

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

Н. В. Савина

**УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ПОТЕРЬ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Методические указания к практическим занятиям

Благовещенск
Издательство АмГУ
2013

ББК 31.29я73
У 67

Печатается по решению
редакционно-издательского
совета
Амурского государственного
университета

Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»

Рецензенты:

А.С. Блейхман, заместитель генерального директора по корпоративному и правовому обеспечению ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (ОАО «ДРСК»).

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

Савина Н.В.

У67 Управление уровнем потерь электроэнергии в условиях неопределенности: методические указания к практическим занятиям / Н. В. Савина. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 61 с.

Методические указания к практическим занятиям предназначены для подготовки магистров по направлению 13.04.02 (140400.68) «Электроэнергетика и электротехника», магистерской программе «Электроэнергетические системы и сети». Рассмотрены особенности проведения практических занятий в форме научного семинара, приведена в прикладном изложении основная информация в области определения потерь электроэнергии в системах электроэнергетики на различных временных интервалах, инструментарий их системного анализа в условиях неопределенности, методы выбора инновационных технологий по их минимизации.

В авторской редакции.

ББК 31.29я73
©Амурский государственный университет, 2013

Введение

Важнейшим количественным показателем технического состояния электрических сетей и уровня их эксплуатации является величина потерь электроэнергии и тенденции ее изменения.

Несмотря на существенный прогресс в развитии систем учета электроэнергии, в настоящее время наблюдается практически повсеместный рост отчетных потерь электроэнергии. При этом увеличиваются обе составляющие потерь: техническая и коммерческая. Их соотношение и динамика отличаются не только в разных сетевых компаниях, но и внутри самих компаний. Общим является их увеличение.

Высокий уровень потерь электроэнергии в распределительных сетях электроэнергетических систем (ЭЭС) в основном обусловлен следующими факторами: техническими параметрами элементов сети; неоптимальными режимами работы; недостатком регулирующих средств; отсутствием или неудовлетворительной компенсацией реактивной мощности; высокой неравномерностью графиков электрических нагрузок; неэффективностью систем учета электроэнергии; увеличением установленной мощности нелинейных и несимметричных нагрузок.

Фактические небалансы электроэнергии в распределительных сетях энергосистем зачастую превышают допустимые значения, иногда значительно. Их динамика как по подстанциям, так и по сетям в целом характеризует случайность, стремление к увеличению. Отсюда аппаратная реализация учета электроэнергии приводит к неопределенности исходной информации, используемой при расчете, анализе и прогнозировании потерь электроэнергии.

Неопределенность – одно из фундаментальных свойств ЭЭС, в том числе их подсистем – электрических сетей. По мере развития рыночных отношений состав неопределенных факторов и условий расширяется. Традиционные подходы к разработке мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сетях

оказываются неэффективными, а целесообразность таких мер в значительной степени теряется. В то же время снижение потерь электроэнергии в электрических сетях приводит к повышению их пропускной способности, что позволяет сетевым компаниям расширять объем услуг по недискриминационному доступу потребителей к сетям.

В связи с развитием рыночных отношений в стране актуальность проблемы потерь электроэнергии существенно возросла и в промышленных электрических сетях. Анализ причин роста потерь показал их сходность с аналогичными причинами в сетях энергосистем, что свидетельствует об одной физической природе и возможности единого подхода к их устранению.

Повышается также и экономическая значимость проблемы потерь электроэнергии, обусловленная включением в тариф нормативных значений потерь, а также снижением прибыли сетевых компаний из-за сверхнормативных потерь. Отсюда перспективной задачей является управление уровнем потерь электроэнергии в распределительных сетях.

Под управлением уровнем потерь электроэнергии понимается обеспечение требуемой точности расчета и прогнозирования, оптимального значения потерь на основе системного анализа.

Научный семинар «Управление уровнем потерь электроэнергии в условиях неопределенности» является дисциплиной, целью которой является формирование систематизированных знаний в области определения потерь электроэнергии в системах электроэнергетики на различных временных интервалах, их минимизации, приобретение магистрантами навыков их системного анализа в условиях неопределенности, выбора инновационных технологий и технических средств, направленных на эффективное снижение потерь электроэнергии. Эти знания позволят выпускникам успешно решать задачи в профессиональной и научно-исследовательской деятельности, относящиеся к критической технологии РФ «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии».

Учебным планом по направлению подготовки 140400.68 - «Электроэнергетика и электротехника» для дисциплины «Управление уровнем потерь электроэнергии в условиях неопределенности» определены следующие профессиональные компетенции (ПК), которыми должен обладать выпускник:

способностью оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы (ПК-8);

готовностью решать инженерно-технические и экономические задачи с применением средств прикладного программного обеспечения (ПК-19);

готовностью применять методы и средства автоматизированных систем управления технологическими процессами электроэнергетической и электротехнической промышленности (ПК-20);

способностью принимать решения в области электроэнергетики и электротехники с учетом энерго- и ресурсосбережения (ПК-21);

способностью определять эффективные производственно-технологические режимы работы объектов электроэнергетики и электротехники (ПК-23);

готовность использовать современные достижения науки и передовой технологии в научно-исследовательских работах (ПК-36);

способностью планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований (ПК-37);

способность самостоятельно выполнять исследования для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования свойств материалов и готовых изделий при выполнении исследований в области проектирования и технологии изготовления электротехнической продукции и электроэнергетических объектов (ПК-38);

готовностью представлять результаты исследования в виде отчетов, рефератов, научных публикаций и на публичных обсуждениях (ПК-41);

способностью к реализации различных форм учебной работы (ПК-51).

Задачами проведения научных семинаров в рамках дисциплины являются:

- Изучение научных основ решения проблемы повышения эффективности транспорта и распределения электроэнергии путем управления уровнем потерь электроэнергии в условиях неопределенности.
- Получение знаний в области системного анализа потерь электроэнергии в электроэнергетических системах и их подсистемах.
- Изучение методов определения потерь электроэнергии и способов их минимизации.
- Формирование системных и профессиональных навыков по определению и анализу потерь электроэнергии на разных пространственно-временных иерархиях с использованием математических моделей сложных систем и применением инновационных технологий.
- Формирование профессиональных и исследовательских навыков по управлению уровнем потерь электроэнергии при функционировании электрических сетей, в том числе и активно-адаптивных сетей.

