребления.

По характеру потребителя сети делятся на:промышленные,городские,сельские, электрифицированных железных дорог,магистральных нефте- и газопроводов.

По конфигурации сети делятся на:замкнутые и разомкнутые.

Замкнутыесети делятся на:простые замкнутые: кольцевые и сети с двухсторонним питанием,сложнозамкнутые сети.

Разомкнутые сети делятся нарадиальные, магистральные, радиально-магистральные или разветвленные.

По размерам территории сети делятся на местные (напряжением до 35 кВ), районные (напряжением 110-220 кВ), региональные (напряжением 330 кВ и выше).

По отношению к помещениям сети делятся на внутренние и наружные.

По конструктивному выполнению сети делятся навоздушные; кабельные;токопроводы промышленных предприятий;проводки внутри зданий и сооружений

Воздушные сети характерны для питающих и системообразующих сетей, для электроснабжения сельских потребителей. Кабельные сети применяются на промышленных предприятиях и в городах. Это распределительные сети.

Линии электропередачи переменного и постоянного тока.

Электрические сети переменного тока характеризуются многоступенчатостью, т.е. большим числом трансформации по пути движения тока от генерации к потребителю. Топологическая структура отдельных частей – участков сети сложна и насчитывает десятки и сотни узлов, ветвей и замкнутых контуров. Помимо сложности конфигурации электрические сети переменного тока характеризуются множеством режимов.

Линии ВН и СВН служат для передачи больших мощностей на большие расстояния, в сотни и тысячи км. Линии 110-220 кВ служат для связи электростанций в системе и для распределения электроэнергии между потребителями на расстояния десятков км. По линиям СН осуществляется распределение электроэнергии на небольшие расстояния потребителям небольшой и средней мощности. Линии НН соединяют электроэнергетическую систему непосредственно с потребителями малой мощности. Они используются и вне электроэнергетической системы для осуществления прямой связи источников тока низкого напряжения с отдельными токоприемниками низковольтных сетей. Необходимо отметить, что линия 1150 кВ в настоящее время отключена.

Среди электрических сетей выделяют линии электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН). Линии электропередачи СВН переменного тока являются межсистемными связями. Для них характерны большая протяженность (более 500 км) и значительная передаваемая мощность (более 500 МВА на одну цепь). В таких линиях применяют расщепление проводов. В этих линиях проявляется волновой характер электропередачи.

К особенностям ЛЭП сверхвысокого напряжения относятся учет распределенности параметров и волновых свойств линии;необходимость применения специальных устройств и мероприятий для управления режимом линии и увеличения пропускной способности линии;волновой характер передачи энергии, который совершается за счет движения результирующих волн напряжения и тока.

Основными характеристиками бегущей волны является фазовая скорость и длина волны.

Длиной волны называется расстояние между двумя соседними точками на линии, фазы колебаний которых отличаются на 2π.

Волновое сопротивление, определяющее токи прямой и обратной волн по соответствующим напряжениям, является функцией параметров линии, связанных с ее конструкцией.

Волновой длиной линииназывается величина, характеризующая изменение фазы напряжения или тока при распространении волны от конца к началу линии.

Натуральная мощность протекает по линии, когда сопротивление нагрузки на ее конце равно волновому сопротивлению.

ДляЛЭП СВН характерны большие зарядные мощности, которые приводят к недопустимому росту напряжения по всей длине линии, либо по ее концам в зависимости от режима работы. Поэтому подключают на концах линии и иногда посередине линии реакторы поперечной компенсации - шунтирующие реакторы. В настоящее время осуществляется замена морально устаревших шунтирующих реакторов на управляемые шунтирующие реакторы (УШР) или статические тиристорные компенсаторы или СТАТКОМы.

Для повышения пропускной способности электропередачи СВН большой длины в рассечку линий включают устройства продольной компенсации (УПК). Чем меньше индуктивное сопротивление электропередачи, тем большую мощность можно пропустить по линии. При компенсации реактивного сопротивления электропередачи на 25% пропускная способность увеличивается на 30-40 %, а при компенсации на 50% - в 1,7-2 раза.

Передача электрической энергии на большие расстояния также обеспечивается установкой промежуточных подстанций на расстоянии 200-400 км для промежуточного отбора мощности и повышения пропускной способности электропередачи при повреждениях.

Линии СВН на постоянном токе. Выработка электроэнергии генераторами осуществляется на переменном токе, затем трансформируется на более высокие напряжения. Для передачи на дальние расстояния служат линии постоянного тока. Линии постоянного тока связывают две энергосистемы: передающую и приемную. Принцип электропередачи постоянным током следующий. С помощью выпрямителей преобразовательной подстанции (выпрямительная подстанция) переменный ток преобразуется в постоянный и передается по линии. На другом конце линии также установлена преобразовательная подстанция (инверторная подстанция), где с помощью инверторов постоянный ток преобразуется в переменный. Для обеспечения работы преобразовательных подстанций необходима значительная реактивная мощность (примерно 50% от передаваемой активной). Эта мощность должна покрываться генераторами, имеющимися в системе, и источниками реактивной мощности, компенсирующими устройствами большой мощности, устанавливаемыми поблизости от преобразователей. Для сглаживания пульсаций тока и ограничения скорости возрастания его при повреждениях в линию включают реакторы. Отключение линий постоянного тока производится закрытием вентилей на преобразовательной подстанции, поэтому электропередача постоянного тока выполняется без присоединения других инверторных подстанций в промежуточных пунктах линии. Техническая трудность осуществления разветвленных линий электропередачи постоянного тока вызвана также особенностями их режимного регулирования.

Рассмотрим преимущества и недостатки передачи постоянным током.

К преимуществам относятся следующие особенности ППТ:

- предел передаваемой мощности по линии не зависит от ее длины и больше, чем у передачи переменного тока;
- снимается понятие предела по статической устойчивости, поэтому не требуется расчет устойчивости ЭЭС.;
- для таких линий достаточно двух проводов или одного, если в качестве второго использовать землю. Конструкции линий постоянного тока проще, чем переменного тока;
- энергосистемы, связанные ЛЭП постоянного тока могут работать не синхронно или с различными частотами;
- возможен реверс мощности.

К существенным недостаткам таких линий относятся следующие:

- наличие выпрямительных устройств ведет к искажению качества электроэнергии;
- невозможен или затруднителен отбор мощности;
- большая стоимость электропередачи.

В передачах постоянного тока требуется, чтобы перед включением были примерно одинаковыми полярность и напряжения по концам.

ППТ становится экономически целесообразной только при больших расстояниях, при длине линий примерно от 1200 км и больше и передаче мощности свыше 2000 МВт.

Ряда указанных выше недостатков лишена вставка постоянного тока. В случае применения вставки постоянного тока электроэнергия от передающей энергосистемы по линиям СВН переменного тока доставляется до границы с приемной ЭЭС, где установлена вставка постоянного тока, на которой переменный ток преобразуется в постоянный, и здесь же в машинном зале из постоянного тока в переменный. Основным ее преимуществом перед ППТ является отсутствие самой линии, что существенно снижает стоимость и позволяет связывать ЭЭС, работающие в несинхронном режиме или с разными частотами, осуществлять реверс мощности.

Понижающие и преобразовательные подстанции.

Электрическая подстанция – это электроустановка, предназначенная для приема, преобразования (трансформации) и распределения электроэнергии, состоящая из силовых трансформаторов (автотрансформаторов) и распределительных устройств разных классов номинального напряжения, вспомогательных устройств. Подстанции (ПС) предназначены для связи генераторов и потребителей электроэнергии с ЛЭП и для связи отдельных частей электроэнергетической системы.

В зависимости от назначения подстанции подразделяются на трансформаторные, распределительные, преобразовательные (выпрямительные), переключательные пункты. Распределительная подстанция (или распределительный пункт) – это подстанция, которая получает и распределяет электроэнергию на одном напряжении (без трансформации). Преобразовательная подстанция предназначена для преобразования переменного тока в постоянный.

Средства управления потоками реактивной мощности, регулирования напряжения в сети:

устройства продольной компенсации (УПК), включая управляемые УПК (УУПК);

дискретно регулируемые батареи статических конденсаторов (БСК), в т.ч. подключаемые к сетям высокого напряжения;

управляемые шунтирующие реакторы (УШР), в том числе для компенсации дискретного управления БСК с большим шагом;

статические тиристорно-управляемые компенсаторы (СТК);

статические компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ) на базе управляемых силовых приборов полупроводникового типа (IGCT и IGBT по международной классификации).

К устройствам, позволяющим регулировать переток по ВЛ, в том числе перераспределять определенным образом перетоки мощности по разным ВЛ относятся:

устройства продольной компенсации (УПК), включая управляемые УПК (УУПК);

фазоповоротные трансформаторы, в том числе с управлением на элементах силовой электроники (бесконтактное переключение) – управляемые трансформаторы (УТ) или объединенные регуляторы потоков мощности (ОРПМ);

вставки постоянного тока, в том числе на базе двух встречно включенных СТАТКОМов;

реакторы продольного включения (нерегулируемые и регулируемые).

1.2. Схемы электрических сетей

Наиболее общим является разделение сетей по их схемам соединения на разомкнутые и замкнутые. Вторым важным признаком, по которому делятся схемы соединения сетей, является наличие или отсутствие резервирования.

В разомкнутых сетях резервирование соответствует применению двух параллельных или двухцепных линий, нерезервированные разомкнутые сети выполняются одноцепными линиями.

Разомкнутыми называют такие сети, которые питаются от одного пункта и передают электрическую энергию к потребителю только в одном направлении. Разомкнутые сети бывают магистральными, радиальными и радиально-магистральными (разветвленными). В разомкнутых резервированных сетях при нарушении питания по одной изЛЭП вручную или автоматически включается резервная перемычка, по которой восстанавливается электроснабжение отключенных потребителей. Несмотря на многообразие применяемых конфигураций и схем, любую сеть можно разделить на отдельные участки, опирающиеся на центры питания (ЦП), и отнести к одному из рассмотренных ниже типов.

Типы схем соединения разомкнутых электрических сетей: магистральная нерезервированная схема; радиальная нерезервированная схема; радиально-магистральная (разветвленная) нерезервированная схема; магистральная резервированная схема; радиальная резервированная схема; радиально-магистральная (разветвленная) резервированная схема.

Разомкнутые нерезервированные сети применяются для передачи электроэнергии к потребителям III категории и в некоторых специально обоснованных технико-экономическими расчетами случаях для электроснабжения потребителей II категории.

Магистральная линия предназначена для питания нескольких потребителей, расположенных в одном направлении. Эта сеть является наиболее дешевой, однако обеспечивает наименьшую на-

дежность; получила широкое распространение как первый этап развития сети – при небольших нагрузках присоединенных подстанций и возможности их резервирования по сети СН или НН. Недостаток такой сети заключается в низкой надежности. При аварии на головном участке ЦП1 и его отключении отключаются все потребители, питающиеся от одной магистрали. При аварии на промежуточном участке отключаются все потребители, расположенные за этим участком.

В радиальной сети каждый потребитель питается по своему радиальному участку сети. В таких сетях надежность выше, т.к. при аварийном отключении одной из линий теряется одна подстанция.

Радиально-магистральная сеть содержит как магистральные, так и радиальные линии. Такие схемы широко применяются в сельских распределительных сетях, а также для электроснабжения бытовых потребителей небольших городов и поселков и промышленных потребителей III категории

Разомкнутые резервированные сети применяются для электроснабжения потребителей I, II категорий. Такие сети выполняются в виде двух параллельных или двухцепных линий. При выходе из строя одной цепи вторая остается в работе и потребители I, а в большинстве случаев и II категории продолжают снабжаться электроэнергией. Разомкнутые резервированные схемы широко применяют в распределительных, а также в промышленных и городских сетях.

Замкнутые сети – это резервированные сети. Здесь потребитель получает питание не менее чем по двум ветвям. Можно сказать, что замкнутыми называют сети, по которым потребители питаются, по меньшей мере, с двух сторон.

Замкнутые сети делятся на простые замкнутые и сложнозамкнутые. В простых замкнутых каждый узел питается не более чем по двум ветвям, в сложнозамкнутых сетях имеется несколько контуров. Замкнутые сети более надежны, чем разомкнутые, в них меньше потери мощности. Недостаток замкнутых сетей состоит в усложнении эксплуатации.

Широкое применение находит замкнутая одинарная сеть, опирающаяся на два ЦП – линия с двусторонним питанием. Эта конфигурация образуется в результате поэтапного развития сети между двумя ЦП. Преимуществами такой конфигурации являются возможность охвата территории сетями, создание «шин» между двумя ЦП для присоединения по мере необходимости новых подстанций, уменьшение суммарной длины ВЛ по сравнению с присоединением каждой подстанции по кратчайшему пути, что приводит к созданию сложнозамкнутой сети, возможность присоединения подстанций по упрощенным схемам.

Модификацией замкнутой одинарной сети является замкнутая двойная сеть, опирающаяся на два ЦП (рис. 1.12,г). Применяется при более высоких плотностях нагрузок, обладает теми же преимуществами, что и одинарная сеть.

При электроснабжении района от одного ЦП находят применение замкнутые сети кольцевой конфигурации одинарные и двойные. Достоинством этих схем является высокая надежность электроснабжения потребителей (обеспечивается питание каждого потребителя по двум независимым участкам сети) и возможность применения простых схем присоединения подстанций.

Линии с двухсторонним питанием и простые замкнутые сети широко применяются в сельских и городских распределительных сетях.

Из-за сложности автоматизации и защиты простые замкнутые сети, питающие городских и сельских потребителей, эксплуатируются в разомкнутом режиме. Такие простые замкнутые, но работающие в разомкнутом режиме сети называются петлевыми. В нормальном режиме петлевые сети работают в разомкнутом режиме и могут быть легко автоматизированы и защищены, их эксплуатация в нормальном режиме проста. При авариях потребители отключаются только на время оперативных переключений. Применение петлевых сетей возможно только для потребителей, допускающих подобный перерыв в электроснабжении. Таким образом, надежность петлевых сетей выше, чем разомкнутых, хотя и несколько ниже, чем, если бы они работали в замкнутом режиме. В настоящее время в петлевых сетях в точках размыкания применяют вакуумные реклоузеры, что значительно повышает надежность работы таких сетей. Время автоматического включения реклоузера составляет секунды.

Сложнозамкнутые схемы содержат несколько замкнутых контуров. В этих сетях есть хотя бы один узел, получающий питание по трем и более ветвям. Сложнозамкнутые схемы широко распространены в питающих сетях.

Узловая сеть имеет более высокую надежность, чем предыдущие конфигурации сети, за счет присоединения к трем ЦП, однако плохо управляема в режимном отношении и требует сооружения сложной узловой подстанции. Многоконтурная сеть является, как правило, результатом неуправляемого развития сети в условиях ограниченного количества и неравномерного размещения ЦП. Характеризуется сложными схемами подключения подстанций и трудностями обеспечения оптимального режима.

По способу присоединения к сети подстанции делятся на:

-тупиковые, т.е. присоединенные в конце сети;

- ответвительные, т.е. питающиеся от ответвлений;

- проходные, т.е. присоединенные по схеме заход-выход (заход на нее линии с двухсторонним питанием);

- узловые, т.е. присоединенные к сети не менее чем по трем линиям.

Тупиковая или концевая подстанция присоединяется в конце магистральных, радиальных или радиально-магистральных сетей.

Мощность, текущая от ЦП к тупиковой подстанции, поступает только к потребителю этой подстанции и не течет дальше, так как после этой подстанции нет других линий. Именно поэтому подстанции этого типа называются тупиковыми. Тупиковая подстанция подключается в конце одной или двух параллельных радиальных линий. В магистральной сети последняя подстанция тупиковая.

Ответвительные подстанции питаются от линии электропередачи через ответвления. Присоединение к линии при помощи ответвлений дешевле, так как требует меньше коммутационных аппаратов. Эксплуатация линии с ответвлениями менее удобна, поскольку при ремонте каждого из ее участков надо отключать всю линию. Ответвления от линий широко применяются в воздушных сетях, но нецелесообразны в кабельных сетях из-за продолжительного ремонта кабельных линий. Ответвительные подстанции могут присоединяться к одной или двум магистральным линиям либо к одной или двум линиям с двухсторонним питанием.

Проходная подстанция присоединяется к сети путем захода на нее одной линии с двухсторонним питанием. Проходные подстанции применяются в простых замкнутых сетях.

Ответвительные и проходные подстанции объединяют термином промежуточные, который соответствует размещению подстанций между двумя центрами питания (или узловыми подстанциями) либо между ЦП и концом линии.

Узловые подстанции присоединяются к сети не менее чем по трем линиям, по которым мощность течет к подстанции (питающие линии). Узловые подстанции применяются в сложнозамкнутых сетях.

Проходные или узловые подстанции, через шины которых осуществляются перетоки мощности между отдельными точками сети, называют транзитными.

Схема электрических соединений подстанции должна обеспечивать надежное электроснабжение присоединенных потребителей и надежный транзит мощности через подстанцию в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах. При выборе схемы подстанции должно быть предусмотрено последующее развитие распределительного устройства (РУ) без значительных работ по реконструкции и перерывов в электроснабжении потребителей. Для достижения высокой надежности и удобства эксплуатации большое значение имеет унификация конструктивных решений по подстанциям. Для унификации конструктивных решений по подстанциям необходимо применять типовые главные схемы электрических соединений.

Главные схемы электрических соединений подстанций должны выбираться с использованием типовых схем РУ 35–750 кВ. Области применения типовых схем приведены в [10].

Нетиповые главные схемы могут применяться только в случае специального технико-экономического обоснования. Как правило, нетиповые схемы применяют при реконструкции и эксплуатации действующих подстанций.

1.3. Конструктивное исполнение электрических сетей

Воздушные линии

Основными конструктивными элементами ВЛ являются провода, грозозащитные тросы, опоры, изоляторы и линейная арматура. Провода служат для передачи электроэнергии. Грозозащитные тросы нужны для защиты от перенапряжений. Опоры поддерживают провода и тросы на определенной высоте над уровнем земли или воды. Изоляторы изолируют провода от опоры. С помощью линейной арматуры провода закрепляются на изоляторах, а изоляторы на опорах.

На ВЛ применяются преимущественно неизолированные (голые) *провода.* По конструктивному исполнению провода могут быть одно- и многопроволочными, полыми. Для придания им гибкости и большей механической прочности провода изготавливают многопроволочными из одного металла (алюминия или стали) и из двух металлов (комбинированные) — алюминия и стали. Сталь в проводе увеличивает механическую прочность.

Исходя из условий механической прочности, алюминиевые провода марок А и АКП применяют на ВЛ напряжением до 35 кВ. Воздушные линии 6—35 кВ могут также выполнятся сталеалюминиевыми проводами, а выше 35 кВ на линиях применяются только сталеалюминиевые провода. Сталеалюминиевые провода имеют вокруг стального сердечника повивы из алюминиевых проволок. Площадь сечения стальной части обычно в 4—8 раз меньше алюминиевой, но сталь воспринимает около 30—40 % всей механической нагрузки. Различают алюминиевые провода марок А, АН, АЖ, сталеалюминиевые марок – АС, АСК, АСКП, АСКС.

Сечения проводов нормированы государственным стандартом.

Маркировки проводов:

- медные М, например М-35;
- алюминиевые А, например А-70;
- стальные С, например С-25;
- сталеалюминиевые АС, например АС-300/66.

В марке сталеалюминиевых проводов указывается сечение алюминиевой и стальной части, а также данные об антикоррозийной защите, например, АСКС, АСКП — такие же провода, как и АС, но с заполнением сердечника (С) или всего провода (П) антикоррозийной смазкой; АСК — такой же провод, как и АС, но с сердечником, покрытым полиэтиленовой пленкой. Провода с антикоррозийной защитой применяются в районах, где воздух загрязнен примесями, действующими разрушающе на алюминий и сталь.

Повышение диаметров проводов при неизменности расходования проводникового материала может осуществляться применением проводов с наполнителем из диэлектрика и полых проводов. Такое использование снижает потери на коронирование. Провода из сплавов алюминия (АН — нетермообработанные, АЖ — тсрмообработанные) имеют большую по сравнению с алюминиевыми механическую прочность и практически такую же электрическую проводимость. Они используются на ВЛ напряжением выше 1 кВ в районах с толщенной стенки гололеда до 20 мм.

Полые провода марок ПА (из алюминия) и ПМ (из меди) применяют, в основном, для ошиновки на открытых подстанциях и переключательных пунктах напряжением 220 кВ и выше.

Все большее применение находят ВЛ с самонесущими изолированными проводами (СИП) напряжением 0,38—10 кВ. В линиях напряжением 380/220 В провода состоят из несущего изолированного или неизолированного провода, являющегося нулевым, трех изолированных фазных проводов, одного изолированного провода (любой фазы) наружного освещения. Фазные изолированные провода навиты вокруг несущего нулевого провода. Несущий провод является сталеалюминиевым, а фазные — алюминиевыми. Последние покрыты светостойким термостабилизированным (сшитым) полиэтиленом (провод типа АПВ). К преимуществам ВЛ с изолированными проводами перед линиями с голыми проводами можно отнести отсутствия изоляторов на опорах, максимальное использование высоты опоры для подвески проводов; нет необходимости в обрезке деревьев в зоне прохождения линии.

В настоящее время применяют также композитные провода, например, алюминиевый композитный усиленный провод 3M™ ACCR.

Грозозащитные тросы наряду с искровыми промежутками, разрядниками, ограничителями напряжений и устройствами заземления служат для защиты линии от атмосферных перенапряжений (грозовых разрядов). Тросы подвешивают над фазными проводами на ВЛ напряжением 35 кВ и выше в зависимости от района по грозовой деятельности и материала опор, что регламентируется Правилами устройств электроустановок (ПУЭ). В качестве грозозащитных проводов обычно применяют стальные оцинкованные канаты марок С 35, С 50 и С 70, а при использовании тросов для высокочастотной связи — сталеалюминевые провода. Крепление тросов на всех опорах ВЛ напряжением 220—750 кВ должно быть выполнено при помощи изолятора, шунтированного искровым промежутком. На линиях 35—110 кВ крепление тросов к металлическим и железобетонным промежуточным опорам осуществляется без изоляции троса.

По конструктивному исполнению *опор* наиболее распространены одно- и двухцепные ВЛ. На трассе линии могут сооружаться до четырех цепей. Трасса линии — полоса земли, на которой сооружается линия. Одна цепь высоковольтной ВЛ объединяет три провода (комплекта проводов) трехфазной линии, в низковольтной — от трех до пяти проводов. В целом конструктивная часть ВЛ характеризуется типом опор, длинами пролетов, габаритными размерами, конструкцией фаз, количеством изоляторов.

Опоры ВЛ делятся на анкерные и промежуточные. Опоры этих двух основных групп различаются способом подвески проводов. На промежуточных опорах провода подвешиваются с помощью поддерживающих гирлянд изоляторов. Опоры анкерного типа служат для натяжения проводов, на этих опорах провода подвешиваются с помощью подвесных гирлянд. Расстояние между промежуточными опорами называется промежуточным пролетом или просто пролетом, а расстояние между анкерными опорами – анкерным пролетом.

Анкерные опоры предназначены для жесткого закрепления проводов в особо ответственных точках ВЛ: на пересечениях особо важных инженерных сооружений (например, железных дорог, ВЛ 330–500 кВ, автомобильных дорог шириной проезжей части более 15 м и т. д.), на концах ВЛ и на концах прямых ее участков. Анкерные опоры на прямых участках трассы ВЛ при подвеске проводов с обеих сторон от опоры с одинаковыми тяжениями в нормальных режимах работы ВЛ выполняют те же функции, что и промежуточные опоры. Но анкерные опоры рассчитываются также и на восприятие значительных тяжений по проводам и тросам при обрыве части из них в примыкающем пролете.

Анкерные опоры значительно сложнее и дороже промежуточных и поэтому число их на каждой линии должно быть минимальным. В наихудших условиях находятся концевые анкерные опоры, устанавливаемые при выходе линии с электростанции или на подходах к подстанции. Эти опоры испытывают одностороннее тяжение всех проводов со стороны линии, так как тяжение проводов со стороны портала подстанции незначительно.

Промежуточные прямые опоры устанавливаются на прямых участках ВЛ для поддержания провода в анкерном пролете. Промежуточная опора дешевле и проще в изготовлении, чем анкерная, так как благодаря одинаковомутяжению проводов по обеим сторонам она при необорванных проводах, т. е. в нормальном режиме, не испытывает усилий вдоль линии. Промежуточные опоры составляют не менее 80–90 % общего числа опор ВЛ.

Угловые опоры устанавливают в точках поворота линии. Углом поворота линии называется угол в плане линий, дополнительный до 180° к внутреннему углу линии. Траверсы угловой опоры устанавливают по биссектрисе угла. Угловые опоры могут быть анкерного и промежуточного типа. Промежуточные угловые опоры применяются для углов поворота линий до 10–20°. В остальных случаях применяют анкерные угловые опоры.

К опорам специального назначения относятся транспозиционные– для изменения расположения проводов на опорах; ответвительные– для выполнения ответвлений от основной линии; переходные – для пересечения рек, ущелий и т.д.

Транспозицию применяют на линиях напряжением 110 кВ и выше протяженностью более 100 км для того, чтобы сделать емкость и индуктивность всех трех фаз цепи ВЛ одинаковыми.

Расположение проводов на опорах. Провода могут образовывать один, два или три яруса. Расположение проводов в один ярус принято называть горизонтальным, в два или три яруса без

смещения по горизонтали называется вертикальным. Расположение проводов в два или три яруса, при котором находящиеся друг над другом провода имеют горизонтальное смещение называется смешанным.Наиболее распространенные расположения проводов на опорах: треугольником, горизонтальное, обратной елкой, бочкой.

Расположение проводов треугольником применяют на ВЛ 20 кВ и на одноцепных ВЛ 35–330 кВ с металлическими и железобетонными опорами. Горизонтальное расположение проводов используют на ВЛ 35 – 220 кВ с деревянными опорами и на ВЛ 330 кВ. Это расположение проводов позволяет применять более низкие опоры и уменьшает вероятность схлестывания проводов при образовании гололеда и пляске проводов. Поэтому горизонтальное расположение предпочтительнее в гололедных районах.

На двухцепныхВЛ расположение проводов обратной елкой удобнее по условиям монтажа, но увеличивает массу опор и требует подвески двух грозозащитных тросов. Наиболее экономичны на двухцепныхВЛ 35–330 кВ стальные и железобетонные опоры с расположением проводов бочкой (шестиугольником).

По материалуопоры делятся на:деревянные, металлические, железобетонные.

Деревянные опоры изготавливают из сосны или лиственницы и применяют на линиях напряжением до 110 кВ в лесных районах, но все реже. Основными элементами опор являются пасынки (приставки), стойки, траверсы, раскосы, подтраверсные брусья и ригели. Опоры просты в изготовлении, дешевы, удобны в транспортировке. Основной их недостаток — недолговечность из-за гниения древесины, несмотря на ее обработку антисептиком. Применение железобетонных пасынков (приставок) увеличивает срок службы опор до 20—25 лет.

Металлические (стальные) опоры применяют на линиях напряжением 35 кВ и выше. Металлические опоры используются в тех случаях, когда технически сложно и неэкономично сооружать ВЛ на деревянных и железобетонных опорах (переходы через реки, ущелья, выполнение отпаек от ВЛ и т. п.).К основным элементам относятся стойки, траверсы, тросостойки, оттяжки и фундамент. Они прочны и надежны, но достаточно металлоемкие, занимают большую площадь, требуют для установки сооружения специальных железобетонных фундаментов и в процессе эксплуатации должны окрашиваться для предохранения от коррозии.

Устанавливают металлические опоры на железобетонных фундаментах. Эти опоры по конструктивному решению тела опоры могут быть отнесены к двум основным схемам – башенным или одностоечным и портальным, а по способу закрепления на фундаментах – к свободностоящим опорам и опорам на оттяжках. Анкерные опоры отличаются от промежуточных увеличенными вылетами траверс и усиленной конструкцией тела опоры. На ВЛ 500 кВ, как правило, применяется горизонтальное расположение проводов.

Железобетонные опоры наиболее широко применяются на линиях напряжением до 750 кВ. Они могут быть свободностоящими (промежуточными) и с оттяжками (анкерными). Железобетонные опоры долговечнее деревянных, просты в эксплуатации, дешевле металлических. Траверсы одностоечных опор металлические оцинкованные. Одностоечные опоры 6–10 кВ и 35–220 кВ бывают как свободностоящие, так и на оттяжках (анкерные угловые). Портальные опоры как свободностоящие, так и на растяжках применяются на ВЛ 330–500 кВ. Провод каждой фазы ВЛ 500 кВ расщеплен на три.

В России разработали унифицированные металлические и железобетонные опоры различных типов для ВЛ всех напряжений, что позволяет серийно их производить, ускорять и удешевлять сооружение линий.

Стальные многогранные опоры ЛЭП предназначены для установки на высоковольтных линиях электропередачи. Опоры ЛЭП эксплуатируются в I-V ветровых и гололедных районах в населенной и ненаселенной местности в соответствии с ПУЭ-7 в районах с расчётной температурой воздуха до -65˚С и выше. Многогранные металлические опоры выполнены из стоек в виде полых усечённых пирамид из стального листа с поперечным сечением в форме правильного многогранника. Секции стоек соединены между собой телескопическим или фланцевым соединениями. Траверсы таких опор выполнены многогранными, решётчатыми или изолирующими. Опоры изготав-

ливаются из стали марки С345 по ГОСТ 27772-88. Антикоррозионная защита выполняется при помощи горячего оцинкования и цинконаполненного композитного покрытия.

Преимущества многогранных опор ЛЭП:

- Малые сроки строительства. Сроки строительства ВЛ на многогранных опорах имеют двух- четырехкратное преимущество перед ВЛ на железобетонных и решетчатых опорах. Это обусловлено снижением трудозатрат за счет увеличенных пролетных расстояний, простоты установки многогранных опор, а также малого количества сборочных элементов.
- Экономическая эффективность. Такие опоры эффективнее железобетонных и металлических опор решетчатого типа. Это обусловлено увеличением пролетных расстояний, снижением затрат на транспортировку и строительно-монтажные работы, а также более низкими затратами на эксплуатацию, более длительным сроком службы, низкими затратами на ликвидацию и утилизацию.
- Транспортабельность. Многогранные опоры отличает низкая стоимость транспортировки: в 1,5-2 раза дешевле решетчатых, и в 3-4 раза дешевле железобетонных опор.
- Малый землеотвод. При применении многогранных опор затраты на постоянный землеотвод снижаются примерно в 2 раза.
- Надёжность многогранных опор. Многогранные опоры надежнее традиционных. Долговечность, в среднем составляет для бетонных опор 30 лет, для решетчатых – 40 лет, а для многогранных - 50 лет. Повреждения ЛЭП на многогранных стойках значительно реже, чем у традиционных опор, На линиях отсутствуют катастрофические разрушения, типичные для железобетонных и металлических решётчатых опор.
- Вандалоустойчивость.
- Качественная однородность.
- Простота демонтажа, утилизации при ликвидации.

Изоляторы предназначены для изоляции и крепления проводов. Изготавливаются они из фарфора, закаленного стекла и полимеров – материалов, обладающих высокой механической и электрической прочностью и стойкостью к атмосферным воздействиям. Существенным достоинством стеклянных изоляторов является то, что при повреждении закаленное стекло рассыпается. Это облегчает нахождение поврежденных изоляторов на линии.

Полимерные изоляторы представляют собой стержневой элемент из стеклопластика, защищенный покрытием с ребрами из фторопласта или кремнеорганической резины. Стержневые изоляторы по сравнению с подвесными имеют меньший все и стоимость, более высокую механическую прочность, чем из закаленного стекла.

Линейная арматура включает следующие основные виды:

- зажимы для закрепления проводов в гирляндах изоляторов,
- сцепная арматура для подвески гирлянд на опорах и соединения их друг с другом,
- соединители - для соединения проводов и тросов в пролете,
- гасители вибрации или демпфирующие петли для уменьшения вибрации и излома проводов,
- распорки для фиксации проводов расщеплений фазы относительно друг друга.

К компактным линиям относятся управляемые самокомпенсирующисся линии и управляемые линии с нетрадиционной конфигурацией расщепленных фаз. Они представляют собой двухцепные линии, в которых попарно сдвинуты одноименные фазы разных цепей. При этом к цепям подводятся напряжения, сдвинутые на определенный угол. За счет режимного изменения с помощью специальных устройств угла фазового сдвига осуществляется управление параметрами линий.

Кабельные линии

Кабельной называется линия для передачи электроэнергии, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами и крепежных деталей. По сравнению с ВЛ кабельные линии (КЛ) намного дороже и имеют меньшую пропускную способность на единицу сечения (из-за температурных ограничений на изоляцию). К преимуществам кабельных линий относятся их неподверженность атмосферным воздействиям

(гололеду, ветровой нагрузке, грозовым поражениям), а также недоступность трассы для посторонних лиц. КЛ прокладывают там, где строительство ВЛ невозможно (стесненность территории, по технике безопасности, архитектурным соображениям и т. п.)

Существуют силовые, контрольные кабели и кабели управления.

Силовые кабели различают по напряжению, сечению и числу жил, а также маркировке, отражающей конструкцию кабеля.Силовые кабели состоят из одной или нескольких токоведущих жил, изоляции фазной и поясной, защитной оболочки, брони, наружного защитного покрова. Между защитной оболочкой и броней может быть подушка под броней.

Токопроводящие жилы изготавливают из алюминия или меди. Силовые кабели имеют от одной до четырех жил сечением 1,5—2000 мм^2. Жилы сечением до 16 мм^2 — однопроволочные, свыше — многопроволочные. По форме сечения жилы круглые, сегментные или секторные. Кабели напряжением до 1 кВ выполняются, как правило, четырехжильными, напряжением 6—35 кВ — трехжильными, а напряжением 110—500 кВ — одножильными. В последнее время выпускаются трехжильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 110-220 кВ.

Изоляция выполняется бумажной, пропитанной маслом, полиэтиленовой, резиновой. В кабелях на напряжение 1—35 кВ для повышения электрической прочности между изолированными жилами и оболочкой прокладывается слой поясной изоляции. Для повышения электрической прочности бумажной изоляции кабели напряжением 110 кВ и выше наполняют газом или маслом под избыточным давлением (газонаполненные и маслонаполненные кабели).

Защитные оболочки, накладываемые поверх изоляции для ее предохранения от влаги и воздуха, бывают свинцовыми, алюминиевыми, поливинилхлоридными, резиновыми. В кабелях напряжением 35 кВ каждая жила дополнительно заключается в свинцовую оболочку, что создает более равномерное электрическое поле и улучшает отвод тепла. Выравнивание электрического поля у кабелей с пластмассовой изоляцией и оболочкой достигается экранированием каждой жилы полупроводящей бумагой.

Броня изготавливается из стальных лент или стальных оцинкованных проволок и служит для защиты оболочек от механических повреждений.