В результате освоения дисциплины магистрант должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

современное состояние проблемы потерь электроэнергии и критической технологии РФ, к которой они относятся;

основные понятия и определения, связанные с потерями электроэнергии;

нормативную базу в области потерь электроэнергии;

методы определения и системного анализа потерь электроэнергии на различных пространственно-временных иерархиях систем электроэнергетики;

закономерности изменения параметров режима;

математические модели систем электроэнергетики, применяемые для исследования потерь электроэнергии;

методы, способы и технические средства управления уровнем потерь электроэнергии в системах электроэнергетики;

концепцию управления уровнем потерь электроэнергии в активно-адаптивных сетях.

2) Уметь:

выявлять закономерности изменения параметров режимов в системах электроэнергетики;

определять потери электроэнергии и их составляющие на различных пространственно-временных иерархиях систем электроэнергетики;

анализировать потери электроэнергии и определять закономерности их изменения во времени;

применять математические модели систем электроэнергетики для исследования потерь электроэнергии;

применять инновационные технологии и компоненты при управлении уровнем потерь электроэнергии.

3) Владеть навыками:

структурного анализа потерь электроэнергии в системах электроэнергетики и их объектах;

моделирования параметров режима и электрических сетей различной сложности;

расчета потерь электроэнергии при функционировании электроэнергетических систем, в том числе и с помощью средств прикладного программного обеспечения;

прогнозирования уровня потерь электроэнергии в системах электроэнергетики и их объектах;

реализации путей построения электрической сети с минимальными потерями с применением энергосберегающих технологий для повышения их энергоэффективности;

управления уровнем потерь электроэнергии в системах электроэнергетики и их объектах, в том числе с применением систем АИИС КУЭ и АСУ.

Особенностью практических занятий по дисциплине «Управление уровнем потерь электроэнергии в условиях неопределенности» является их проведение в виде интерактивного научного семинара. При этом используются следующие формы научных семинаров: семинар «Мозговой штурм», семинар «Круглый стол», семинар «Деловая игра», семинар «Ролевая игра», семинар – дискуссия, семинар – исследование, семинар «Пресс – антипресс». К проведению семинаров привлекаются ведущие исследователи из ИСЭМ СО РАН и специалисты-практики, работающие в энергетических предприятиях-партнерах: ОАО «ДРСК», ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «РусГидро», ОАО «Гидроэлектромонтаж».

1. Перечень тем и трудоемкость семинарских занятий первого семестра

№ п/п	Раздел и темы дисциплины (модуля)	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу и трудоемкость (в часах)		Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
		ПЗ	СР	
1	Развитие проблемы потерь электроэнергии	22	22	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре.
1.1	Современные проблемы транспорта и распределения электроэнергии	6	6	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре, проверка самостоятельного задания
1.2	История развития проблемы потерь электроэнергии	10	10	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре, проверка самостоятельного задания
1.3	Основные понятия потерь электроэнергии и их структура	6	6	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре, проверка самостоятельного задания.
2	Сущность системного анализа потерь электроэнергии	32	32	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре. 15 неделя – защита реферата
2.1	Понятие неопределенности в исследовании потерь электроэнергии	6	6	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре, проверка самостоятельного задания.
2.2	Информационные потоки, используемые в системном анализе потерь электроэнергии, их качество	10	10	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре, проверка самостоятельного задания.
2.3	Системный анализ электрических сетей для исследования потерь электроэнергии	8	8	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре, проверка самостоятельного задания.
2.4	Современное состояние уровня потерь электроэнергии в энергосистемах Дальнего Востока	8	8	Еженедельно – выступление на семинаре, работа на семинаре, проверка самостоятельного задания.
3	Промежуточная аттестация	Зачет		

2. Модуль «Развитие проблемы потерь электроэнергии»

2.1. Семинарские занятия по теме «Современные проблемы транспорта и распределения электроэнергии»

На указанную тему проводится три семинара согласно рабочей программе дисциплины.

Цель: формирование субъектной позиции магистранта по современным проблемам транспорта и распределения электроэнергии; формирование у магистрантов представления о долгосрочных тенденциях развития электроэнергетики, экономических и технических проблемах электроэнергетики, стратегических и тактических целях, научных понятий и представлений по решению задач в области критической технологии РФ «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии».

Основные понятия: транспорт электроэнергии, распределение электроэнергии, потери электроэнергии, тарифы в электроэнергетике, энергоэффективность и ее показатели.

Вопросы к семинарским занятиям:

1. Основные показатели развития электроэнергетики до 2020 года. Современное состояние, проблемы и перспективы передачи, распределения и потребления электроэнергии.

2. Проблема регулирования тарифов в электроэнергетике. Проблемы нормирования энергоресурсов на современном этапе. Мировой и российский опыт.

3. Организационно-правовые и технологические аспекты транспорта и распределения электроэнергии в России. Влияние потерь электроэнергии на технические и экономические показатели функционирования электрических сетей, их энергоэффективность.

План проведения занятий:

1. Знакомство с рабочей программой дисциплины, ее целями, задачами и содержанием, предусмотренными программой образовательными технологиями, итоговой формой контроля; определение ее места в ООП направления подготовки 140400.68 – Электроэнергетика и электротехника.

2. Обсуждение современных проблем транспорта и распределения электроэнергии. Связь потерь электроэнергии с основными показателями деятельности энергетических предприятий.

3. Проверка усвоенных в ходе самостоятельной работы основных направлений развития электроэнергетики, нормативных правовых актов, документов, регламентирующих основную деятельность энергетических компаний в области транспорта электроэнергии, энергосбережения.

4. Входящий контроль, 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 студенту иметь свой экземпляр рабочей программы дисциплины, который будет «путеводителем», дидактическим материалом и «шпаргалкой».

На этом этапе работы важно продемонстрировать магистрантам, какие свои потребности они смогут удовлетворить в ходе изучения дисциплины, что они приобретут в результате, какие компетенции приобретут, 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 современных проблем транспорта и распределения электроэнергии происходит в интерактивном режиме. При этом делается акцент на важность проблемы, ее включение в критические технологии, объясняется почему. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны связать воедино потери электроэнергии и современные аспекты развития электроэнергетики. Итогом этих трех семинаров должно являться четкое понимание стратегии и тактики развития электроэнергетики в целом и транспорта электроэнергии в частности, проблем, которые предстоит решать, и которые могут стать темами магистерских диссертаций.