Подушка под броней (внутренний защитный покров) прокладывается между металлической оболочкой и броней – это джутовая прослойка из хлопчатобумажной пропитанной пряжи или из кабельной сульфатной бумаги. Поверх этой бумаги накладывают еще две поливинилхлоридные ленты.

Наружный защитный покров служит для защиты брони кабеля и может быть из джута, пропитанного антикоррозийным составом или шланга.

Газонаполненные кабели применяются при напряжении 10–110 кВ. Это освинцованные кабели с изолирующей бумагой, пропитанной относительно малым количеством компаунда. Кабель находится под небольшим избыточным давлением инертного газа (обычно азота), что значительно повышает изолирующие свойства бумаги. Постоянство давления обеспечивается тем, что утечки газа компенсируется непрерывной подпиткой. Кабели переменного тока 110 и 220 кВ изготовляют, как правило, одножильными.

Технология изготовления высоковольтных *силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена* (СПЭ-кабели, XLPE-кабели) является одной из наиболее прогрессивных технологий в кабельной технике. Сшитый полиэтилен (СПЭ) идеально подходит для изоляции высоковольтных кабелей. Современные СПЭ-кабели благодаря своей конструкции, технологии изготовления и совершенным изоляционным материалам технически более совершенны и более экономичны по сравнению с маслонаполненными кабелями и в последние годы быстро вытесняют в новых проектах кабели с бумажной изоляцией. Высокие термические и механические свойства достигаются изменением молекулярной структуры обычного полиэтилена путем создания новых молекулярных связей. СПЭ-кабели имеют меньший диаметр и легче, чем кабели с бумажно-масляной изоляцией, и поэтому они могут прокладываться большими длинами, что уменьшает число соединений и увеличивает надежность линий. Отсутствие жидких компонентов в изоляции позволяет использовать СПЭ-кабели в широком диапазоне окружающих температур и без ограничений по разности

высот прокладки. По этой же причине КЛ, выполненные СПЭ-кабелями, экологически более безопасны и не требуют постоянного контроля и обслуживания в процессе эксплуатации.

Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена в основном используются в крупных городах и на промышленных предприятиях, где уровень энергопотребления и плотность нагрузки чрезвычайно высоки. В России высоковольтные кабели с алюминиевыми и медными жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена использованы при реконструкции и строительстве сетей 110 и 220 кВ в Москве по проекту энергетического кольца. В Санкт-Петербурге применяются кабели на напряжение 330 кВ. Кабель 500 кВ с СПЭ-изоляцией эксплуатируется на Бурейской ГЭС. Во Владивостоке при вводе новых линий применены кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 110 и 220 кВ.

Токопроводящие медные или алюминиевые жилы СПЭ-кабелей изготавливаются уплотненными и герметизированными, а при сечении жилы более 1000-1200 мм^2 сегментированными для уменьшения поверхностного эффекта. Внутренний полупроводящий слой, изоляция и внешний полупроводящий слой выпресовываются одновременно из композиций сшиваемого полиэтилена высокой частоты. При этом толщина и эксцентриситет слоев непрерывно контролируются приборами лазерного контроля. Металлический экран кабеля состоит из медных проволок и спирально наложенной медной ленты. Сечение экрана выбирается по условию протекания токов короткого замыкания. Для обеспечения продольной герметизации используется слой водонабухающего материала. Для надежной защиты изоляции кабелей от влаги используется оболочка из алюмополимерной ленты, сваренной с полиэтиленовой или ПВХ оболочкой, для радиальной герметизации. Помимо оболочки из полиэтилена или ПВХ-пластиката (стандартный вариант для кабелей, проложенных в земле), может использоваться усиленная полиэтиленовая оболочка с продольными ребрами жесткости (для сложных трасс), а также гофрированная алюминиевая оболочка. Поверх внешней оболочки может накладываться слой, защищающий кабель от возгорания. Для измерения температуры нагрева кабеля по всей трассе и для передачи данных в кабель (между проволоками экрана или под свинцовой оболочкой) изготавливаются варианты с интегрированными оптоволоконными нитями.

В России освоен выпуск кабелей с с изоляцией из сшитого полиэтилена на номинальное напряжение 110 кВ (производитель – ЗАО “АББ Москабель”) с использованием новейших технологий (по лицензии фирмы ABB Energiekabel). С 2007 г. ОАО “Севкабель” выпускает кабели с изоляцией из пероксидносшитого полиэтилена на напряжение до 220 кВ включительно (по технологии фирмы Maillefer).

В настоящее время капитальные вложения в современные подземные высоковольтные КЛ могут в 5 раз и более превышать затраты на сооружение воздушных линий. Учет экономических и эксплуатационных факторов (минимальный землеотвод, высокая надежность, меньшие издержки при техническом обслуживании, меньшие потери, высокая устойчивость к кратковременным перегрузкам и др.) существенно снижает это соотношение в пользу кабелей. Усовершенствование технологий производства кабелей, их прокладки и монтажа приводит к снижению капитальных вложений на сооружение КЛ.

Марка кабелей состоит из начальных букв слов, характеризующих их конструкцию.

Жилы алюминиевых кабелей обозначают буквой А, медные – не имеют обозначения. Кабели с отдельно освинцованными жилами обозначают буквой О. Буквы в конце наименований кабелей обозначают: Шв – кабель в поливинилхлоридном шланге, Т – прокладываемый в трубопроводе, Н – с негорючим защитным покрытием. Кабели для вертикальных прокладок с обедненным пропиточным составом обозначаются в конце буквой В, а кабели с нестекающей массой на основе церезина – буквой Ц в начале. Маслонаполненные кабели низкого давления маркируются буквами МН в начале названия марки, кабели высокого давления – буквами МВД.

Приведем примеры марок кабелей: ААШв; ААБ; ААП2лШв; ОСБ; МВДТ; МНК; АПвП; АПвПС.

В обозначении кабеля указываются марка, количество и сечение жил. Может быть указано напряжение.

Кабельная арматура предназначена для соединения отдельных отрезков (строительных длин) кабеля, а также для присоединения концов кабелей к аппаратуре или шинам распределительных устройств. При прокладке отрезки соединяют посредством соединительных муфт, герметизирующих места соединения. При этом концы жил кабелей освобождают от изоляции и заделывают в соединительные зажимы. Для оконцевания кабелей служат концевые муфты и концевые заделки. Их основное назначение – герметизация кабелей в местах соединений и оконцеваний.

К современной кабельной арматуре относятся композитные концевые муфты наружной установки. Корпус муфты состоит из резиновой трубки, усиленной стекловолокном, с юбками из силиконовой резины. Конус выравнивания напряженности электрического поля выполнен из силиконовой резины, а пространство между конусом, изоляцией кабеля и внутренней поверхностью корпуса заполнено силиконовым маслом. Для герметизации используются термоусаживаемые компоненты, для соединения применяется болтовой соединитель со срывными головками.

Сюда же входят сухие концевые муфты наружной установки типа без заполнения маслом, состоящие из силиконового резинового корпуса с юбками со встроенным контактным электродом, силиконового конуса выравнивания напряженности электрического поля, металлического подпружинивающего кольца, изолированного кабельного сальника, болтового соединителя со срывными головками.

Способ прокладки кабелей определяется условиями трассы линии. Кабели прокладываются в земляных траншеях, блоках, каналах, кабельных туннелях, коллекторах, по кабельным эстакадам, а так же по перекрытиям зданий.

1.4. Исследование пропускной способности электрических сетей

Основными проблемамифункционирования электрических сетей являются: недостаточная пропускная способность межсистемных и системообразующих линий электропередачи; слабая управляемость электрических сетей; недостаточный объем средств регулирования напряжения и реактивной мощности; неоптимальное распределение потоков мощности в сетях разных классов номинального напряжения; снижение надежности электроснабжения потребителей. Также можно выделить проблему ограниченных возможностей распределительных сетей, структура которых обусловливает передачу электроэнергии по сетям в одном направлении — от крупных генерирующих установок к потребителям.

Значительная доля установленного оборудования в электросетевом комплексе физически и морально устарела. Средний технический уровень установленного подстанционного оборудования в распределительных электрических сетях по многим параметрам соответствует оборудованию, которое эксплуатировалось в технически развитых странах мира 25-30 лет назад. В большинстве территориальных сетевых организаций 90 % потребителей не имеют альтернативной линии среднего напряжения, причем существуют радиальные участки сетей высокого и среднего напряжения, повреждения на которых приводят к массовым отключениям потребителей. Характерной особенностью электрических сетей является большее, чем в зарубежных странах, число линий, отходящих с одной секции шин.

Перспективы развития электрических сетей в России и на Дальнем Востоке связаны с решением следующих задач:

• обеспечение надежности электроснабжения потребителей;

• обеспечение качества электроэнергии;

• развитие научного и инновационного потенциала электросетевого комплекса, в том числе в целях стимулирования развития смежных отраслей.

В течение ближайших 10-15 лет России предстоит внедрять технологии, которые уже используются в сетевых комплексах развитых стран. В частности, предстоит внедрять технологии «умных» электрических сетей, позволяющих повысить пропускную способность и стабильность энергоснабжения, сократить потери и издержки на технический и коммерческий учет у потребителя. Внедрение объектов распределенной генерации позволит:

• обеспечить более гибкое регулирование нагрузок в электрических сетях;

• компенсацию части сетевых потерь;

• решить вопросы электроснабжения в изолированныхэнергорайонах и позитивно повлиять на развитие сетевой структуры.

В среднесрочной перспективе уровень износа электрических сетей должен быть снижен в распределительных электрических сетях до 50 %, а в магистральных электрических сетях - до 45 %. При этом существующие ограничения темпов роста конечных тарифов на электрическую энергию для потребителей накладывают существенные ограничения на допустимый объем инвестиций в модернизацию и реновацию электрических сетей, в связи с чем в ближайшие годы организации отрасли должны будут сосредоточиться на выявлении и замене наиболее аварийного оборудования и оборудования, выход из строя которого будет иметь наиболее тяжелые последствия.

Для электрических сетейперспективы развития связаны с:

• модернизацией и применением инновационных технологий при реконструкции, техническом перевооружении и строительстве электрических сетей;

• созданием системы управления техническим состоянием электрических сетей;

• внедрением передовых технологий эксплуатации с использованием современных средств диагностики, мониторинга, а также технических и информационно-измерительных систем;

• разработкой рекомендаций по повышению пропускной способности электрических сетей и снижению потерь электрической энергии;

• совершенствованием нормативно-технической базы и методического обеспечения;

• определением основных направлений для развития и планирования деятельности научно-исследовательских организаций, заводов-изготовителей электротехнического оборудования и материалов.

Задачами перспективного развития электросетевого комплекса и электроэнергетики в целом являются:

• обеспечение надежного функционирования Единой энергетической системы России и технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем в долгосрочной перспективе;

• обеспечение баланса между производством и потреблением в Единой энергетической системе России и технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, в том числе предотвращение возникновения локальных дефицитов производства электрической энергии и мощности и ограничения пропускной способности электрических сетей;

Повышение эффективности электросетевого комплекса возможно за счет повышения загрузки силовых трансформаторов и линий, снижения величины потерь электроэнергии.

Намечены ориентиры развития сетевой инфраструктуры. К ним относятся применение нового поколения устройств силовой электроники, систем автоматического управления и защиты для решения проблемы полной наблюдаемости ЕЭС и управления электрическими режимами в реальном времени, что существенно повысит управляемость и эффективность ЕЭС и обеспечит повышение надежности электроснабжения потребителей до 0,9990–0,9997 с текущего уровня 0,9960.

Рассматривается методика исследованияперетоков мощности по линиям электропередачи разных классов номинального напряжения. Исследование соотношения активной и реактивной мощности направлено на оптимизацию коэффициента реактивной мощности в ветвях и узлах с целью исключения ситуаций, когда по линии коэффициент реактивной мощности варьируется в пределах от 2 до 10. Исследование режимов работы силовых трансформаторов направлено на выявление закономерностей изменения коэффициентов их загрузки, определения потерь мощности и энергии в динамике. Характеризуются методы анализа пропускной способности линий электропередачи, силовых трансформаторов при разных способах задания информации, проводится сравнительный анализ, рассматриваются особенности анализа пропускной способности электрических сетей при неполной достоверной информации, при недостоверной полной информации, при неопределенной информации. Показывается как снизить степень неопределенности информации, используемой при оценке перетоков мощности по линиям, при пропуске электроэнергии через трансформаторы. Приводится статистическая информация по оценке пропускной способности электрических сетей Дальнего Востока.

1.5. Исследование потерь электроэнергии в электрических сетях

Важнейшим количественным показателем технического состояния электрических сетей и уровня их эксплуатации является величина потерь электроэнергии и тенденции ее изменения. Величина потерь электроэнергии влияет как на технические, так и экономические показатели функционирования электрических сетей. Из-за высоких потерь электроэнергии снижается пропускная способность электрических сетей, наблюдаются неоптимальные режимы, уровни напряжения в узлах могут выйти за допустимые пределы. Кроме того, повышается износ изоляции и сокращение ее срока службы, что приводит к снижению надежности и повышению эксплуатационных издержек.

Как показал отечественный и зарубежный опыт, существует зависимость между ростом потерь электроэнергии в сетях и кризисом экономики, что особенно проявляется при рыночных методах управления энергетикой.По мнению международных экспертов, относительные потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях большинства стран можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4-5%. С точки зрения физики процесса передачи электроэнергии по сетям потери величиной 10% нужно считать максимально допустимыми.

В то же время в России относительные потери электроэнергии в 2-2,5 раза превышают уровень потерь в промышленно развитых странах (в странах ЕС они составляют 4-10%, в США - 9%, в Японии – 5-6%). При этом в электросетевых организациях их величина достигает 20% от отпуска электроэнергии в сеть, в ряде регионов – 30-40%, а зачастую значительно выше. За последние годы, начиная с 1994г., абсолютные потери электроэнергии в сетях выросли на 37,6%, а относительные – на 18,8%, в то время как отпуск электроэнергии в сеть увеличился лишь на 7,2%. Наблюдается следующая зависимость: в энергосистемах с мелкомоторной и коммунально-бытовой нагрузкой относительные потери, как правило, значительно выше, чем в энергосистемах с большой долей промышленного потребления.

Несмотря на существенный прогресс в части технического состояния систем учета электроэнергии, в настоящее время отмечен практически повсеместный рост отчетных потерь электроэнергии в абсолютных и относительных единицах. При этом увеличиваются обе составляющие отчетных потерь: техническая и коммерческая. Их соотношение и динамика отличаются не только в разных сетевых компаниях, но и внутри самих компаний. Общим является тенденция их увеличения.

Приводятся основные определения и понятия в области потерь электроэнергии. Рассматривается история проблемы исследования потерь электроэнергии. Показывается развитие методов определения потерь мощности и электроэнергии.При этом показывается переход от детерминированных методов к вероятностно-статистическим, от использования модели представления активной и реактивной мощности случайной величиной к моделированию тока случайным процессом.

Существующие методы расчета потерь основаны на различного рода допущениях о поведении нагрузки, об эквивалентировании сети, на различных приемах перехода от значений потерь мощности к потерям энергии за расчетный период, что в основе и определяет их погрешность, накладывает ограничения на сферу их применения.

По использованной информации для определения величины потерь все методы расчета потерь делятся на детерминированные и вероятностно-статистические.

К детерминированным методам относятся те, в которых на основании расчета какого-либо характерного режима и соответствующей ему схемы сети определяются потери мощности, считающиеся неизменными за весь расчетный период. Это дает возможность, заменив реальный процесс изменения нагрузок элементов сети характерным режимом, определить потери энергии в сети за рассматриваемый период. Детерминированные методы включают отдельный расчет нагрузочных и условно-постоянных потерь. К детерминированным методам расчета относятся: метод оперативных расчетов, при котором токовые нагрузки элементов принимаются по данным ОИК, ОИУК или АСКУЭ, АИИС КУЭ; метод максимальных потерь и его модификации, при которых реальный режим моделируется режимом с максимальными потерями в сети длительностью τ, где τ –

число максимальных потерь за год; метод характерных режимов, при котором реальный режим системы разбивается на ряд периодов с практически неизменным режимом; метод средних нагрузок, в котором реальный режим заменяется режимом при средних нагрузках. Встречаются также модификации этих методов. Все они базируются наразного рода допущениях.

Наиболее часто встречающиеся допущения методов расчета потерь, обусловленные особенностями информации о режиме и схеме распределительной сети, обычно сводятся к следующему:

1. Расчет режима ведется с учетом только продольной составляющей падения напряжения;
2. Не учитываются емкостные проводимости линий;
3. Не учитываются индуктивные сопротивления кабельных линий (в ряде методов);
4. Нагрузка во всех узлах распределительной линии однородна нагрузке головного участка;
5. График электрической нагрузки, снятый в характерные сутки, считается неизменным для определенного периода времени;
6. Потери холостого хода распределительных трансформаторов считаются не зависящими от уровня напряжения.

Приводится характеристика развития нормативно-правовой базы по потерям электроэнергии. Рассматриваются приказы Минэнерго РФ по нормированию потерь электроэнергии. Рассматривается структура потерь электроэнергии в зависимости от выделенных признаков.

Поэлементная структура потерь электроэнергии в распределительных сетях следующая. Это потери:

в линиях: кабельных, воздушных, токопроводах;

в силовых трансформаторах: двухобмоточных, с расщепленной обмоткой, трехобмоточных, автотрансформаторах;

в компенсирующих устройствах: батареях конденсаторов, статических тиристорных компенсаторах, синхронных компенсаторах, шунтирующих реакторах;

в асинхронных и синхронных двигателях;

в оборудовании подстанции: в вентильных разрядниках (РВ), нелинейных ограничителях перенапряжений (ОПН), устройствах присоединения ВЧ-связи (УПВЧ), измерительных трансформаторах тока (ТТ) и напряжения (ТН), включая их вторичные цепи, в электрических счетчиках.

По зависимости от параметров режима сети потери электроэнергии делятся на нагрузочные и условно-постоянные, потери от низкого качества электроэнергии.

По качеству информационных потоков (т.е. их полноте и достоверности) структурный анализ потерь позволил выделить следующие составляющие:

нагрузочные и условно-постоянные потери;

потери, из-за низкого качества электроэнергии;

метрологическая составляющая – потери, вызванные погрешностями измерительных средств и способов измерения электроэнергии;

методическая составляющая, обусловленная выбором соответствующего метода расчета потерь и полнотой и достоверностью исходной информации;

организационная составляющая, обусловленная организационными причинами потерь, например, наличием систем учета не в требуемом объеме, сезонными изменениями температуры, влажности, неоптимальным сроком поверки счетчиков, их установкой, организацией снятия показаний и т.д.;

коммерческая составляющая, определяемая наличием потребителей, рассчитывающихся за электроэнергию не по счетчику (например, по установленной мощности), неодновременной оплатой за энергию, отсутствием счетчиков в требуемом количестве и отсюда – не фиксацией потребленной электроэнергии каждым потребителем в сетях 6-10 кВ, практически полным отсутствием счетчиков реактивной энергии, хищениями электроэнергии и т.п.

Исходя из вышесказанного, можно ввести понятие детальной структуры потерь электроэнергии.

Детальная структура потерь электроэнергии – представление отчетных потерь в виде составляющих, объединенных общим признаком:

одинаковым номинальным напряжением,

типом оборудования,

характером изменения во времени (отдельно по каждой составляющей потерь),

обусловленности (нагрузочные, холостого хода, зависящие от климатических условий),

структурным подразделением или структурной единицей.

Условно-постоянные потери электроэнергии включают в себя:

- потери в стали силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- потери в стали шунтирующих реакторов;
- потери на корону в воздушных линиях 110 кВ и выше;
- потери в батареях конденсаторов (БСК) и статических тиристорных компенсаторах (СТК);
- потери в синхронных компенсаторах (СК);
- потери в ограничителях перенапряжения и вентильных разрядниках;
- потери электроэнергии в счетчиках непосредственного включения;
- потери в измерительных трансформаторах тока и напряжения;
- потери в изоляции кабельных линий;
- потери от токов утечки по изоляторам воздушных линий;
- потери в соединительных проводах и сборных шинах подстанций;
- расход электроэнергии на плавку гололеда;
- расход электроэнергии на собственные нужды подстанций с учетом потерь в стали и меди трансформаторов собственных нужд при несовпадении учета с границей балансовой принадлежности.

Структурные составляющие коммерческих потерь электроэнергии объединяются в четыре группы:

1) Коммерческие потери, обусловленные погрешностями измерений отпущенной и полезно отпущенной электроэнергии потребителям.
2) Коммерческие потери, обусловленные занижением отпуска электроэнергии потребителям из-за недостатков энергосбытовой деятельности и хищений электроэнергии.
3) Коммерческие потери, обусловленные задолженностью по оплате за электроэнергию.
4) Коммерческие потери электроэнергии, обусловленные погрешностями расчета технических потерь электроэнергии.

Однако условия эксплуатации показали, что эти группы целесообразно дополнить и детализировать.

Коммерческие потери, обусловленные погрешностями измерений отпущенной в сеть и полезно отпущенной электроэнергии потребителям, включают в себя погрешности измерений электроэнергии в нормальных условиях работы измерительного комплекса (ИК) и дополнительные погрешности измерений электроэнергии, возникающие в реальных условиях эксплуатации ИК. Вторые обусловлены:

заниженным относительно нормативного коэффициентом мощности нагрузки (дополнительной угловой погрешностью);

влиянием на счетчик электроэнергии (СЭ) магнитных и электромагнитных полей различной частоты;

недогрузкой и перегрузкой ТТ, ТН и СЭ;

низким качеством электроэнергии;

работой СЭ в неотапливаемых помещениях с недопустимо низкой температурой и т.п.;

недостаточной чувствительностью СЭ при их малых нагрузках, особенно в ночные часы.

Методы определения потерь электроэнергии в условиях неопределенности как при ретроспективном анализе, так и при долгосрочном прогнозировании должны базироваться на математических моделях, позволяющих осуществлять расчеты каждой составляющей потерь для различной временной иерархии.

Общая схема исследования потерь с целью их дальнейшего снижения полагает:

1) Выделение информационных потоков с различной степенью неопределенности информации.

2) Для недостоверных потоков – корректирование показаний счетчиков или датчиков измерительных комплексов до достоверных значений.

3) Моделирование параметров режима вводных присоединений подстанций различных ступеней напряжения: от высокого к низкому. Выбор модели определяется принадлежностью к соответствующему классу информационного потока.

4) Эквивалентирование схем распределительных сетей первого уровня.

5) Определение нагрузочных потерь электроэнергии в сети I уровня по моделям параметров режима вводных присоединений и эквивалентам сети с учетом коэффициентов токораспределения. Определение условно-постоянных потерь с использованием модели напряжений в узлах сети первого уровня, выбранной, исходя из качества информации. Расчет и анализ суммарных технических потерь в сети в целом и в каждой ее структурной единице.

6) Эквивалентирование схем распределительных сетей второго уровня.

7) Определение и структурный анализ суммарных технических потерь в сети второго уровня в целом и в каждой ее структурной единице и т.д.

8) Расчет и анализ метрологической составляющей потерь в сетях каждого уровня, начиная с самого высокого.

9) Определение коммерческой составляющей потерь электроэнергии в сетях каждого уровня, начиная с последнего (высокого), как разницы между отчетными и суммой технологических и метрологических, методических потерь.

10) Структурный анализ коммерческих потерь.

11) Выявление отходящих присоединений подстанций с неисправными элементами измерительных комплексов.

12) Определение направлений снижения потерь электроэнергии.

Рассматриваются методы расчета нагрузочных потерь электроэнергии в электрической сети. Нагрузочные потери электроэнергии за*Т* часов (*Д* дней) могут быть рассчитаны одним из следующих пяти методов в зависимости от объема информации о схемах и нагрузках сетей (они расположены в порядке снижения точности расчета): 1) оперативных расчетов; 2) расчетных суток; 3) средних нагрузок; 4) числа часов наибольших потерь мощности; 5) оценкипотерь по обобщенной информации о схемах и нагрузках сети.

Потери мощности в сети при использовании для расчета методов 1-4 рассчитывают на основе заданной схемы сети и нагрузок ее элементов, определенных с помощью измерений или расчета нагрузок элементов электрической сети в соответствии с законами электротехники.

Потери электроэнергии по методам 2-5 должны определяться за каждый месяц расчетного периода с учетом схемы сети, соответствующей данному месяцу. Допускается рассчитывать потери за расчетные интервалы, включающие в себя несколько месяцев, схемы сетей в которых могут рассматриваться как неизменные.

Потери электроэнергии за расчетный период определяют как сумму потерь, определенных для входящих в расчетный период месяцев (расчетных интервалов).

Далее приводятся подробные алгоритмы каждого из указанных методов, их достоинства и недостатки, область применения.

Рассматриваются методы расчета условно-постоянных потерь, приводится порядок расчета потерь, обусловленных допустимымипогрешностями системы учета электроэнергии.

Нормативными методами расчета нагрузочных потерь электроэнергии в сетях 35-220 кВ являются: при отсутствии реверсивных потоков энергии по межсетевым связям 35-220 кВ – метод расчетных суток; при наличии реверсивных потоков энергии – метод средних нагрузок. При этом все часовые режимы в расчетном периоде разделяют на группы с одинаковыми направлениями потоков энергии.

Расчет потерь проводят методом средних нагрузок для каждой группы режимов.

Нормативным методом расчета нагрузочных потерь электроэнергии в сетях 6-20 кВ является метод средних нагрузок.

Принципиальный недостаток указанных методов – неучет реального характера изменения нагрузок, постоянство коэффициента мощности, равного среднегодовой величине, что приводит к значительным погрешностям сетей (до 30%).

В условиях эксплуатации часто встречаются ситуации, когда приборы учета электроэнергии установлены не на границе раздела балансовой принадлежности.

В этом случае потери в части сети, заключенной между границей раздела балансовой принадлежности и пунктами установки приборов учета, не определяются с помощью сертифицированных программных комплексов для расчета, анализа и нормирования потерь электроэнергии. Необходимо иметь алгоритм их дорасчета. Рассматривается методика почасовогоопределенияпотерьэлектроэнергии в распределительной сети 0,4÷110 кВ при установке приборов учета электроэнергии не на границе раздела балансовой принадлежности[2].

Для расчета потерь электроэнергии за каждый час суток необходимо иметь график электрических нагрузок. В условиях эксплуатации можно использовать два варианта: когда известны: а) суточный график электрических нагрузок потребителя; б) отпуск электроэнергии в сеть за расчетный период, – например, за сутки, месяц или год.

Далее изучается алгоритм определения потерь электроэнергии в сети 0,4÷110 кВ междупунктамиучетаэлектроэнергии и границей раздела балансовой принадлежности. Алгоритм предназначен для расчета сети произвольной конфигурации, с произвольным числом элементов, включающей несколько уровней номинального напряжения, и предусматривает расчет потерь электроэнергии в оборудовании подстанции, в том числе в силовых трансформаторах и в линиях, из которых состоит сеть, для двух случаев:

1) расчетные счетчики установлены на шинах НН РУ потребителей или подстанций (у абонента), а граница раздела балансовой принадлежности проходит по кабельным наконечникам отходящих кабелей в ЗРУ подстанции, принадлежащей энергоснабжающей организации, или на проходных изоляторах в месте присоединения шлейфов воздушных линий (ВЛ) к подстанции или на изоляторах опоры ВЛ;

2) расчетные счетчики установлены на подстанции энергоснабжающей организации на головном участке питающей линии, а граница раздела балансовой принадлежности находится на шинах НН потребительских подстанций или в РУ НН потребителей.

Особенность алгоритма заключается в том, что пользователь может сам формировать сеть, в которой нужно дорассчитать потери электроэнергии путем ввода в качестве исходной информации требуемого количества подстанций, участков линий разного уровня напряжения и конфигурации сети. Рассматриваемый алгоритм легко реализуется в программный продукт практически с помощью любого программного обеспечения, имеющегося у инженера. Поэтому в описании алгоритма используется логическое разделение на подпрограммы.

В расчетном блоке логически формируется сеть, и определяются потери электроэнергии.

Структурный анализ сети показал, что формирование сети любой конфигурации для расчета потерь электроэнергии осуществляется с помощью основных элементов – воздушных и кабельных линий, подстанций между границей раздела балансовой принадлежности и пунктами учета электроэнергии. Следовательно, алгоритм включает расчетные блоки: «Расчет потерь электроэнергии на участке линии», «Расчет потерь электроэнергии в оборудовании подстанции, включая силовые трансформаторы (автотрансформаторы)».

Различные способы представления пользователем исходной информации для расчета потерь электроэнергии обусловливают наличие двух блоков «Расчет электрических нагрузок», один из которых выбирается программой в зависимости от назначения расчета – интегрального (за расчетный период времени) или почасового. Кроме того, имеются блоки «Расчет напряжений» и два блока «Расчет потерь электроэнергии в сети 0,4 кВ», реализующие соответственно метод определения потерь электроэнергии по потерям напряжения и метод определения потерь по обобщенной информации о схемах и нагрузках сети.

Далее рассматриваются методики определения потерь электроэнергии, обусловленных низким качеством электроэнергии.

Показывается разница между ретроспективными, оперативными и перспективными расчетами потерь электроэнергии и приводится их характеристика. Показывается как осуществляется планирование потерь электроэнергии в электросетевых комплексах, региональных диспетчерских управлениях. Рассматривается порядок учета нормативных потерь в тарифах на электроэнергию. Приводится характеристика особенностей исследования потерь электроэнергии в электрических сетях электросетевых комплексов.

Исследование потерь электроэнергии в электрических сетях проводится с целью:

- оценки приемлемости уровня потерь с экономической точки зрения,
- выявления причин превышения допустимых небалансов электроэнергии на объекте в целом и в его частях,
- выявления территориальных зон, групп элементов и отдельных элементов с повышенными потерями (очагов повышенных потерь),
- определения количественного влияния на отчетные потери и их структурные составляющие параметров, характеризующих режимы передачи электроэнергии.
- определения количественного влияния на потери конфигурации и параметров схемы сети.
- повышения пропускной способности электрических сетей.

Исследование потерь электроэнергии осуществляется в динамике:

- по классам напряжения;
- по видам составляющих потерь электроэнергии;
- по типам потребителей электроэнергии и их процентному содержанию в электропотреблении;
- по видам оборудования;
- по зависимости от отпуска электроэнергии в сеть;
-по загрузке элементов сети;
- по зависимости от пропуска электроэнергии через элемент, участок сети (отдельно для каждого вида потерь);
- по качеству информационных потоков;
- по временным интервалам.

При исследовании осуществляется:

- сопоставление динамики плотности распределения коэффициентов загрузки силовых трансформаторов и плотности распределения потерь электроэнергии в них;
- сопоставление динамики плотности распределения потерь электроэнергии в элементах сети и в сети в целом и пропуска через них электрической энергии;
- сопоставление динамики плотности распределения условно-постоянных потерь и уровней напряжения в сети;
- сопоставление динамики технических и метрологических потерь, в т. ч. отдельно нагрузочных и условно-постоянных потерь.

Под расчетом структуры потерь электроэнергии понимается определение численных значений составляющих потерь и характеристик их достоверности.

Комплексный анализ потерь электроэнергии в электрических сетях проводится в следующем порядке:

- Исследование динамики реализации электрической энергии с разделением ее на отпуск электроэнергии в сеть и отпуск потребителям;
- Сопоставление динамики отчетных и технологических потерь с динамикой отпуска электроэнергии в сеть;
- Детальная структура потерь в динамике;
- Исследование динамики всех составляющих нагрузочных и условно-постоянных потерь;
- Оценка доли потерь на собственные нужды;
- Анализ коммерческих и метрологических потерь;
- Сопоставление с относительными потерями в других регионах РФ и в других странах;
- Выявление «очагов» повышенных потерь.

Детальный анализ потерь электроэнергии в конкретной электрической сети позволит выбрать оптимальный инструментарий по их снижению и прогнозированию и получить наибольшую прибыль в условиях эксплуатации, т.е. эффективно управлять их уровнем.

1.6. Методы повышения пропускной способности электрических сетей

Приводится характеристика организационно-правовых и технологических аспектов транспорта и распределения электроэнергии в России. Показываются технологии, мероприятия и средства, направленные на обеспечение энергоэффективности при транспорте электроэнергии. Осуществляется постановка задачи повышения пропускной способности электрических сетей. Рассматриваются технологии анализа и синтеза схем электрических сетей, пути их развития. Исследуются принципы формирования вариантов конфигурации электрической сети с повышенной пропускной способностью, показываются преимущества гибких электрических сетей и возможности их реализации. Рассматриваются алгоритмы выбора оптимальных конфигурации и параметров электрических сетей. Показывается разница в их реализации для магистральных и распределительных сетей. Приводятся критерии выбора оптимального варианта повышения пропускной способности электрических сетей. Рассматриваются основные экономические показатели систем передачи и распределения электроэнергии и их определение. Приводится обзор методов и алгоритмов построения электрических сетей с повышенной пропускной способностью. При этом подробно рассматриваются методы выбора сечений проводников и их развитие, показываютсяновые задачи и объекты управления в электрических сетях, перевод сетей на линии электропередачи и оборудование нового поколения, новые подходы к регулированию напряжения.

Для реализации новой концепции управления уровнем потерь электроэнергии с целью повышения пропускной способности необходимо определить те принципиальные отличия существующих и активно-адаптивных сетей, которые влияют на проблему потерь электроэнергии существенным образом. Выделены следующие факторы сравнения: информационная обеспеченность проблемы потерь электроэнергии; принципы построения сети; экономические факторы; технологический базис.

Приводится сравнительный анализ информационной обеспеченности определения и анализа потерь электроэнергии. Появление информации нового качества приводит к необходимости формирования информационной модели для управления уровнем потерь в активно-адаптивных сетях на новых принципах, основывающихся на фундаментальных свойствах интеллектуальных энергосистем.

*Принципы построения сети.*Источниками питания существующих сетей всех классов номинального напряжения является централизованная генерация. Это определяет их принципы построения и структуру, обеспечивающую передачу электроэнергии по сетям в одном направлении – от электрических станций к потребителям, несмотря на разную топологическую структуру основных и распределительных сетей. Активно-адаптивные сети в качестве источников питания полагают комплексное использование централизованной и распределенной генерации в рамках единой интегрированной ЭЭС. При этом доля использования распределенной генерации в перспективе может достичь 20% от общего объема производства электроэнергии. Распределенная генерация технологически более гибкая, обладает более высокой степенью автоматизации, предполагает установку небольших генераторов в непосредственной близости к потребителям и участвует в розничном рынке энергии и мощности. Еще одним, отличным от существующих, принципом построения активно-адаптивных сетей является наличие активного потребителя, у которого появляются возможности самостоятельного изменения объема и функциональных свойств получаемой энергии. Кроме того, потребитель, имеющий собственные генерирующие установки, может выступать в качестве продавца на розничном рынке энергии в часы пиковых нагрузок, т.е. он становится субъектом управления системой. Самовосстановление при аварийных ситуациях присуще только активно-адаптивным сетям. Оно обеспечивает переход от управления по факту возникновения аварийной ситуации к превентивному управлению ею, основано на распределенных принципах управления, использовании вакуумных реклоузеров, иных автоматических переключателей,

интеллектуальных системах контроля и средствах визуализации, оборудовании для обеспечения альтернативного электроснабжения потребителей.