3. Проверку того, насколько точно определены и хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы проблемы транспорта электроэнергии, можно произвести в форме деловой игры.

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

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

Отчетные материалы:

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

2. Презентации выступлений на семинаре.

3. Реферат.

4. Материалы входного контроля.

5. Материалы итогового контроля по каждому семинару.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Назовите, основные тенденции развития современной электроэнергетики
2. Объясните, почему потери электроэнергии занимают ключевую роль при транспорте и распределении электроэнергии.
3. На какие виды и задачи профессиональной деятельности выпускника по направлению подготовки 140400.68 «Электроэнергетика и электротехника» ориентировано изучение дисциплины «Управление уровнем потерь электроэнергии в условиях неопределенности» и почему?
4. Какие компетенции магистра электроэнергетики и электротехники должны быть сформированы в ходе изучения дисциплины?
5. Перечислите, в чем заключается проблема регулирования тарифов в электроэнергетике. Каким образом тарифообразование влияет на проблему потерь электроэнергии? Почему нормируют потери электроэнергии?

2.2. Семинарские занятия по теме «История развития проблемы потерь электроэнергии»

Рассматриваемой тематике посвящено 5 семинарских занятий.

Цель: изучить историю развития проблемы исследования потерь электроэнергии в России и за рубежом.

Основные понятия: фундаментальные свойства энергосистем, информация, качество информации, наблюдаемость, неопределенность, модель параметров режима, модель схемы сети

Вопросы к семинарским занятиям:

1. Значимость потерь электроэнергии для электроэнергетических систем и систем электроснабжения.
2. История проблемы исследования потерь электроэнергии.

3. Развитие методов определения потерь мощности и электроэнергии и программного обеспечения решения проблемы потерь электроэнергии.

4. Развитие методов снижения потерь электроэнергии.

5. Развитие нормативно-правовой базы по потерям электроэнергии.

План проведения семинарских занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения

2. Основные исторические этапы развития проблемы потерь электроэнергии

3. Основные исторические этапы и значимые результаты по развитию методов расчета потерь электроэнергии. Отличия в расчете потерь при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем и систем электро-снабжения.

4. Основные исторические этапы и значимые результаты по развитию методов и технических средств снижения потерь электроэнергии.

5. Обсуждение нормативной правовой базы в области расчета и нормирования потерь электроэнергии.

6. Проверка усвоенных в ходе самостоятельной работы основных исторических этапов развития различных аспектов проблемы потерь электроэнергии.

7. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Общая характеристика методов определения потерь электроэнергии

В условиях эксплуатации отчетные (фактические) потери электроэнергии являются важнейшим показателем эффективности работы любой сетевой компании, предприятия либо их структурных подразделений. Определяются они на основе баланса электроэнергии по показаниям приборов учета электроэнергии как:

$$\Delta W = W_{oc} - W_{no},$$

где W_{oc} - электроэнергия, отпущенная в сеть анализируемой структурной единицы;

W_{no} - полезноотпущенная электроэнергия.

В целом по России наблюдается рост отчетных потерь электроэнергии, что доказано многочисленными исследованиями. При снижении нагрузки тенденция увеличения отчетных потерь не может быть объяснена ростом технологического расхода на транспорт электроэнергии, т.е. техническими потерями. Необходимо учитывать и коммерческие потери электроэнергии. Их можно определить только после расчета технических потерь, которые найти другим путем, кроме расчета, не представляется возможным. Т. о., проблема адекватного моделирования технических потерь имеет принципиальное значение для решения задач эффективного управления электрическими сетями.

На этом этапе работы важно продемонстрировать магистрантам, что отечественная наука постоянно уделяет большое внимание вопросам расчета, нормирования и снижения потерь электроэнергии, выделить наиболее значимые работы и их авторов, которые внесли большой вклад в разработку методов определения потерь электроэнергии.

Основная масса методов производит расчет потерь электроэнергии на основе ретроспективной информации, относящейся к месячным и годовым временным интервалам.

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 и накладывает ограничения на сферу их применения. Они базируются на следующей классификации информации о режимах электрической сети. Информация условно делится на детерминированную и вероятностную.

Под детерминированной информацией понимается информация, задаваемая в численно-однозначной форме, не изменяющаяся в рассматриваемый период эксплуатации (паспортные данные оборудования, состав включенного оборудования и т.п.). Для упрощения расчетов к детерминированной информации относят также так называемую условно-детерминированную информацию, т.е. вероятностную информацию, меняющуюся в незначительных пределах при изменении режима сети.

Поскольку режим работы сети как в его текущих, так и интегральных значениях за определенный период эксплуатации зависит от большого числа факторов, меняющихся случайным образом, его параметры рассматривают как случайные величины, а их изменение во времени – как случайный процесс. Это вероятностная информация.

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 или АСКУЭ; 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. Дается анализ литературы, в которой приведена общая характеристика этих методов.

Вероятностно-статистические методы расчета потерь электроэнергии условно можно разделить на две группы.

Первая группа исходит из представления нагрузки в виде случайной величины. Вторую группу составляют регрессионные методы расчета потерь. Методы первой группы используют семейство годовых графиков нагрузки по продолжительности при различных временах средних или максимальных нагрузок.

Рассматривается характеристика методов расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях, как наименее информационно обеспеченных, в хронологическом порядке их разработки. В процессе дискуссии проводится их обобщение, выделяются основные достоинства и недостатки. Все эти методы базируются на разного 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.

Также необходимо раскрыть роль качества информации в обеспечении достоверности расчета потерь электроэнергии.

2. Обсуждение основных значимых результатов в области развития проблемы потерь электроэнергии в интерактивном режиме. При этом делается акцент на важность результатов, полученных на каждом этапе развития, их преемственность. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны выделить основные результаты, полученные ранее, по которым практика подтвердила многолетней эксплуатацией достоверность методов расчета потерь электроэнергии и область их применения. Итогом этих пяти семинаров должно являться четкое понимание того, что было достигнуто ранее и является платформой для дальнейшего развития проблемы, а также четкая постановка проблемы для ее дальнейшего решения.