Активно-адаптивные сети обладают принципиально иной схемой сегментации и иерархии организационной структуры, рассчитаны на динамичное автоматическое изменение топологической структуры сети. Ожидается трансформация радиально-лучевой топологии распределительных сетей в сетевую и ячеистую и переход к созданию микросетей на стороне конечного потребителя.

Из новых экономических факторов, присущих интеллектуальной ЭЭС и влияющих на потери электроэнергии, можно выделить следующие: расширение рынков энергии и мощности до конечного потребителя путем обеспечения открытого доступа на них активного потребителя и распределенной генерации, т. е., изменение инфраструктуры рынков; переход на клиентоориентированный подход с дифференциацией стоимости услуг в зависимости от качества электроэнергии и уровня надежности электроснабжения; оптимизация управления активами – переход к удаленному мониторингу производственных активов в режиме реального времени, интегрированному в корпоративные системы управления. Их применение обеспечит оптимизацию пропускной способности сетей, регулирование графиков электрических нагрузок, снижение потерь электроэнергии, сокращение эксплуатационных издержек, оптимизацию сетевых резервов и ресурсов.

*Технологический базис.*Сравнение существующих и активно-адаптивных сетей показало, что из инновационных технологий, применяемых в электрических сетях 220-500 кВ, FACTS технологии в совокупности с новыми устройствами телемеханики, мониторинга и управления позволят обеспечить управление уровнем потерь электроэнергии с новым качеством.

Активно-адаптивные сети содержат накопители электроэнергии, обеспечивающие быстрый резерв. Их подключение приведет к изменению как топологии сети, так и перетоков мощности по ней. В то же время накопители электроэнергии выполняют следующие важные для управления уровнем потерь функции: выравнивание графиков электрических нагрузок в сети путем накопления электроэнергии в периоды избыточной электроэнергии, когда она имеет меньшую стоимость, и выдачи в сеть в периоды дефицита, обеспечение бесперебойного питания особо важных объектов; демпфирование колебаний мощности; стабилизацию работы децентрализованных источников энергии.

Основной элемент технологического базиса любой сети – подстанция. Активно-адаптивные сети ориентированы на подстанции нового поколения - цифровые подстанции (ПС). В цифровой подстанции организация всех потоков информации при решении задач мониторинга, анализа и управления осуществляется в цифровой форме.Появились высоковольтные оптические трансформаторы тока и напряжения, разрабатывается первичное и вторичное электросетевое оборудование со встроенными коммуникационными портами, выпускаются микропроцессорные контроллеры, на базе которых создаются надежные программно-аппаратные комплексы ПС; принят международный стандарт МЭК 61850, регламентирующий представление данных о ПС как объекте автоматизации, а также протоколы цифрового обмена данными между микропроцессорными интеллектуальными электронными устройствами (IED) ПС, включая устройства измерения, контроля и управления, релейной защиты и автоматики. Ключевым моментом такой подстанции является интеллектуальный трансформатор с максимально возможным автоматическим контролем состояния всех его систем, с самодиагностикой и выдачей рекомендаций по дальнейшим действиям в случае повреждения или анормального воздействия на трансформатор, с автоматическим управлением устройством РПН.

Изменяется конструктивное исполнение линий электропередачи путем перехода с неизолированных проводов марок А, АС на самонесущие изолированные провода, алюминиевые провода с композитным сердечником, сталеалюминиевые термостойкие провода, компактные провода плотной упаковки с низким аэросопротивлением и другие проводники с использованием новых композитных материалов, с кабелей с бумажной изоляцией, маслонаполненных кабелей на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, кабели, содержащие высокотемпературные сверхпроводниковые материалы. Их отличительной особенностью является повышенная пропускная способность, более низкие потери электроэнергии.

Рассредоточение и локализация контролирующих и управляющих функций в активно-адаптивных сетях, включая принятие решения интеллектуальными распределенными автоматическими устройствами с осуществлением координации взаимодействия и функционирования всех элементов и субъектов сети – еще одна технология, изменяющая существующие подходы к минимизации потерь электроэнергии.

Проведя сравнительный анализ существующих и активно-адаптивных сетей можно выделить те новые свойства, которые позволяют решать проблему пропускной способности электрических сетей на принципиально ином, более высоком уровне:

- адаптивность;
- повышение управляемости сетями;
- способность к саморегулированию и самовосстановлению;
- включение распределенной генерации в сеть;
- возможность аккумулирования энергии;
- управление межсистемными перетоками;
- сегментация и иерархия потоков электроэнергии и информационных потоков;
- распределение принимаемых управляющих решений, как текущих, так и перспективных, и ответственности за них;
- интерактивность;
- клиентоориентированный подход.

Из новых экономических факторов, присущих интеллектуальной ЭЭС и влияющих на потери электроэнергии, можно выделить следующие: расширение рынков энергии и мощности до конечного потребителя путем обеспечения открытого доступа на них активного потребителя и распределенной генерации, т. е., изменение инфраструктуры рынков; переход на клиентоориентированный подход с дифференциацией стоимости услуг в зависимости от качества электроэнергии и уровня надежности электроснабжения; оптимизация управления активами – переход к удаленному мониторингу производственных активов в режиме реального времени, интегрированному в корпоративные системы управления. Их применение обеспечит оптимизацию пропускной способности сетей, регулирование графиков электрических нагрузок, снижение потерь электроэнергии, сокращение эксплуатационных издержек, оптимизацию сетевых резервов и ресурсов.

Выбор вида управляющего воздействия, направленного на повышение пропускной способности электрических сетей

В качестве видов управляющих воздействий могут быть приняты мероприятия по снижению потерь электроэнергии. Выбор вида управляющего воздействий показан на примере компенсации реактивной мощности, как наиболее эффективного средства, влияющего на уровень потерь электроэнергии в сети.

Реализация мероприятий по компенсации реактивной мощности дает значительный технико-экономический эффект, заключающийся в снижении потерь мощности и электроэнергии и потерь напряжения в существующих электрических сетях и в лучшем использовании основного оборудования, а во вновь проектируемых сетях – в возможности снижения числа или мощности силовых трансформаторов, сечения линий электропередачи и габаритов аппаратов распределительных устройств подстанций.

Установка компенсирующих устройств уменьшает реактивную нагрузку сети и приводит к снижению потерь мощности и электроэнергии. Лучшее использование основного оборудования в результате проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности заключается в разгрузке сетевого оборудования от реактивного тока, увеличении пропускной способности электрических сетей, что приводит к возможности работы оборудования в более экономичном режиме, либо к возможности дополнительной загрузки его активной мощностью.

При передаче реактивной мощности по сети возникают дополнительные потери напряжения. Снижение потерь напряжения в сети также достигается при применении компенсирующих устройств. Эффект от компенсации реактивной мощности, заключающийся в снижении потерь напряжения в сети, а следовательно, и в повышении напряжения у электроприемников, весьма важен, особенно в загруженных сетях, где даже при хорошем режиме напряжения в центре питания

напряжения у электроприемников могут быть недопустимо низкими. Если же напряжение у электроприемников снижается сверх допустимых пределов, то это может приводить к снижению производительности, ухудшению качества продукции и к другим нежелательным последствиям.

Наличие в сети компенсирующих устройств с регулируемой реактивной мощностью позволяет осуществлять с их помощью не только компенсацию реактивной мощности, но и в случае необходимости местное регулирование напряжения за счет изменения потери напряжения в распределительной сети от трансформаторов с РПН до электроприемников.

После установки компенсирующих устройств реактивный ток и реактивная мощность в линии уменьшаются, т. е. линия разгружается по реактивной мощности. При этом в линии уменьшаются потери мощности.

Поэтому проблема компенсации реактивной мощности (КРМ), как правило, рассматривается в контексте с проблемой обеспечения оптимального уровня потерь в электрических сетях, т.к. является одним из наиболее мощных инструментов по снижению потерь электроэнергии. В то же время ее можно рассматривать более широко, увязывая и с вопросами устойчивости и надежности электроэнергетических систем, что важно при реализации комплексного подхода при разработке принципов адаптивного управления электрическими сетями.

В течение длительного времени взаимоотношения энергоснабжающих организаций и потребителей электроэнергии в части реактивной мощности регулировались скидками и надбавками к тарифам на электроэнергию, и потребители участвовали в КРМ, регулировании напряжения в узлах сети. Однако, после отмены в 2001 году «Правил пользования электрической и тепловой энергии» у потребителей снизился экономический стимул участвовать в поддержании коэффициента реактивной мощности и компенсации реактивной мощности. Это привело к ряду негативных последствий:

- потребители стали работать с естественным коэффициентом мощности, т.е. стали больше потреблять из сети реактивной мощности;
- доля реактивной мощности, протекающей по линиям электропередачи, варьируется в пределах 20 – 80% от активной, в ряде случаев существенно превышает активную (до 10 раз);
- возросли потоки реактивной мощности в системообразующих и питающих сетях, что привело к околопредельным режимам по статической устойчивости в некоторых энергосистемах;
- возникла проблема поддержания требуемого ПУЭ и ГОСТ 32144-2013 уровня напряжения на шинах центров питания;
- нарушился баланс реактивной мощности в энергосистемах, что привело к возникновению дефицита реактивной мощности в узлах нагрузки, и как следствие, к снижению напряжения на шинах 6-10 кВ центров питания, а также к повышению напряжения на шинах 220 кВ за счет нескомпенсированной зарядной мощности;
-существенно выросли технические потери мощности и энергии;
- уменьшился запас статической устойчивости нагрузки по напряжению;
- произошло ограничение пропускной способности линий электропередачи и трансформаторов по активной мощности за счет загрузки их реактивной мощностью, передаваемой от источников питания к потребителям.

В результате резко снизилась надежность электроснабжения и экономичность работы электроэнергетической системы.

Наиболее эффективным способом ее решения в сетевых компаниях является установка компенсирующих устройств (КУ) у потребителей. В этом случае не только возможно существование оптимальных режимов работы электроэнергетических систем за счет обеспечения баланса реактивной мощности как по системе в целом, так и по узлам нагрузки, но и существенное снижение технологических потерь электроэнергии в сетях всех уровней напряжения, в том числе и потребителей, а также снижение дополнительных капитальных вложений на сооружение новых сетевых объектов и реконструкцию существующих, снижение эксплуатационных издержек.Известно, что потери в сетях энергоснабжающих организаций (ЭСО) включаются в тарифы на электроэнергию. Отсутствие экономического механизма нормализации потребления реактивной мощности приводит к равной оплате каждым потребителем общих потерь, обусловленных потреблением реактив-

ной мощности своими электроустановками, тогда как доля, вносимая каждым потребителем в их величину, не одинакова.

Кроме того, тариф на электроэнергию возрастает в гораздо большей степени, чем затраты на компенсацию повышенного потребления реактивной мощности из сети. Необходимо определять для каждого потребителя экономически выгодную степень компенсации реактивной мощности, т.е. его участие в компенсации реактивной мощности по сетям ЭСО.

Определение узлов сети, к которым целесообразно подключать активные элементы сети – компенсирующие устройства, для управления уровнем потерь электроэнергии целесообразно проводить с помощью технологий системного подхода.

Системный подход к определению экономически обоснованной степени компенсации реактивной мощности предусматривает, прежде всего, морфологическое, информационное и функциональное описание КРМ.

Для определения узлов, в которых целесообразно устанавливать активные элементы, обеспечивающие максимальное снижение потерь электроэнергии путем компенсации реактивной мощности, необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать зависимости погрешности расчета потерь активной и реактивной мощности в электрической сети от полноты и достоверности режимной информации;
- выбрать узлы, к изменению параметров режимов которых наиболее чувствительна функция потерь электроэнергии;
- оценить влияние погрешности и полноты задания параметра режима, к которому чувствительна функция потерь электроэнергии, на оптимизацию выбора компенсирующих устройств.

Целью оптимизационной задачи КРМ является определение места установки и мощности КУ, являющихся активными элементами сети, что в итоге приведет к наибольшему снижению потерь мощности в сети при минимальных затратах, следовательно мощность КУ и будет целевой функцией КРМ. Из указанных факторов на оптимизацию большее влияние оказывает суммарная величина потерь мощности в сети в целом. Именно ее изменение при погрешности задания исходной информации определяет смещение целевой функции КРМ в неоптимальную область. Поэтому необходимо оценить влияние неполноты и недостоверности многомерного информационного потока на суммарную величину потерь мощности в сети. Порядок такой оценки следующий.

1. Расчет установившегося режима сети;
2. Декомпозиция электрической сети;
3. Определение и анализ суммарных потерь электроэнергии;
4. Структурный анализ электропотребления подстанциями участка сети.

Расчет режима сети проводится с помощью любого промышленного программно-вычислительного комплекса.

Декомпозиция заключается в разделении всей рассматриваемой схемы сети на расчётные участки – графы. При этом выделяются разомкнутые и замкнутые участки. При декомпозиции необходимо учесть направление потоков реактивной мощности, так как КУ уменьшает подтекающий к данному узлу поток реактивной мощности.

Для линий с односторонним питанием, которые подключены к одному источнику питания, разделение целесообразно выполнять по нему. Это позволит проводить расчёт каждого магистрального или радиального участка независимо друг от друга. Сюда же относятся замкнутые сети, нормально работающие в разомкнутом режиме. Для кольцевых и сложнозамкнутых структур, работающих в замкнутом режиме, сеть делится на участки между источниками питания и точками потокораздела по реактивной мощности, полученными в результате расчёта установившегося режима.

На конкретном примере рассматривается технология выбора узла для подключения активных элементов сети, обеспечивающих оптимальную компенсацию реактивной мощности.Реакция сети на погрешность режимной информации в узлах разная: в одних узлах недопустимо большая, в других практически не меняется. Это определяется неоднородностью электрической сети и дает возможность применить сенсорный анализ к выбору узлов для подключения активных элементов.

Полученные зависимости позволяют выделить по степени влияния не только допустимые погрешности измерения параметров режимов, но и определить те ПС, изменение нагрузки которых, значительно влияет на режимную ситуацию в целом – слабые места.

Кроме того, можно определить узлы, которые даже при ненаблюдаемости режимных параметров не влияют на величину суммарных потерь мощности в сети – сильные узлы, а также выявить параметр, наиболее чувствительный к внешним воздействиям – сенсор.

Для задач анализа режимов и компенсации реактивной мощности сенсорами являются активные и реактивные нагрузки вводов низкого напряжения (НН) и среднего напряжения (СН) подстанций, являющихся слабыми местами схемы. Здесь слабое место – это узел сети, в котором любое, даже незначительное изменение параметра режима приводит к значительному изменению результатов компенсации реактивной мощности как в сторону увеличения (уменьшения) мощности КУ, так и к изменению места установки КУ. Именно этот узел и будет активным, т.е. в нем нужно устанавливать активный элемент для управления уровнем потерь электроэнергии.

Чувствительность функции суммарных потерь в сети позволяет выявить слабые места и сильные узлы в схеме. Слабое место схемы сети, определенное с помощью чувствительности функции суммарных потерь мощности в сети, и будет активным узлом, т.е. узлом для подключения активных элементов к сети. Кроме того, в сильном узле КРМ не требуется, т.к. снижение параметра Q даже до нуля не приведет к изменению суммарных потерь мощности в сети. Далее осуществляется анализ узлов сети по степени смещения оптимальных мест установки (узлов сети) и мощности компенсирующих устройств.

Показывается, что любая степень изменения информационных потоков в сильных узлах не оказывает влияния на область оптимальной КРМ, об этом свидетельствуют нулевые значения погрешностей определения мощности КУ. Следовательно, вводить в эти узлы управляющие воздействия, направленные на снижение потерь мощности, нерационально. Эффект достигнут не будет. Для слабых мест отклонение режимных параметров от указанного диапазона приводит к значительному смещению мощности КУ из оптимальной области КРМ. Здесь требуется регулирование мощности КУ – это активный элемент сети.

Рассматривая энергосистему как структуру от производства электроэнергии до ее потребления, задачу распределения потоков реактивной мощности нужно решать в следующих аспектах:

- оптимальное распределение реактивной мощности между источниками электроэнергии;
- наивыгоднейшее распределение реактивной мощности в самой электрической сети;
- регулирование уровней напряжения в сети.

В качестве технических ограничений используются требования нормативной документации, соответствующие приказы и распоряжения РАО «ЕЭС России» и Министерства промышленности и энергетики РФ.

Указанные аспекты реализуются в трех задачах компенсации реактивной мощности: экономической, балансовой и регулирования напряжения.

Экономическая задача компенсации реактивной мощности решается путем минимизации эквивалентных среднегодовых затрат. Условие целесообразности установки компенсирующих устройств в узле определяется по соотношению затрат на установку и эксплуатацию компенсирующего устройства (КУ) и прибыли, получаемой от компенсации реактивной мощности. При решении экономической задачи КРМ используются следующие принципы:

- исключение из рассмотрения тех узловсети, в которых установкаКУ невозможна, или нежелательна, или не нужна;
- определение узлов со специфическими электроприемниками;
- определение граничного значения уменьшения потерь мощности в сети, при котором установка КУ еще экономически выгодна;
- Определение экономически целесообразного значения мощности каждого КУ по максимальному эффекту.