3. Проверку того, насколько точно определены и хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы проблемы транспорта электроэнергии, можно произвести в форме деловой игры, а также в процессе обсуждения рефератов и выступлений по тематике семинаров.

4. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем использования тестов, решения практических задач по изученным методам с их разбором на семинарах.

Отчетные материалы:

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

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Почему в России наблюдается рост отчетных потерь электроэнергии?

2. В чем принципиальная разница между детерминированными и вероятностно-статистическими методами расчета потерь электроэнергии?
3. Какова область применения детерминированных методов в настоящее время? В чем их преимущества и недостатки?
4. Какова роль вероятностно-статистических методов в развитии проблемы потерь электроэнергии? Их область применения.
5. Почему стали учитывать метрологическую составляющую потерь электроэнергии при нормировании уровня потерь в электрических сетях?

2.3. Семинарские занятия по теме «Основные понятия потерь электроэнергии и их структура»

Рассматриваемой тематике посвящено 3 семинарских занятия.

Цель: изучить основные определения и понятия потерь электроэнергии, их развитие, структуру потерь электроэнергии и ее роль в анализе потерь.

Основные понятия: фактические, технологические, технические потери электроэнергии, система учета электроэнергии, условно-постоянные и нагрузочные потери электроэнергии, коммерческие потери, структура потерь.

Вопросы к семинарским занятиям:

1. Понятие потерь электроэнергии. Физическая сущность потерь электроэнергии. Основные определения потерь электроэнергии.
2. Структура потерь электроэнергии. Структурный анализ потерь электроэнергии.
3. Динамика потерь электроэнергии в электрических сетях России, странах мира, в регионах, в электрических сетях Дальнего Востока.

План проведения семинарских занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения.
2. Физическая сущность потерь электроэнергии, понятия и определения.

3. Структурный анализ потерь электроэнергии, его назначение, методика проведения

4. Динамика структурных составляющих и потерь в целом по РФ, регионам, энергосистемам, в сетях.

5. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Системный подход к исследованию потерь электроэнергии при высокой степени неопределенности обуславливает необходимость уточнить их классификацию. Для исключения неопределенности любого рода при расчете и анализе потерь электроэнергии целесообразно использовать структуру таких потерь, в которой они разделены на составляющие, исходя из физической природы информационных потоков и самих потерь, реальных условий эксплуатации электрических сетей. Прежде чем рассматривать структуру потерь, приведем термины и определения, используемые в настоящее время при определении и анализе потерь электроэнергии.

Фактические (отчетные) потери электроэнергии – разность между электроэнергией, поступившей в сеть, и электроэнергией, отпущенной из сети, определяемая по данным системы учета электроэнергии.

Система учета электроэнергии – совокупность измерительных комплексов, обеспечивающих измерение поступления и отпуска электроэнергии из сети и включающих в себя измерительные трансформаторы тока (ТТ), напряжения (ТН), электрические счетчики, соединительные провода и кабели. Измерительные комплексы могут быть объединены в автоматизированную систему учета электроэнергии.

Технологические потери электроэнергии – сумма технологических потерь при транспортировке электроэнергии и потерь при ее реализации.

Технологические потери при транспортировке электроэнергии – сумма двух составляющих: потерь в линиях и оборудовании электрических сетей, обусловленных физическими процессами при передаче электроэнергии в соот-

ветствии с техническими характеристиками и режимами работы линий и оборудования (*технические потери*); расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций.

Потери при реализации электроэнергии – сумма потерь, обусловленных: а) погрешностями системы учета электроэнергии, б) хищениями электроэнергии, виновники которых не установлены (этот второй вид потерь не является технической характеристикой электрической сети и системы учета электроэнергии).

Технические потери – сумма составляющих потерь, а именно потерь: в линиях и оборудовании электрических сетей: зависящих от нагрузки электрической сети (*нагрузочные потери*); зависящих от состава включенного оборудования (*условно-постоянные потери*); зависящих от погодных условий.

Условно-постоянные потери – потери, величина которых не зависит или незначительно зависит от параметров режима сети.

Расход электроэнергии на собственные нужды подстанций – расход электроэнергии, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала.

Потери электроэнергии, обусловленные погрешностями системы учета электроэнергии – суммарный небаланс электроэнергии, обусловленный техническими характеристиками и режимами работы всех измерительных комплексов поступления и отпуска электроэнергии.

Норматив технологических потерь электроэнергии – технологические потери электроэнергии (в абсолютных единицах или в процентах установленного показателя), рассчитанные при режимах работы, технических параметрах линий, оборудования сетей и системы учета электроэнергии в рассматриваемом периоде.

Нормативный метод расчета нагрузочных потерь электроэнергии – метод, использующий при расчете потерь весь объем имеющейся информации о схемах и нагрузках сетей данного напряжения. При увеличении оснащено-

сти сетей средствами измерения и оперативного контроля режимов рекомендуется применение более точных методов.

Коммерческие потери – потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате за электроэнергию и другими причинами в сфере контроля потребления энергии.

Укрупненная структура отчетных потерь электроэнергии – представление отчетных потерь в виде четырех составляющих: технических потерь, расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций, потерь, обусловленных инструментальными погрешностями измерения электроэнергии, и коммерческих потерь.

Детальная структура потерь электроэнергии – представление отчетных потерь в виде составляющих, объединенных общим признаком: одинаковым номинальным напряжением, типом оборудования, характером изменения во времени (переменные, условно-постоянные), обусловленности (нагрузочные, холостого хода, зависящие от климатических условий), административным подразделением и т.п.

Фактический небаланс электроэнергии на объекте (ФНЭ) – разность электроэнергии, поступившей на объект, и суммы трех составляющих: электроэнергии, отпущенной с объекта, расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций и технических потерь в сетях и оборудовании объекта. Под объектом понимается комплекс электротехнических устройств, поступление электроэнергии на который и отпуск электроэнергии с которого фиксируются с помощью приборов учета. Это подстанция, РЭС, ПЭС, сетевые компании и т.д.)

Расчет структуры потерь электроэнергии – определение численных значений составляющих потерь и характеристик их достоверности.

Анализ потерь электроэнергии – оценка приемлемости уровня потерь с экономической точки зрения, выявление причин превышения допустимых небалансов электроэнергии на объекте в целом и на его частях, выявление территориальных зон, групп элементов и отдельных элементов с повышенными по-

терями (очагов потерь), определение количественного влияния на отчетные потери и их структурные составляющие параметров, характеризующих режимы передачи электроэнергии.

Мероприятие по снижению потерь электроэнергии (МСП) – мероприятие, проведение которого экономически оправданно за счет экономии электроэнергии.

Мероприятие с сопутствующим снижением потерь электроэнергии – мероприятие, приводящее к снижению потерь электроэнергии, но затраты на которое не окупаются только за счет их снижения.

Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии – расчеты и разработка конкретных мероприятий по снижению потерь электроэнергии с соответствующими каждому мероприятию показателями требуемых затрат, получаемой экономии электроэнергии, срока окупаемости затрат или других показателей экономической эффективности.

Резервы снижения потерь электроэнергии – снижение потерь, которое может быть получено при внедрении экономически обоснованных МСП.

Исходя из перечисленного, 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.;

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

Структурный анализ потерь электроэнергии в электрических сетях предполагает их исследование 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.

Такое исследование целесообразно проводить с привлечением теории вероятностей, например, путем сопоставления динамики плотности распределения коэффициентов загрузки силовых трансформаторов и плотности распределения потерь электроэнергии в них или динамики плотности распределения потерь электроэнергии в элементах сети и в сети в целом и пропуска через них электрической энергии, плотности распределения условно-постоянных потерь и уровней напряжения в сети.

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

2. Обсуждение понятийного аппарата основных определений потерь электроэнергии и их структурного анализа в интерактивном режиме. При этом делается акцент на детализацию составляющих потерь электроэнергии, их развитие и область применения. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны сформулировать основные определения и понятия потерь электроэнергии, выделить наиболее значимые для понимания, для эксплуатации. Итогом этих трех семинаров должно являться четкое понимание структурного анализа потерь электроэнергии, усвоение причин негативной динамики потерь электроэнергии, уровень относительных потерь электроэнергии в сетях различных классов номинального напряжения.

3. Проверку того, насколько хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы основные понятия и определения, методика

структурного анализа потерь электроэнергии, можно произвести в форме деловой игры, в виде дискуссии, а также в процессе обсуждения рефератов и выступлений по тематике семинаров.

Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем использования обычных тестов, анализа практических ситуаций по составу потерь в эксплуатации с их разбором на семинарах.

Отчетные материалы:

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

Вопросы и задания для самопроверки:

1. В чем разница между технологическими и техническими потерями? Какие из них больше и почему?
2. В чем заключается структурный анализ потерь электроэнергии?
3. Какова структура потерь электроэнергии в магистральных, распределительных сетях? В каких сетях потери больше и почему?
4. С какой целью структурный анализ потерь электроэнергии в сетях проводят в динамике?
5. Как Вы считаете, зачем стали учитывать при расчете и нормировании потерь в сетях условно-постоянные потери в элементах подстанции?
6. Можно ли, с помощью структурного анализа выявить коммерческие потери электроэнергии?
7. Какие методы математики целесообразно использовать при реализации структурного анализа потерь электроэнергии и почему?

2.4. Семинарские занятия по теме «Понятие неопределенности в исследовании потерь электроэнергии»

Рассматриваемой тематике посвящено 3 семинарских занятия.

Цель: освоить понятие неопределенности в электроэнергетике, овладеть навыками определения степени неопределенности, качества информации.

Основные понятия: неопределенность, информационная обеспеченность, критерий качества информации.

Вопросы к семинарским занятиям:

1. Неопределенность как фундаментальное свойство электроэнергетической системы. Информационная обеспеченность проблемы исследования потерь электроэнергии.
2. Классификация информации, используемой в задачах системного анализа потерь электроэнергии. Критерий качества информации.
3. Концепция определения потерь электроэнергии в электрических сетях в условиях неопределенности.

План проведения семинарских занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения
2. Понятие неопределенности в электроэнергетических системах.
3. Неопределенность, информация и энтропия.
4. Информационная обеспеченность проблемы потерь электроэнергии.

Качество информации.

5. Концепция и методология определения потерь электроэнергии
6. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. При функционировании электроэнергетических систем наблюдается тенденция к росту потерь электроэнергии. Это происходит как из-за сокращения инвестиций в развитие и техническое перевооружение электрических сетей, в совершенствование систем управления режимами и учета электроэнер-

гии, так и из-за увеличения степени неопределенности, являющейся объективным фактором развития любого энергообъединения. Неопределенность при управлении ЭЭС обусловлена неполнотой и недостаточностью используемой информации, нечеткой природой мышления человека, принимающего решения. По мере развития рыночных отношений в энергетике состав неопределенных факторов и условий расширяется. Раскрытие ее – одна из наиболее важных проблем, решение которой позволит осуществить качественный скачок в управлении энергообъединениями или энергокомпаниями. Традиционные подходы, используемые в эксплуатации, оказались малоэффективными, и их целесообразность в значительной степени снижается при развитии энергосистем. В полной мере это относится и к проблеме потерь электроэнергии, особенно в распределительных сетях разных классов напряжения, где степень неопределенности велика.

Аналогичная ситуация наблюдается в промышленных и городских сетях. Поэтому подход к анализу и определению потерь электроэнергии в распределительных сетях должен быть единым. В дальнейшем при их исследовании будем пользоваться термином «распределительные сети», не рассматривая при этом сети низкого напряжения.

Высокий уровень потерь электроэнергии в распределительных сетях энергосистем в основном обусловлен следующими факторами: нерациональным уровнем напряжения на шинах подстанций; недостатком регулирующих средств, отсутствием и (или) неудовлетворительной компенсацией реактивной мощности; неоптимальными режимами работы сетей, характеризующимися большой дисперсией активной и реактивной мощностей, отклонением напряжения в узлах – завышенным в сетях высокого напряжения и заниженным в удаленных от центров питания точках сетей классов напряжения 35, 10, 0,4 кВ; неравномерностью графиков электрических нагрузок с большими пиками в часы максимума нагрузок и провалами в часы минимума, низкой наблюдаемостью сетей из-за недостаточного количества измерительных комплексов элек-

троэнергии, отсутствия средств телеизмерений, неэффективного учета электроэнергии.