Балансовая задача КРМ направлена на обеспечение баланса реактивной мощности в сети. Ее порядок решения следующий:

- исключение из рассмотрения узлов, где не требуется установка КУ;

- определение снижения потерь мощности в сети после поочередной установки КУ в каждом из разрешенных узлов;
- узел, где должно быть установлено КУ, выбирается по максимальному снижению потерь мощности;
- в данном узле устанавливается КУ и на соответствующую величину снижается реактивная нагрузка узла;
- проверка выполнения условия баланса реактивной мощности;
- определение балансового коэффициента реактивной мощности.

Регулирование напряжения в сети рассматривается по выполнению двух условий: обеспечение требований ГОСТ 32144-2013 в характерных режимах и точках сети; снижение потерь мощности. Она решается одновременно с экономической и балансовой задачами КРМ.

Практические рекомендации по оптимальному управлению уровнем потерь в распределительной сети путем компенсации реактивной мощности

1. Установка КУ в сильном узле – узле, в котором изменения параметров режима в широких пределах не приводят к существенному изменению режимной ситуации и практически не влияют на результаты КРМ, не дает значимого эффекта, даже если коэффициент реактивной мощности в нем превышает предельно допустимое значение, установленное в [26]. Компенсирующее устройство, установленное в этом узле, будет окупаться более 20 лет. Такой узел исключается из управления уровнем потерь электроэнергии.
2. Любое управляющее воздействие в сильном узле практически не влияет на режимную ситуацию в схеме сети в целом.
3. Если ненаблюдаемая подстанция, например, ведомственная, является сильным узлом, то для расчета и анализа режима, компенсации реактивной мощности достаточно задать ее нагрузку произвольно, например, по оптимальному коэффициенту загрузки и номинальной мощности трансформатора.
4. Сильные узлы можно эквивалентировать, в результате чего сокращается число узлов и ветвей в графе сети, используемых для расчета режима, а точность расчета остается той же.
5. Для получения большего эффекта от компенсации реактивной мощности, снижения суммарной мощности КУ в сети и их общей стоимости, управляемые КУ нужно устанавливать в слабых местах, т.е. в узлах и ветвях, параметры режима в которых являются сенсорами. Установка в таком узле КУ даже меньшей мощности позволит получить более сильные изменения величины потерь электроэнергии в сети в целом и напряжений в узлах, чем в узле, не являющемся слабым местом и имеющем больший коэффициент мощности;
6. В слабых местах необходима установка счетчиков активной и реактивной энергии с большей точностью, т.к. погрешность задания нагрузки в них приводит к значительной погрешности результатов расчета режимов, потерь мощности и энергии, смещает результаты компенсации реактивной мощности в неоптимальную область.

Характеристика технических средств, используемых для регулирования реактивной мощности и напряжения в активно-адаптивной сети

Технические средства активно-адаптивной сети, обеспечивающие ее управляемость, можно разделить на следующие основные группы:

Устройства регулирования (компенсации) реактивной мощности и напряжения, подключаемые к сетям параллельно.

Устройства регулирования параметров сети (сопротивление сети), подключаемые к сети последовательно.

Устройства, сочетающие функции первых двух групп – устройства продольно-поперечного включения.

Управляемые устройства компенсации реактивной мощности предназначены для выполнения задачи обеспечения качества электрической энергии по напряжению путем поддержания заданных уровней напряжения в контрольных пунктах сети. В определенных случаях, особенно для межсистемных и системообразующих связей, при дальнем транспорте электроэнергии эти

устройства вносят вклад в повышение статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем, устойчивости нагрузки. Данные устройства по принципу действия делятся на статические и электромашинные. К статическим устройствам относятся:

батареи статических компенсаторов (БСК) и шунтирующие реакторы (ШР), обеспечивающие ступенчатое регулирование реактивной мощности;

реакторные группы, коммутируемые вакуумными выключателями (ВРГ);

управляемые шунтирующие реакторы (УШР);

статические тиристорные компенсаторы (СТК);

статические компенсаторы реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (СТАТКОМ).

К электромашинным устройствам относятся синхронные (СК) и асинхронизированные (АСК) компенсаторы.

Реакторные группы, коммутируемые выключателями (ВРГ). Ступенчато-регулируемые реакторы, подключаемые к третичной обмотке автотрансформаторов (трансформаторов) посредством вакуумных выключателей с числом коммутаций 5000 – 10000, временем включения/отключения выключателя от 0,02 до 0,12 с. Применяются для компенсации зарядной мощности линий электропередачи и в узлах нагрузки для поддержания напряжения в требуемых пределах в установившихся режимах. Возможны комбинации, когда параллельно ВРГ подключаются конденсаторные батареи. Отечественной промышленностью освоено производство ВРГ.

Управляемый шунтирующий реактор с подмагничиванием постоянным током. Выполняется на основе специального трансформатора в составе УШР. На общем сердечнике содержится сетевая обмотка реактора, компенсирующая обмотка, обмотка управления, и вне бака с УШР – тиристорное выпрямительное устройство и фильтр. УШР предназначены для плавного регулирования напряжения (реактивной мощности). УШР могут устанавливаться как на линиях электропередачи (линейные УШР), так и на шинах подстанции. Предпочтительная область применения – распределительные сети. Возможна комбинация, когда параллельно УШР подключается конденсаторная батарея. Производство УШР освоено промышленностью России и Украины.

Статические тиристорные компенсаторы (СТК). В состав СТК входит реактор с воздушным охлаждением и тиристорный вентиль с воздушным или водяным охлаждением, образующие тиристорные группы (ТРГ) с плавным регулированием угла зажигания тиристоров. Параллельно с ТРГ подключена конденсаторная батарея, а иногда и фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ). Подключается к сети ВН через третичную обмотку НН автотрансформатора или через блочный повышающий трансформатор. СТК применяются для регулирования напряжения, а также для повышения пределов передаваемой мощности по линиям электропередачи. Отечественной промышленностью освоено производство СТК мощностью 50, 100, 160 МВА напряжением 11-15.75 кВ. Мировые производители (Siemens, ABB, Areva и др.) выпускают СТК единичной мощностью 50-500 МВА, напряжением до 35 кВ. В мировой практике СТК нашли широкое применение.

Статический компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (СТАТКОМ). Состоит из выполненного на силовых транзисторах IGBT преобразователя напряжения, обеспечивающего генерацию и потребление реактивной мощности в диапазоне 100% установленной мощности устройства, без дополнительных силовых реакторов и конденсаторных батарей. Подключение к сети ВН - через третичную обмотку НН автотрансформатора или через отдельный повышающий трансформатор НН/ВН. Применяются для динамической стабилизации напряжения, увеличения пропускной способности электропередачи, уменьшения колебаний напряжения, повышения устойчивости при электромеханических переходных процессах, улучшения демпфирования колебаний в энергосистеме. Применяется в любых электрических сетях, особенно эффективен в «слабых» сетях. Разработан и создан первый в России образец мощностью 50 Мвар напряжением 15,75 кВ, ABB выпустила СТАТКОМ мощностью до 150 Мвар, напряжением до 35 кВ. В мировой практике наблюдается тенденция увеличения масштабов практического применения СТАТКОМ.

Асинхронизированный компенсатор (АСК). Является комплексом, состоящим из асинхронизированных электрических машин переменного тока и статических преобразователей частоты. Содержит на роторе две и более обмоток возбуждения, благодаря чему обеспечивается возможность регулирования реактивной мощности в пределах 100%. Обеспечивается также возможность регулирования не только величины, но и фазы вектора напряжения в энергосистеме. Возможна работа с переменной частотой вращения с маховиком на валу с целью повышения пределов динамических характеристик энергосистем. Применяется для регулирования напряжения и повышения пределов статической и динамической устойчивости, увеличения пропускной способности электропередачи, улучшения демпфирования энергосистемы. Отечественной промышленностью освоено производство компенсаторов 100 МВА напряжением 11 кВ. Фирмой «Hitachi» изготовлен АСК мощностью 60 МВА с маховиком на валу.

Устройства регулирования параметров сети

Эти устройства предназначены для изменения сопротивления элементов сети, изменения пропускной способности сети, в том числе увеличения вплоть до ограничения по нагреву без нарушения условий устойчивости, перераспределения потоков мощности по параллельным линиям при изменении режимной ситуации. К ним относятся управляемые устройства продольной компенсации (УУПК); фазоповоротные устройства (ФПУ).

Управляемые устройства продольной компенсации. Конфигурации УУПК включают в себя реакторы и тиристоры, соединенные параллельно с секциями батареи конденсаторов, включенных в линию электропередачи последовательно. Такая комбинация позволяет обеспечивать плавное управление емкостным сопротивлением и тем самым плавное изменение реактивного сопротивления линии. Массово производятся зарубежными фирмами. В мировой практике нашли широкое применение. Отечественное производство отсутствует.

Фазоповоротное устройство. Устройство, переключающее посредством выключателей или тиристорных ключей отпайки трансформатора, обеспечивающие регулирование фазы напряжения. Применяется для регулирования потоков мощности по параллельным ЛЭП, повышения пропускной способности. Отечественное производство отсутствует. В мировой практике нашли широкое применение. Мощность ФПУ достигла 2000 МВт.

Устройства продольно-поперечного включения

Обеспечивают заданное регулирование величины и фазы вектора напряжения в местах их подключения (векторное регулирование) изменяя (оптимизируя) за счет этого управление потоками мощности, как в статических, так и в динамических режимах. Эти устройства создаются либо на базе двух СТАТКОМов, либо двух АСК, соединенных параллельно-последовательно. Отечественное производство отсутствует.

Наиболее эффективное регулирование напряжение обеспечивается совместным автоматическим управлением устройствами РПН автотрансформаторов и трансформаторов, источниками реактивной мощности и генераторами электрических станций. Перед вводом управляющего воздействия необходимо производить расчет режима, т.к. в зависимости от вида ремонтного (послеаварийного) режима увеличение вырабатываемой мощности источниками реактивной мощности может приводить как к снижению уровня потерь активной мощности, так и к их росту. Следовательно, нужна подсистема, которая будет осуществлять анализ и расчет режимов перед вводом каждого управляющего воздействия, и определять оптимальный вариант.

В заключении рассматриваются системные эффекты от повышения пропускной способности электрических сетей.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

2.1. Методика проведения практических занятий

Целью практических занятий является формирование профессиональных и исследовательских навыков по исследованию современного состояния систем электроэнергетики и по реализации перехода к интеллектуальной электроэнергетической системе на основе анализа и развития ее свойств.

Практические занятия работа носят разъясняющий, обобщающий и закрепляющий характер.

Практические занятия проводятся по следующим темам:

- исследование структуры и характеристик действующих электрических сетей
- исследование конструкций линий электропередачи, в том числе нового поколения
- исследование проблем транспорта и распределения электроэнергии
- исследование проблемы потерь электроэнергии в электрических сетях
- методы и способы повышения пропускной способности электрических сетей

Практические занятия целесообразно проводить согласно следующему плану.

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Опрос аспирантов.
4. Выполнение практических заданий.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

На первом занятии целесообразно устроить входной контроль, на последнем – комплексную проверку качества знаний аспирантов.

При изложении кратких теоретических сведений рекомендуется систематизировать и обобщить материал, выделив при этом главные моменты. В процессе изложения материала целесообразно вовлекать аспирантов в его анализ, активизировать процесс их мышления путем применения активных и интерактивных технологий обучения.

Опрос аспирантов или небольшая самостоятельная работа по теме практического занятия позволят лучше усвоить ход решения задач, понять их сущность. Его можно проводить в виде собеседования.

При выполнении практических заданий можно использовать разные формы. Например, преподаватель, поясняет ход выполнения задания и привлекает к работе всю группу путем вопросов, постоянно подводя аспирантов к правильному решению. Делается акцент на исследовательскую составляющую.

Другая форма выполнения практических заданий - самостоятельная работа аспирантов под контролем преподавателя с пояснением наиболее трудных моментов. Возможно выполнение практического задания на доске аспирантом, но в этом случае преподаватель руководит процессом его выполнения и вовлекает в работу всю группу.

Как правило, защита практических заданий должна проводиться во внеаудиторное время, а на практическом занятии следует показать типовые ошибки, проанализировать результаты их выполнения и защиты, отметить лучшие и худшие из них, предложить аспирантам в виде деловой игры принять решение по устранению замечаний.

В конце практического занятия преподаватель называет тему следующего, указывает разделы теоретического материала, которые аспирант должен освоить для наиболее эффективного выполнения практических заданий, выдает домашнее задание.

Практическое занятие может проходить в форме семинара, в процессе которого в результате предварительной работы над программным материалом преподавателя и аспирантов, в обста-

новке их непосредственного и активного общения решаются задачи исследовательского и познавательного характера. Цель такой формы обучения – углубленное изучение дисциплины, закрепление пройденного материала, овладение методологией научного познания. Немаловажным преимуществом семинаров является и формирование навыков профессиональной дискуссии. Кроме того, на таких занятиях можно легко проследить, как усвоен материал, какие вопросы и возражения появились у аудитории.

Практические занятия выполняют многообразные задачи, в частности:

стимулируют регулярное изучение программного материала, первоисточников научной литературы;

закрепляют знания, полученные при прослушивании лекций и во время самостоятельной работы;

обогащают знаниями благодаря выступлениям товарищей и преподавателя на занятии, корректируют ранее полученные знания;

способствуют превращению знаний в твердые личные убеждения;

прививают навыки устного выступления по теоретическим вопросам, приучают свободно оперировать понятиями и категориями;

предоставляют возможность преподавателю систематически контролировать самостоятельную работу аспирантов.

Процедура проведения практического занятия следующая:

озвучиваются тема и цель практического занятия;

вводятся основные понятия по рассматриваемой тематике;

показывается план проведения практического занятия

проводится познавательская часть практического занятия;

проводится исследовательская часть практического занятия;

обсуждаются полученные результаты, делаются выводы;

озвучивается заключительное слово преподавателя.

В заключительном слове преподаватель дает общую оценку занятия, раскрывая уровень подготовленности обучающихся к практическому занятию, активность участников, степень усвоения проблем. Также он осуществляет анализ и оценку выступлений, выполненных практических заданий, соблюдая при этом объективность и исключительную корректность, раскрывает проблемы, не получившие глубокого освещения на занятии. Затем он дает задание на дальнейшую работу.

Одним из условий, обеспечивающих успех практических занятий, является совокупность определенных конкретных требований к выступлениям, докладам, рефератам. Исследовательской работе аспирантов во время занятия. Эти требования должны быть достаточно четкими и в то же время не настолько регламентированными, чтобы сковывать творческую мысль, насаждать схематизм.

Рекомендуемый перечень требований к любому выступлению аспиранта на практическом занятии:

связь выступления с предшествующей темой или вопросом;

раскрытие сущности проблемы;

методологическое значение для научной, профессиональной и практической деятельности.

Важнейшие требования к выступлениям аспирантов – самостоятельность в подборе фактического материала и аналитическом отношении к нему, умение рассматривать примеры и факты во взаимосвязи и взаимообусловленности, отбирать наиболее существенные из них.

Обсуждение докладов и выступлений проводится в следующей последовательности:

выступление по основному вопросу;

вопросы к выступающему;

обсуждение содержания выступления, его теоретических и методических достоинств и недостатков, дополнения и замечания по нему;

заключительное слово выступающего;

заключение преподавателя.

Аспирант должен излагать материал свободно, не читая его.

По своему характеру вопросы бывают уточняющими, наводящими, встречными, казусными.

Уточняющие вопросы имеют своей целью заставить аспиранта яснее высказать мысль, четко и определенно сформулировать ее, чтобы установить, оговорился ли он или имеет место неверное толкование проблемы. Ответ позволяет преподавателю принять правильное решение: исправленная оговорка снимает вопрос, ошибочное мнение выносится на обсуждение участников практического занятия, но без подчеркивания его ошибочности.

Наводящие или направляющие вопросы имеют своей задачей ввести полемику в нужное русло, помешать нежелательным отклонениям от сути проблемы. Важно, чтобы такие вопросы приоткрывали новые сферы приложения высказанных положений, расширяли мыслительный горизонт аспирантов. При правильном проведении практического занятия наводящие вопросы должны применяться только в исключительных случаях.

Встречные вопросы содержат требования дополнительной аргументации, а также формально-логического анализа выступления или его отдельных положений. Цель таких вопросов — формирование у аспирантов умения всесторонне и глубоко обосновывать выдвигаемые положения, способности обнаруживать логические ошибки, обусловившие неубедительность или сомнительность вывода.

Казусные вопросы предлагаются аспиранту или всей группе в тех случаях, когда в выступлении проблема освещена в целом верно, но схематично, все кажется ясным и простым, хотя подлинная глубина проблемы не раскрыта. Возникает необходимость показать, что в изложенной проблеме не все так просто, как было показано. В этом случае преподавателю нужно показать более сложный аспект проблемы и вынести его на обсуждение в виде вопроса. Цель таких вопросов заключается в предоставлении аспирантам возможности научиться более глубоко раскрывать проблемы и находить их решения.

Рекомендуется аспирантам вести рабочую тетрадь, в которой на титульном листе указывается наименование дисциплины,год обучения, в котором она изучается, фамилия, имя, отчество аспиранта.

По каждому практическому занятию в ней должно быть:

тема практического занятия и его цель;

основные теоретические положения по теме занятия;

анализ решаемой проблемы;

выбор методов ее исследования;

порядок решения поставленной проблемы;

выполнение исследования;

анализ полученных результатов;

выводы.

Аспирант может сдавать выполненное задание в виде реферата, сообщения с презентацией, письменного изложения в рабочей тетради с ответами на вопросы для самоподготовки с последующей его защитой, в виде устного собеседования с преподавателем.

2.2. Тема «Исследование структуры и характеристик действующих электрических сетей»

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

Цель: формирование у аспирантов умений и навыков по исследованию структуры и характеристик электрических сетей.