Исследования, проведенные на ряде промышленных предприятий, показали, что потери электроэнергии в системах электроснабжения также значительны. Они обусловлены большой долей асинхронной нагрузки (до 70-75%), неоптимальной компенсацией реактивной мощности или ее отсутствием, неэкономичными режимами работы электроприводов, низкой загрузкой силовых трансформаторов (20÷30%), неоптимальными схемами электроснабжения. Большая дисперсия потребления реактивной мощности свидетельствует о высокой частоте и длительных временных периодах холостого хода электрооборудования или режима, близкого к нему, а также о значительной неравномерности загрузки электродвигателей. Дисперсия потребления активной энергии обусловлена низкой стабильностью технологических процессов при отсутствии или низкой степени автоматизации управления ими. Неоптимальные уровни напряжения, а также отклонения его сверх допустимых ГОСТом на качество электроэнергии значений являются как бы вторичной причиной повышенных потерь, вызванных дефицитом реактивной мощности, т.к. потери обратно пропорциональны квадрату напряжения сети. На уровень потерь влияет недостаточность средств управления потоками активной и реактивной мощности. Широкое внедрение на промышленных предприятиях специфических нагрузок, – таких как выпрямительные устройства, сварка, электротермические установки и др. – обуславливает увеличение потерь электроэнергии за счет искажений токов и напряжений.

Увеличились и потери на собственные нужды подстанций, потери в элементах измерительных комплексов, в реакторах, генераторах и синхронных компенсаторах. Недостаточно счетчиков для учета отпуска по ступеням напряжения распределительных сетей, особенно низкого и среднего напряжения, хотя именно в этих сетях сосредоточена основная доля коммерческих потерь. Об-

вязка средствами измерения электроэнергии всех отходящих присоединений подстанций распределительных сетей экономически невыгодна.

Фактические небалансы электроэнергии в распределительных сетях энергосистем зачастую превышают допустимые значения и варьируются в пределах от -80% до +60% от отпуска электроэнергии в сеть. Динамика их изменения как по подстанциям, так и по сетям в целом характеризует их случайность, тенденцию к увеличению.

На промышленных предприятиях потери электроэнергии также определяются по показаниям счетчиков. В основном эксплуатируется парк индукционных счетчиков. При интегральном учете потерь возможны ошибки за счет искажения показаний счетчиков, одновременности снятия показаний, нарушения их работы, низкого качества электроэнергии и ряда других причин. Фактические небалансы электроэнергии в промышленных сетях также выше допустимых, хотя и варьируются в меньших пределах.

Таким образом, аппаратная реализация учета электроэнергии приводит к неопределенности исходной информации, используемой при расчете, анализе и прогнозировании потерь электроэнергии.

Отсюда следует, что проблема исследования и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях не только не утратила актуальности, но и стала одной из важных задач обеспечения финансовой стабильности энергообъединений, промышленных предприятий, сетевых распределительных компаний. Обострение этой проблемы потребовало активного поиска новых путей ее решения, новых подходов к математическому описанию схемной и режимной информации, используемой для расчета потерь электроэнергии. Эти пути и подходы должны выбираться и реализовываться с учетом существенных изменений в системе хозяйственной деятельности, которые происходят и будут происходить, что также усиливает степень неопределенности в анализе, расчете и прогнозировании потерь электроэнергии.

Можно выделить класс распределительных сетей, для которых степень неопределенности высока и связана с отсутствием исходной информации в требуемом объеме для исследования потерь электроэнергии либо с ее недостоверностью, обусловленной погрешностями измерительных комплексов.

Неполнота исходной информации связана с наблюдаемостью сети и обусловлена несколькими причинами: принятой системой измерения и учета электроэнергии, т.е. пунктами и количеством установленных счетчиков или датчиков; порядком и периодичностью снятия их показаний; способом обработки; помехами, приводящими к потере информации при ее передаче; состоянием схемы сети между периодами сбора режимной информации. Недостоверность возникает из-за погрешностей измерительных комплексов и систем передачи, приема и обработки информации. Причинами таких погрешностей являются не только технические средства, но и математическое описание режимной информации, скрытые ошибки.

Таким образом, как схемная, так и режимная информация, используемая при расчете и анализе потерь электроэнергии, в различной степени неопределенна.

Информация, применяемая в задачах исследования потерь электроэнергии, может быть классифицирована по свойствам (рис. 1).

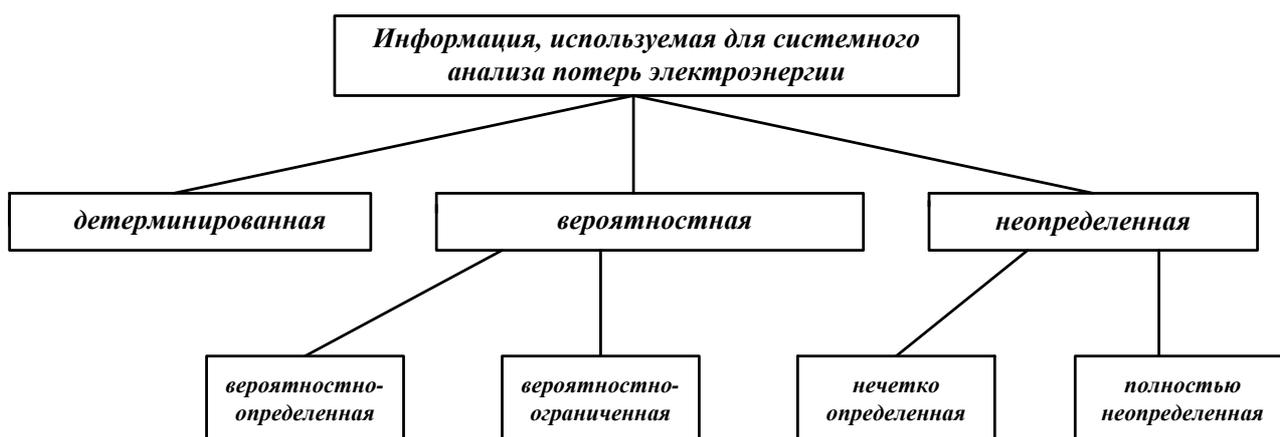


Рис. 1. Классификация информации в задачах системного анализа потерь электроэнергии.

Детерминированная информация основана на закономерных причинно-следственных связях и обусловлена численно однозначным заданием видов оборудования, его состава и номинальных параметров.

Вероятностная информация описывает стохастический характер изменения параметров режима, совокупности элементов сети, соответствующей данному режиму.

Вероятностно-определенная информация, отражая физическую сущность параметров режима, обусловлена тем, что параметры в принципе не могут быть заданы точно. Однако статистические выборки из случайных процессов достаточны для установления их законов распределения и достоверного определения вероятностных характеристик.

Вероятностно-ограниченная информация характеризуется неполным объемом выборки, необходимой для достоверного описания параметров случайного процесса, и не позволяет традиционными методами выявить закономерности исследуемых процессов. Иными словами ограниченность объема выборки, обусловленная условиями эксплуатации, не позволяет обеспечить требуемую точность описания параметров режима.

Неопределенная информация – это такая информация, которая позволяет описать количественные значения параметров режима или схемное состояние сети лишь приблизительно, опираясь только на номинальные параметры элементов сети и предположительную совокупность включенных и отключенных элементов схемы, и соответствует случайному или стохастическому воздействию на систему.

Нечетко определенная информация характерна для случаев, когда известен лишь предположительный диапазон изменений параметров режима или схемы сети.

Полностью неопределенная информация соответствует случаям полной неизвестности об объекте и предопределяет неоднозначность его описания.

Неопределенность информации характеризуется следующими ее свойствами: недостаточность, недостоверность, неоднозначность, неизвестность.

Под недостаточностью будем понимать такой объем информации, который не позволяет получить решение задачи с требуемой на практике точностью

Недостоверность возникает при погрешностях измерений, превышающих допустимую, определенную условиями задачи.

Недостаточность – это многовариантность информации, обусловленная различными способами ее получения и описания.

Неизвестность – отсутствие информации, обусловленное техническими или физическими факторами.

Для того, чтобы можно было описать математические свойства информации введен термин качество информации, под которым понимается степень ее полноты и достоверности. В зависимости от степени полноты информация делится на избыточную, полную, неполную, неопределенную и неизвестную. Точность представления информации обуславливает ее отнесение к группе достоверной, нечетко достоверной, недостоверной информации.

При системном анализе потерь электроэнергии одна и та же используемая информация в одной задаче может быть полной и достоверной, т.е. достаточной, в другой неполной, нечеткой, а в третьей неполной и (или) недостоверной, т.е. неопределенной. Например, при расчете потерь электроэнергии на текущий момент времени (время контрольных замеров) информация достаточна, для ретроспективного анализа она неполна, для прогнозирования - неопределенна.

Качество информации можно определить с помощью критерия качества информации.

Для этого всю информационную базу A представим в виде четырех множеств:

A_I – множество достоверных значений;

A_{II} – множество, соответствующее полному объему информации;

A_{III} – множество, соответствующее неполному объему информации (неполнота);

A_{IV} – множество недостоверных значений (недостоверность).

Степень полноты и достоверности информации для каждой выбранной задачи в исследовании потерь электроэнергии определяется областью пересечения приведенных множеств, которая для системного анализа потерь в целом будет иметь различные границы (размытость обусловлена разным объемом и требуемой точностью используемой информации в каждой конкретной задаче).

Следовательно, целесообразно применять математический аппарат теории нечетких множеств.

Порядок оценки критерия качества информации следующий:

1. Определение границ области качества информации.

Граница области качества информации описывается с помощью σ -матрицы:

$$\sigma = \begin{bmatrix} 11 \\ 10 \\ 01 \\ 00 \end{bmatrix},$$

где сегментами $[0;1]$ описываются степени полноты и достоверности информации. Здесь 0 – левая граница, определяет отсутствие полноты или достоверности информации; 1 – правая граница – полный объем или достоверность информации. σ - матрица получается пересечением указанных сегментов

$$[0;1] \cap [0;1].$$

2. Описание зон пересечения множеств.

Область, характеризующая качество информации, образуется путем пересечения рассмотренных выше множеств. В силу нечеткости информации данная область представляется нечетким множеством. Следовательно при ее отоб-

ражении необходимо использовать функции принадлежности значений исследуемых параметров каждому из рассматриваемых выше множеств.

3. Математическое описание критерия качества информации.

Для определения полноты и достоверности информации, обеспечивающих требуемую точность решения задач системного анализа потерь электроэнергии был введен пороговый уровень α для размытых областей, количественное значение которого соответствует оптимальным параметрам качества информации (т.е. полноте и достоверности):

$$\alpha = \frac{1}{\ln N \cdot \sum_{i=1}^N \mu_{\tilde{A}_i}(A_i)} \left[\sum_{i=1}^N \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) \cdot \ln \sum_{i=1}^N \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) - \sum_{i=1}^N \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) \cdot \ln \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) \right],$$

где $\mu_{\tilde{A}_i}(A_i)$ - функция принадлежности для i -того из перечисленных выше множеств, т.е. $A_I, A_{II}, A_{III}, A_{IV}$; N - число вариантов множества информации.

Множество α - уровня описывается следующим образом:

$$\tilde{A}_\alpha = \{ \tilde{A}_i / \tilde{A}_i \in A, \mu_{\tilde{A}_i}(A_i) \geq \alpha \},$$

где $\tilde{A} \leq A, A_i \in A, \forall \alpha \in [0, 1]$.

Предложенный критерий качества информации позволяет классифицировать информацию и применять те математические модели, которые дают наибольшую точность ее описания, тем самым обеспечивая приемлемую точность решаемой задачи.

Информация, используемая в расчете, анализе и прогнозировании потерь электроэнергии, может описываться информационными потоками.

В данном случае информационный поток – это совокупность исходных данных режимного и схемного характера в определенный интервал времени для анализируемого узла сети. Классификация информационных потоков, ис-

пользуемых при исследовании потерь электроэнергии, следующая: полный достоверный поток; неполный достоверный поток; полный недостоверный поток; неполный недостоверный поток; неопределенный поток.