Основные понятия: структура сетей, характеристики, проблемы функционирования сетей, структурный анализ.

План проведения практических занятий:

1. Знакомство с рабочей программой дисциплины, ее целями, задачами и содержанием, предусмотренными программой, образовательными технологиями, итоговой формой

контроля; определение ее места в программе аспирантуры направления подготовки 13.06.01 – Электро- и теплотехника.

2. Постановка проблемы для обсуждения.
3. Структура и характеристики электрических сетей и их анализ.
4. Проверка усвоенных в ходе самостоятельной работы основных положений по теме практического занятия.
5. 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 аспиранту иметь свой экземпляр рабочей программы дисциплины, который будет «путеводителем», дидактическим материалом и «шпаргалкой».

На этом этапе работы важно продемонстрировать аспирантам, 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 структуры и характеристик действующих электрических сетей проходит в интерактивном режиме. При этом делается акцент на важность проблемы исследования структуры и параметров электрических сетей, характеристик их функционирования, объясняется, почему эта проблема важна. Аспиранты в процессе дискуссии под руководством преподавателя должны освоить методику анализа структуры, параметров и характеристик электрических сетей, получить практические навыки по исследованию структуры электрических сетей Дальнего Востока.Итогом практического занятия должно являться овладениеинструментарием исследования структуры и характеристик электрических сетей.

3. Исследование структуры и характеристик электрических сетей проводится на примере электрических сетейДальнего Востока под руководством преподавателя. На конкретных примерах демонстрируется методика исследования, раскрывается сущности анализа полученных результатов исследования. Занятие проводится в интерактивном режиме. Затем каждому аспиранту выдается индивидуальное задание, над которым он работает самостоятельно.

4. Проверку того, насколько точно определены и хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы методика и технологии исследования структуры и характеристик электрических сетей, можно провести в форме деловой игры или дискуссии.

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

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

Отчетные материалы:

1. В качестве отчетных материалов представляются рабочие тетради аспирантов, 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. Охарактеризуйте структуру электрических сетей Амурской области.

2. Приведите классификацию электрических сетей Приморского края.

3. Проведите сравнительный анализ характеристик линии электропередачи переменного и постоянного тока.

4. Назначение и основные сведения о понижающих и преобразовательных подстанциях.

5. Перечислите средства управления потоками активной и реактивной мощности, регулирования напряжения в сети и дайте их общую характеристику.

6. Какие требования предъявляются к схемам электрических сетей?

7. Назовите типы конфигураций электрических сетей Амурской области и дайте их характеристику.

8. Как осуществляется выбор схем построения сети?

9. Какие компетенции должны быть сформированы у аспиранта в ходе изучения дисциплины?

2.3. Тема «Исследование конструкций линий электропередачи, в том числе нового поколения»

Рассматриваемой тематике посвящено два практических занятия.

Цель: получить знания и практические навыки по их применению в области конструктивного исполнения линий электропередачи.

Основные понятия: воздушная линия, кабельно-воздушная линия, гибкая линия, кабель, линейная арматура, опоры, провода, кабельная арматура, сечение, прокладка кабелей.

План проведения практических занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения
2. Исследование конструктивного исполнения современных линий электропередачи.
3. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы исследования конструкций линий электропередачи, в том числе нового поколения проходит в интерактивном режиме. Аспиранты в процессе дискуссий под руководством преподавателя должны изучить конструкции различных типов воздушных и кабельных линий, понять преимущества линий последнего поколения и их элементов, увязать пропускную способность электрических сетей с конструкцией линии электропередачи. Итогом практических занятий должно являться четкое понимание того, как конструкция линии электропередачи влияет на ее пропускную способность и как выбрать конструктивное исполнение линии с повышенной пропускной способностью.

2. Рассматриваются конструкции линий электропередачи, и проводится их сравнение. Исследование целесообразности выбора той или иной конструкции линии электропередачи для повышения ее пропускной способностипроводится на примере ОЭС Востока под руководством преподавателя. В форме деловой игры исследуется влияние конструктивных элементов линий электропередачи на ее пропускную способность. Затем каждому аспиранту выдается индивидуальное задание, над которым он работает самостоятельно. В процессе выполнения индивидуального задания идет обсуждение полученных результатов по основным этапам его выполнения. Проверку того, насколько точно определены и хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы подходы исследование влияния конструктивного исполнения линий электропередачи на ее пропускную способность, можно произвести в форме деловой игры или в виде дискуссии.

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

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради аспирантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Выступление с презентацией.

- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Перечислите конструктивные элементы воздушных линий электропередачи (ЛЭП).
2. Дайте характеристику проводам воздушных линий и тросам, приведите их конструктивное исполнение, маркировку, область применения.
3. Перечислите типы проводов последнего поколения и дайте им характеристику, их марки, конструкция.
4. Опоры: их классификация и конструктивное исполнение, область применения.
5. Охарактеризуйте опоры последнего поколения и приведите их сравнительный анализ с классическими опорами.
6. Что относится к линейной арматуре? Назначение, конструктивное исполнение, область применения, маркировка.
7. Перечислите конструктивные элементы кабельных линий электропередачи, приведите их характеристику.
8. Классификация и маркировка кабельных линий.
9. Рассмотрите конструктивное исполнение кабелей различного уровня номинального напряжения, их область применения.
10. Охарактеризуйте кабели последнего поколения и сравните их конструкцию и параметры с кабелями традиционного исполнения.
11. Рассмотрите кабельную арматуру, ее назначение, конструктивное исполнение, маркировку.
12. Условия и виды прокладки кабелей. Как выбрать более рациональный вид прокладки кабелей?
13. Современное состояние конструктивного исполнения воздушных линий электропередачи.
14. Современное состояние конструктивного исполнения кабельных линий электропередачи.

2.4. Тема «Исследование проблем транспорта и распределения электроэнергии»

Рассматриваемой тематике посвящено одно практическое занятие.

Цель: Выявить проблемы транспорта и распределения электроэнергии по электрическим сетям разного номинального напряжения.

Основные понятия: транспорт электроэнергии, пропускная способность, режим, переток мощности, напряжение, компенсация реактивной мощности, потери электроэнергии.

План проведения практических занятий

1. Постановка задачи
2. Исследованиепроблем транспорта и распределения электроэнергии.
3. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Постановка задачи по исследованию проблемы транспорта и распределения электроэнергии проходит в интерактивном режиме. Аспиранты в процессе дискуссий под руководством преподавателя выявляют и ранжируют по значимости проблемы транспорта и распределения электроэнергии.

2. По результатам постановки задачи аспиранты приходят к пониманию, что пропускная способность элементов электрических сетей зависит от многих факторов, приводят их характеристику. В процессе обсуждения выявляются не уясненные аспирантами элементы практического занятия, и проводится их разъяснение. Затем выполняется индивидуальная работа по тематике практических занятий данной темы. По ходу ее выполнения идет обсуждение по основным этапам работы.

3. Проверку правильности выполнения заданий самостоятельной работы можно произвести в форме деловой игры или в виде дискуссии. Текущий контроль необходим, чтобы понять сте-

пень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по устранению выявленных проблем.

Отчетные материалы:

- Рабочие тетради магистрантов, оформленные в соответствии с разработанной преподавателем формой.
- Материалы текущего контроля.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Перечислите основные проблемы функционирования электрических сетей и дайте характеристику каждой из них.
2. Рассмотрите перспективы развития электрических сетей в России и на Дальнем Востоке, сравните с зарубежным опытом.
3. Приведите методику исследованияперетоков мощности по линиям электропередачи разных классов номинального напряжения.
4. Приведите методику и порядок исследования соотношения активной и реактивной мощности в линиях и трансформаторах.
5. Как провестиисследование режимов работы силовых трансформаторов?
6. Приведите характеристику методов анализа пропускной способности линий электропередачи, силовых трансформаторов при разных способах задания информации.
7. Как обработать результаты исследования пропускной способности электрических сетей?

2.5. Тема «Исследование проблемы потерь электроэнергии в электрических сетях»

Рассматриваемой тематике посвящено два практических занятия.

Цель: приобретение практических навыков по исследованию потерь электроэнергии, как одного из факторов, влияющих на пропускную способность электрических сетей.

Основные понятия: потери электроэнергии, технико-экономические показатели функционирования электрических сетей, структура потерь, нормативные потери методы расчета и анализа потерь.

План проведения практических занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения
2. Исследование потерь электроэнергии как фактора, влияющего на пропускную способность электрических сетей.
3. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы исследования потерь электроэнергии в электрических сетях проходит в интерактивном режиме. Аспиранты в процессе дискуссий под руководством преподавателя должны уяснитьосновные понятия и определения потерь электроэнергии, освоить методы расчета и анализа потерь электроэнергии. Должно быть рассмотреновлияние потерь электроэнергии на технико-экономические показатели функционирования электрических сетей на примере одной из сетей Дальнего Востока. Итогом этих практических занятий должно являться приобретение практических навыков по исследованию проблемы потерь электроэнергии.

2. Методика исследования потерь электроэнергиирассматривается на примере одной из электрических сетей Дальнего Востока. При проведении практического занятия аспиранты под руководством преподавателя анализируют структуру потерь электроэнергии, осваивают методы расчета и анализа потерь электроэнергии. В форме деловой игры оценивается влияние потерь электроэнергии на пропускную способность электрических сетей. Затем выполняется индивидуальное задание, результаты которого обсуждаются на практическом занятии.

3. Проверку того, насколько хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы методы исследования потерь электроэнергии в электрических сетях и их влияние на про-

пускную способность электрических сетей, 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, с их разбором на практических занятиях.

Отчетные материалы:

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

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Рассмотрите влияние потерь электроэнергии на технические и экономические показатели функционирования электрических сетей, их энергоэффективность и надежность.
2. Покажите связь потерь электроэнергии с техническими и экономическими показателями функционирования электрических сетей.
3. Основные этапы истории исследования потерь электроэнергии.
4. Развитие методов определения потерь мощности и электроэнергии.
5. Развитие нормативно-правовой базы по потерям электроэнергии.
6. Приведите характеристику методов ретроспективного расчета потерь электроэнергии, порядок расчета потерь электроэнергии.
7. С какой целью проводят оперативные расчеты потерь электроэнергии, алгоритм оперативных расчетов?
8. Чем перспективные расчеты отличаются от планирования потерь электроэнергии?
9. Приведите характеристику и основные этапы нормативного метода расчета потерь электроэнергии.
10. Как учитывают нормативные потери в тарифах на электроэнергию, и с какой целью?
11. Охарактеризуйте особенности исследования потерь электроэнергии в электрических сетях электросетевых комплексов.

2.6. Тема «Методы и способы повышения пропускной способности электрических сетей»

Рассматриваемой тематике посвящено два практических занятия.

Цель: изучить методы и способы повышения пропускной способности электрических сетей, освоить технологии их реализации.

Основные понятия: транспорт электроэнергии, компенсация реактивной мощности, управление уровнем потерь электроэнергии, сечение проводников, пропускная способность электрических сетей.

План проведения практических занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения
2. Методы и способы повышения пропускной способности электрических сетей.
3. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Обсуждение проблемы повышения пропускной способности электрических сетей проходит в интерактивном режиме. Аспиранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны определить основные пути и способы и средства повышения пропускной способности. Рассматривается проблема компенсации реактивной мощности, управления уровнем потерь электроэнергии, выбора оптимального сечения проводника и другие проблемы. Аспиранты в процессе дискуссий под руководством преподавателя должны изучить технологии анализа и синтеза схем электрических сетей, принципы формирования и реализации вариантов конфигурации электрической сети с повышенной пропускной способностью.Должны быть рассмотрены возможности применения технологийповышения пропускной способности электросетевых комплексов Дальне-

го Востока. Итогом этого практического занятия должно являться приобретение практических навыков по повышению пропускной способности электрических сетей.

2. Проверку того, насколько хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы материалы по теме практического занятия, можно произвести в форме деловой игры или в виде дискуссии.

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

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. Рассмотрите организационно-правовые и технологические аспекты транспорта и распределения электроэнергии в России.
2. Как обеспечить энергоэффективность при транспорте электроэнергии?
3. Назовите основные задачи повышения пропускной способности электрических сетей.
4. Приведите характеристику технологий анализа и синтеза схем электрических сетей.
5. Каковы принципы формирования вариантов конфигурации электрической сети с повышенной пропускной способностью?
6. Приведите алгоритмы выбора оптимальных конфигурации и параметров электрических сетей.
7. Каковы критерии выбора оптимального варианта повышения пропускной способности электрических сетей?
8. Назовите основные экономические показатели систем передачи и распределения электроэнергии.
9. Приведите характеристику методов и алгоритмов построения электрических сетей с повышенной пропускной способностью.
10. По какому пути происходит развитие методов выбора сечений проводников?
11. Основные аспекты управления потоками реактивной мощности в электрических сетях.
12. Развитие методов и средств регулирования напряжения.
13. Покажите порядок перевода сетей на линии электропередачи и оборудование нового поколения.
14. Перечислите основные методы снижения потерь электроэнергии и приведите их краткую характеристику.
15. Каковы факторы целесообразности управления уровнем потерь электроэнергии?
16. Компенсация реактивной мощности: новые подходы.
17. Назовите новые свойства активно-адаптивных сетей, которые целесообразно использовать при управлении уровнем потерь электроэнергии.
18. Комплексный подход при реализации мероприятий, направленных на оптимальное снижение потерь электроэнергии.
19. Системные эффекты от повышения пропускной способности электрических сетей.

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

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ

3.1. Виды и формы самостоятельной работы

Самостоятельная работа является наиболее продуктивной формой образовательной и познавательной деятельности магистранта в период обучения. Для реализации творческих способностей аспирантов и более глубокого освоения дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы: познавательная и исследовательская (проблемно – ориентированная).

Самостоятельная работа проводится с целью:

систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических навыков обучающихся;

углубления и расширения теоретических знаний;

формирования умений использовать специальную литературу;

развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, ответственности и организованности;

формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

развития исследовательских навыков.

Познавательный вид самостоятельной работы направлен на:

– поиск учебной, научной, справочной и нормативной литературы;

– освоение навыков работы с современными профессиональными базами данных, включая международные реферативные базы научных изданий, и информационными справочными системами;

– углубленное изучение материалов по дисциплине;

– обработку и усвоение информации по темам, изучаемым в дисциплине.

Исследовательский (проблемно – ориентированный) вид самостоятельной работы направлен на:

– изучение необходимого материала для постановки задачи выполнения практических заданий;

– подготовку и выполнение практических заданий;

– углубленное исследование вопросов, возникших по результатам выполнения индивидуального задания;

– исследовательскую работу по подготовке материала к выполнению индивидуального задания или написания реферата;

– обзор, анализ и оценку научно-исследовательских или проектно-конструкторских разработок в исследуемой области дисциплины по выбору аспиранта или по заданию преподавателя;

– поиск, анализ, структурирование и презентацию информации исследовательского характера по изучаемой теме;

– обобщение полученных результатов и их анализ.

Самостоятельная работа делится на аудиторную и внеаудиторную.

Аудиторная самостоятельная работа по изучаемой дисциплине проводится на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуется как единство двух форм:

самоконтроль и самооценка аспиранта;

контроль и оценка со стороны преподавателя.

Основными видами аудиторной самостоятельной работы подисциплине являются:

выполнение практических заданий;

выполнение индивидуальных заданий;

работа с литературой и другими источниками информации, в том числе электронными;

само- и взаимопроверка выполненных заданий;

решение проблемных и ситуационных, исследовательских задач.

При проведении практических занятий по дисциплине предусматривается самостоятельная работа с литературой, другими источниками информации, в т.ч. электронными. Данные источники информации могут быть представлены на бумажном и/или электронном носителях, в том числе, в сети Internet. Преподаватель формулирует цель работы с данным источником информации, определяет время на проработку документа и форму отчетности.

Само и взаимопроверка выполненных заданий проводится на практическом занятии и имеет своей целью приобретение таких навыков как наблюдение, анализ ответов сокурсников, сверка собственных результатов с эталонами.

Решение проблемных и ситуационных заданийрассматривается как на лекции, так и на практическом занятии. Проблемное и ситуационное задание имеет четкую формулировку, к нему поставлены вопросы, ответы на которыеаспиранту необходимо самостоятельно найти и обосновать. Критерии оценки правильности решения такого задания доводятся до аспирантов перед выполнением самостоятельной работы по этому заданию.

Задание исследовательского плана выполняется во внеаудиторное время, при этом с преподавателем обсуждается план его выполнения и сроки выполнения.

Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами аспирантов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

для овладения знаниями:

чтение текста литературных источников, составление плана текста и графическое изображение его структуры, конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; научно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернет-ресурсов и др.;

для закрепления и систематизации знаний:

работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом по литературным источникам, аудио- и видеозаписям; составление плана и тезисов ответа; составление таблиц, глоссария для систематизации учебного материала; изучение словарей, справочников; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ и др.); подготовка сообщений к выступлению на практическом занятии; подготовка рефератов, докладов, составление заданий в тестовой форме и др.;

для формирования умений и навыков:

решение задач по образцу; решение вариативных задач; решение ситуационных (профессиональных) и исследовательских заданий; решение проблемы; подготовка к деловым и ролевым играм; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности; подготовка презентаций, творческих проектов и др.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы.

В процессе самостоятельной работы аспирант приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности. Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями, умениями и навыками по дисциплине, выполняет внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюд-

жета времени и других условий.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы аспирант имеет право обращаться к преподавателю за консультацией с целью уточнения задания, формы контроля выполненного задания.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта его деятельности. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы используются зачеты разделов или модулей дисциплины, тестирование, самоотчеты, защита индивидуальных заданий, блиц-опрос на лекциях и практических занятиях.

Формами самостоятельной работы по изучаемой дисциплине являются:

- Проработка материала, вынесенного на самостоятельное изучение.
- Подготовка к собеседованию по темам раздела.
- Выполнение реферата и подготовка к его защите.
- Выполнение отчета по практическому заданию и подготовка к его защите.

3.2. Самостоятельная работа по изучению теоретическойчасти дисциплины

Изучение теоретической части дисциплин призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у обучающихся творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление изучаемого аспирантом теоретического материала, на развитие его практических навыков и умений. Она включает в себя:

– работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы изпечатных и электронных источников информации по индивидуальному заданию;

– опережающую самостоятельную работу;

– изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;

– подготовку к блиц-опросам, тестированию.

Работа с разделом дисциплины начинается с лекционного материала, подробно рассматривающего конкретный аспект учебной дисциплины. Материалы лекции включают основные понятия, вопросы для самопроверки, ключевую информацию, позволяющие повысить эффективность усвоение основного содержания.

Затем аспирант самостоятельно изучает дополнительную литературу, выдаваемую ему в начале обучения, по мере освоения которой отвечает на контрольные вопросы. После усвоения материала аспирант осуществляет самопроверку усвоения материалов по изученным разделам. При успешном прохождении самопроверкиаспирант защищает изученный материал перед преподавателем, в том числе с использованием интернет-технологий и личного кабинета.

При самостоятельной работе над разделами теоретического курса аспирантам необходимо:

самостоятельно изучить дополнительные материалы по программе теоретического курса в соответствиис индивидуальным планом подготовки;

подготовить устные ответы на контрольные вопросы, приведенныепосле каждой темы;

пройти собеседование.

Темы на самостоятельное изучение преподаватель выдает аспирантам на консультациях после собеседования с ними или входного контроля.

Методические рекомендации подготовки к лекциям

Главное в период подготовки к лекционным занятиям – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы.

В основу его нужно положить рабочую программу изучаемой дисциплины. Ежедневной учебной работе аспиранту следует уделять 9 часов своего времени, например, при шести часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3 часа.

Каждому аспиранту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность обучающегося. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим аспирантом.

Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Целесообразно разработать собственную символику (значки, символы) сокращения слов. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

3.3. Самостоятельная работа при подготовке к практическим занятиям и выполнении индивидуальных заданий

Целью практических занятий является углубленное изучение дисциплины, закрепление пройденного материала, овладение практическими навыками по изучаемому материалу, формирование навыков профессиональной дискуссии. Кроме того, на таких занятиях можно легко проследить, как усвоен материал, какие вопросы и возражения появились у аудитории.

Практические занятия выполняют следующие задачи:

стимулируют регулярное изучение программного материала, первоисточников научной литературы;

закрепляют знания, полученные при прослушивании лекций и во время самостоятельной работы;

обогащают знаниями благодаря выступлениям товарищей и преподавателя на занятии, корректируют ранее полученные знания;

способствуют превращению знаний в твердые личные убеждения;

прививают навыки устного выступления по теоретическим вопросам, приучают свободно оперировать понятиями и категориями;

прививают навыки выполнения практико-ориентированных, проблемных и исследовательских заданий;

предоставляют возможность преподавателю систематически контролировать самостоятельную работу аспирантов.

На практических занятиях обучающиеся и преподаватель объединяются в один общий процесс его подготовки и проведения. Для обучающихся главная задача состоит в том, чтобы усвоить содержание учебного материала темы, которая выносится на обсуждение, подготовиться к выступлению и дискуссии, самостоятельному выполнению индивидуальных заданий. Преподаватель должен оказать действенную методическую помощь аспирантам в этой работе.

Начинается практическое занятие со вступительного слова преподавателя, в котором озвучивается его тема, ставится проблема для обсуждения, указывается порядок проведения занятия.

Важнейшей частью практического занятия является обсуждение вопросов, хода выполнения заданий или доклад/сообщение. Эффективность занятия во многом зависит от содержания выступлений, докладов, рефератов аспирантов. В ходе занятия важно, чтобы обучающиеся внимательно слушали и критически оценивали выступления товарищей. Важным элементом практического занятия является заключительное слово преподавателя. Оно может быть как общим в конце занятия, так и частным - после обсуждения отдельного вопроса практического занятия.

*Рекомендации к выступлениям аспирантов.*Рекомендуется следующий план выступленияаспиранта:

связь выступления с предшествующей темой или вопросом;

раскрытие сущности проблемы;

методологическое значение для научной, профессиональной и практической деятельности.

Важнейшие требования к выступлениям аспирантов – самостоятельность в подборе фактического материала и аналитическом отношении к нему, умение рассматривать примеры и факты во взаимосвязи и взаимообусловленности, отбирать наиболее существенные из них.

Приводимые аспирантами примеры и факты должны быть существенными. Выступление аспиранта должно соответствовать требованиям логики. Четкое вычленение излагаемой проблемы, ее точная формулировка, неукоснительная последовательность аргументации именно данной проблемы, без неоправданных отступлений от нее в процессе обоснования, безусловная доказательность, непротиворечивость и полнота аргументации, правильное и содержательное использование понятий и терминов. Желательно, чтобы аспирант излагал материал свободно.

Вопросы к докладчику задают, прежде всего,обучающиеся, а не преподаватель. Вопросы, задаваемые аспирантами, должны были существенны, связаны с темой, точно сформулированы.

*Работа с литературными источниками при подготовке к практическому занятию.*В процессе подготовки к практическим занятиям, аспирантам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной, нормативной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, статистическими данными является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у аспирантов свое отношение к конкретной проблеме.

Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной преподавателем по каждой теме практического занятия либо найденной самим магистрантом, что позволяет ему проявить свою индивидуальность в рамках выступления на данных занятиях, выявить широкий спектр мнений по изучаемой проблеме, подготовиться к выполнению индивидуального задания.

Методические рекомендации по подготовке к выполнению индивидуального задания

Индивидуальные задания выполняются магистрантом самостоятельнокак на практическом занятии, так и во внеаудиторное время. В ходе их выполнения магистранты воспринимают и осмысливают новый учебный материал, осваивают навыки по его применению в дальнейшей профессиональной деятельности.

Задачи, стоящие передаспирантом при подготовке и выполнении индивидуального задания:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной, в том числе исследовательской работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей профессиональнойдеятельности.

Ключевым требованием при подготовке к выполнению индивидуального задания выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, находить оригинальные решения, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых решений рассматриваемых проблем, чётко и логично излагать свои мысли.

Рекомендуется проводить самостоятельную работу по подготовке к выполнению индивидуального задания по следующему плану:

проработка теоретического материалапо теме индивидуального задания по конспекту лекций и рекомендуемой литературе;

постановка проблемы, решаемой во время выполнения индивидуального задания;

выбор методов и алгоритмов его выполнения, их изучение;

подготовка исходных данных для выполнения индивидуального задания и их обработка;

решение поставленной проблемы;

анализ хода выполнения индивидуального задания;

анализ полученных результатов;

выводы.

Методические рекомендации по подготовке доклада или сообщения

Основным содержанием доклада или сообщения может быть характеристика современного состояния проблемы, изучаемой на практическом занятии, авторский взгляд на ситуацию или проблему, анализ и возможные пути решения проблемы.

Темами доклада или сообщения обычно являются вопросы, не освещенные в полной мере или вообще не рассматриваемые на лекциях, предполагающие самостоятельное изучение аспирантами. Для устного сообщения недостаточно правильно построить и оформить письменный текст, недостаточно удовлетворительно раскрывать тему содержания. Устное сообщение должно хорошо восприниматься на слух, а значит должно быть интересно поданным для аудитории. Для представления устного доклада или сообщения необходимо составить тезисы – опорные моменты выступления магистранта, в которые входят обоснование актуальности, описание сути работы, основные термины и понятия, выводы, ключевые слова, которые помогут логичнее изложить тему. Аспирант во время выступления может опираться на пояснительные материалы, представленные в виде слайдов, таблиц и пр. Это поможет ему ярко и четко изложить материал, а слушателям наглядно представить и полнее понять проблему, о которой идет речь в докладе или сообщении.

Тема доклада или сообщения должна быть согласованна с преподавателем и соответствовать теме практического занятия. Материалы при его подготовке, должны соответствовать научно-методическим требованиям вуза и быть указаны в докладе. Необходимо соблюдать регламент, оговоренный при получении задания. Иллюстрации должны быть достаточными, но не чрезмерными.

Работа аспиранта над докладом или сообщением включает отработку умения самостоятельно обобщать материал и делать выводы в заключении, умения ориентироваться в материале и отвечать на дополнительные вопросы слушателей, отработку навыков ораторства, умения проводить диспут. При этом аспиранты должны уметь сообщать новую информацию, использовать технические средства, хорошо ориентироваться в теме всего практического занятия, дискутировать и быстро отвечать на заданные вопросы, четко выполнять установленный преподавателем регламент, иметь представление о композиционной структуре доклада или сообщения.

Устное выступление лучше воспринимается слушателями, если оно сопровождается презентацией.

Методические рекомендации по подготовке презентаций. Подготовка презентаций — это вид самостоятельной работы обучающихся по созданию наглядных информационных пособий, выполненных с помощью мультимедийной компьютерной программы. Этот вид работы требует координации навыков обучающегося по сбору, систематизации, переработке информации, оформления ее в виде подборки материалов, кратко отражающих основные вопросы изучаемой темы, в электронном виде. Подготовка презентаций расширяет методы и средства обработки и представления учебной информации, формирует у аспирантов навыки работы на компьютере. Презентации готовятся в виде слайдов.

Задачи обучающегося при подготовке презентации заключаются в изучении материалов темы, выделении главного и второстепенного; установлении логической связи между элементами темы, представлении характеристики элементов в краткой форме, в выборе опорных сигналов для акцентирования главной информации и отображения их в структуре презентации.

Не рекомендуется:

перегружать слайд текстовой информацией; использовать блоки сплошного текста;

в нумерованных и маркированных списках использовать уровень вложения глубже двух;

использовать переносы слов; использовать наклонное и вертикальное расположение подписей и текстовых блоков;

текст слайда не должен повторять текст, который аспирант произносит вслух (зрители прочитают его быстрее, чем расскажет докладчик, и потеряют интерес к его словам).

Рекомендуется:

сжатость и краткость изложения, максимальная информативность текста: короткие тезисы, даты, имена, термины;

использование коротких слов и предложений, минимум предлогов, наречий, прилагательных;

использование нумерованных и маркированных списков вместо сплошного текста;

использование табличного (матричного) формата предъявления материала, который позволяет представить материал в компактной форме и наглядно показать связи между различными понятиями;

выполнение общих правил оформления текста;

тщательное выравнивание текста, буквиц, маркеров списков;

горизонтальное расположение текстовой информации, в т.ч. и в таблицах;

каждому положению, идее должен быть отведен отдельный абзац текста;

основную идею абзаца располагать в самом начале — в первой строке абзаца.

Оптимальным вариантом являетсярасположение на слайде заголовка, изображения в виде фотографии, рисунка, диаграммы, схемы, таблицы и т.п., и подписи к нему.

3.4. Задания для самостоятельной работы аспирантов

Проблемно-ориентированные вопросы для самостоятельной работы по дисциплине

1. Проанализируйтепроблемы пропускной способности магистральных электрических сетей.
2. Исследуйте проблемы пропускной способности распределительных электрических сетей.
3. Проведите анализ схемно-режимной ситуации электрических сетей Амурской области, влияющей на транспорт электроэнергии.
4. Покажите на примере электрических сетей Амурской области как исследовать потери электроэнергии.
5. Исследуйте изменение параметров режима при компенсации реактивной мощности.
6. Покажите на примере электрической сети Дальнего Востока ка выявлять очаги повышенных потерь электроэнергии.
7. Исследуйте влияние новых свойств активно-адаптивной электрической сети на пропускную способность.
8. Проведите исследование уровней напряжения в узлах электрической сети 220 кВ Амурской области при применении различных компенсирующих устройств.
9. Предложите вариант конфигурации электрической сети с повышенной пропускной способностью.
10. Проанализируйте влияние потерь электроэнергии на технико-экономические показатели функционирования электрической сети.
11. Проведите анализ по изменению параметров режима и схемы при переводе электрической сети на линии и оборудование нового поколения.
12. Какие системные эффекты можно ожидать от повышения пропускной способности электрической сети.
13. Исследуйте влияние конструктивного исполнения линий электропередачи на пропускную способность сети.
14. Как можно управлять перетоком активной и реактивной мощностей?

Вопросы для самопроверки

Примерный перечень вопросов к экзамену:

1. Общие сведения об электрических сетях и электроэнергетических системах.
2. Классификация электрических сетей. Линии электропередачи переменного и постоянного тока.
3. Понижающие и преобразовательные подстанции. Характеристики оборудования линий и подстанций.
4. Типы конфигураций электрических сетей и их развитие.
5. Схемы соединения электрической сети. Способы присоединения подстанций к электрической сети. Схемы электрических соединений подстанций.
6. Выбор схем построения сети.
7. Конструктивное исполнение воздушных линий электропередачи
8. Конструктивное исполнение кабелей различного уровня номинального напряжения, их область применения
9. Изолированные воздушные линии.
10. Опоры и провода последнего поколения.
11. Кабели последнего поколения
12. Кабельно-воздушные линии
13. Характеристика проблем функционирования электрических сетей.
14. Перспективы развития электрических сетей в России и на Дальнем Востоке. Зарубежный опыт.
15. Исследование перетоков мощности по линиям электропередачи разных классов номинального напряжения, соотношения активной и реактивной мощности.
16. Исследование режимов работы силовых трансформаторов.
17. Методы анализа пропускной способности линий электропередачи, силовых трансформаторов при разных способах задания информации.
18. Влияние потерь электроэнергии на технические и экономические показатели функционирования электрических сетей, их энергоэффективность и надежность.
19. Связь потерь электроэнергии с техническими и экономическими показателями функционирования электрических сетей.
20. История проблемы исследования потерь электроэнергии.
21. Развитие методов определения потерь мощности и электроэнергии. Развитие нормативно-правовой базы по потерям электроэнергии.
22. Особенности исследования потерь электроэнергии в электрических сетях электросетевых комплексов.
23. Организационно-правовые и технологические аспекты транспорта и распределения электроэнергии в России.
24. Задачи и методы повышения пропускной способности электрических сетей.
25. Принципы формирования вариантов конфигурации электрической сети с повышенной пропускной способностью.
26. Выбор конфигураций схем и основных параметров инновационных электрических сетей.
27. Технико-экономические основы повышения пропускной способности электрических сетей.
28. Методы выбора сечений проводников и их развитие.
29. Новые задачи и объекты управления в электрических сетях.
30. Управление потоками реактивной мощности в электрических сетях.
31. Новые подходы к регулированию напряжения.
32. Перевод сетей на линии электропередачи и оборудование нового поколения.
33. Методы снижения потерь электроэнергии.
34. Факторы целесообразности управления уровнем потерь электроэнергии.
35. Новые свойства активно-адаптивных сетей, используемые при управлении уровнем потерь электроэнергии.

36. Комплексный подход при реализации мероприятий, направленных на оптимальное снижение потерь электроэнергии.
37. Системные эффекты от повышения пропускной способности электрических сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

а) основная литература:

1. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Я. Ушаков. — Электрон.текстовые данные. — Томск: Томский поли-технический университет, 2014. — 447 с. — 978-5-4387-0521-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/34715.html
2. Розанов Ю.К., Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / Розанов Ю.К., Бурман А.П., Шакарян Ю.Г.. — Электрон.дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2012. — 384 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/72311.
3. Савина Н.В. Управлениеуровнемпотерьэлектроэнергии в активно-адаптивныхэлектрическихсетях [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 2014. - 114 с. – Режим доступа : http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7118.pdf
4. Савина Н.В.Управление потоками реактивной мощности в активно-адаптивных электрических сетях [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Н. В. Савина. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 2013. - 61 с. – Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7107.pdf

б) дополнительнаялитература:

1. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко ; под ред. Ю.С. Железко. — Электрон.дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/72266.
2. Савина Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях [Текст] :моногр. / Н. В. Савина ; отв. ред. Н. И. Воропай. - Новосибирск : Наука, 2008. - 228 с. - Библиогр. : с. 215. - ISBN 978-5-02-023222-8 (в пер.)
3. Савина Н.В. Управление потоками реактивной мощности в активно-адаптивных электрических сетях [Электронный ресурс] : метод.указания для самостоят. работы / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 2013. – Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7155.pdf
4. Савина Н.В. Методы расчета и анализа потерь электроэнергии в электрических сетях [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 2014. - 150 с. – Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7122.pdf
5. Савина Н.В. Управление уровнем потерь электроэнергии в активно-адаптивных электрических сетях [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 2014. - 114 с. с – Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7118.pdf
6. Ананичева С.С. Модели развития электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.С. Ананичева, П.Е. Мезенцев, А.Л. Мызин. — Электрон.текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 148 с. — 978-5-321-02313-6. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/65947.html
7. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебник / Т.А. Филиппова. — Электрон.текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 294 с. — 978-5-7782-2517-6. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45211.html
8. Лыкин А.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Лыкин. — Электрон.текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 115 с. — 978-5-7782-2202-1. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45212.html

9. Филиппова Т.А. Модели и методы прогнозирования электроэнергии и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : монография / Т.А. Филиппова, А.Г. Русина, Ю.В. Дронова. — Электрон.текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2009. — 365 с. — 978-5-7782-1235-0. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45398.html
10. 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