Полный достоверный поток включает в себя достаточный объем информации для определения потерь электроэнергии с требуемой точностью. При этом его достоверность определяется анализом небалансов электроэнергии в рассматриваемой структурной единице.

Под структурной единицей понимаются шины подстанции одного уровня напряжения, подстанция в целом, выделенная часть схемы сети с центром питания, РЭС и т.п., вплоть до энергосистемы. Аналогично – и для предприятий. При этом каждая анализируемая структурная единица нижнего уровня иерархии является подсистемой более высокого уровня. Разделение распределительных сетей на подсистемы для исследования потерь электроэнергии осуществляется с учетом структуры и связности, что будет показано далее.

Неполный достоверный поток характеризуется различной степенью полноты исходной информации, связанной как с потерей части данных, так и с их недостаточностью из-за отсутствия измерительных комплексов в требуемом объеме или непериодичностью сбора информации. Примером таких потоков являются потоки режимной информации только по вводным присоединениям подстанции, либо на головных участках магистралей, либо снимаемые 3 раза в сутки в дни контрольных замеров и т.д. Поток считается достоверным, если фактический небаланс электроэнергии в структурной единице меньше допустимого, определенного согласно нормативным документам.

Соответственно полный недостоверный поток наблюдается при требуемом для заданной точности определения потерь электроэнергии объеме информации, но при наличии небаланса электроэнергии в структурной единице выше допустимого.

Неполный недостоверный поток – это поток с недостаточным объемом информации для рассматриваемой задачи и с фактическим небалансом электроэнергии, превышающим допустимый.

Неопределенный поток – это совокупность информации интервального плана, когда либо известен предполагаемый диапазон изменения параметра, обусловленный техническими условиями, либо состояние электрической сети – количество включенных и отключенных элементов в различные интервалы исследуемого периода времени – неопределенно, т.е. неизвестно.

Такая классификация информационных потоков предусматривает декомпозицию системы распределительных сетей в соответствии со степенью неопределенности используемой информации для исследования потерь электроэнергии. Количественно степень неопределенности описывается критерием качества информации, который для режимной информации представляется пороговым уровнем, оценивающим минимальные объем и максимальную погрешность информации, обеспечивающие требуемую точность расчета и прогнозирования потерь электроэнергии. Критерий качества схемной информации включает оценку состояния сети, ее структуру и обуславливает в итоге выбор ее эквивалента для достоверного и корректного анализа потерь электроэнергии.

Таким образом, декомпозиция схем электрических сетей в задачах исследования потерь электроэнергии осуществляется с помощью совокупности критериев качества режимной и схемной информации.

Для каждой подсистемы распределительной сети, выделенной в соответствии с принятой классификацией информационных потоков, неопределенность раскрывается своим математическим аппаратом, разработанным на основе сочетаний теории случайных процессов, нечетких множеств, вейвлет-анализа. Такой подход обеспечивает гибкость модели электрической сети, заключающуюся в ее адаптации как к структуре сети, ее состоянию, так и к качеству режимной информации, характеризующемуся ее полнотой и достоверностью.

2. Обсуждение проблемы информационной обеспеченности проблемы определения и анализа потерь электроэнергии. При этом делается акцент на структуру неопределенности в электроэнергетике. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны соотнести качество информационных потоков со степенью неопределенности в задачах электроэнергетики. Итогом этих трех семинаров должно являться четкое понимание причин возникновения неопределенности в электроэнергетике и классификации информационных потоков при разном качестве информации, умение применять критерий качества информации.

3. Проверку того, насколько хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы проблемы неопределенности, критерий качества информации и технологии его применения, можно произвести в форме деловой игры, в виде дискуссии, в виде выполнения небольших практических заданий, а также в процессе обсуждения рефератов и выступлений по тематике семинаров. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, анализа практических ситуаций по неопределенности, классификации информационных потоков с их разбором на семинарах.

Отчетные материалы:

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

Вопросы и задания для самопроверки:

1. В чем разница между неопределенностью и информационной обеспеченностью проблемы потерь электроэнергии?
2. Каков физический смысл критерия качества информации?

3. Приведите классификацию информационных потоков и соотнесите ее с классификацией информации, используемой в электроэнергетике.
4. Что входит в критерий качества схемной и режимной информации?
5. Как Вы считаете, может ли быть единый критерий качества информации для всех задач электроэнергетики, решаемых в эксплуатации? Ответ обоснуйте
6. Приведите в соответствие вид информационного потока и методы математики, описывающие его с наибольшей точностью.

2.5. Семинарские занятия по теме «Информационные потоки, используемые в системном анализе потерь электроэнергии, их качество»

Рассматриваемой тематике посвящено 5 семинарских занятий.

Цель: освоить моделирование информационных потоков, используемых в задачах управления уровнем потерь электроэнергии.

Основные понятия: информационный поток, системный анализ потерь электроэнергии, модели информационных потоков.

Вопросы к семинарским занятиям:

1. Определение информационных потоков.
2. Классификация информационных потоков в различных задачах электроэнергетики.
3. Модели представления информационных потоков для системного анализа потерь электроэнергии в условиях неопределенности.
4. Методы представления информационных потоков при достоверной информации.
5. Методы представления информационных потоков при их низком качестве информации.

План проведения семинарских занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения
2. Информационные потоки в электроэнергетических системах.
3. Модели информационных потоков, используемые при определении потерь электроэнергии.
4. Прикладное применение методов математического описания информационных потоков при разном качестве информации.
5. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Методы и модели представления информационных потоков для системного анализа потерь электроэнергии в условиях неопределенности

Успешное решение задачи поддержания потерь на оптимальном уровне немисливо без совершенствования методов расчета и анализа потерь электроэнергии. Решение данной задачи сопряжено со многими трудностями, основными из которых являются различная физическая природа составляющих потерь электроэнергии, стохастический характер изменения основных факторов, определяющих величину потерь, информационная обеспеченность задачи и неоднозначность целей их расчета и анализа, которая усилилась при реструктуризации электроэнергетических систем и компаний.

Распределительные электрические сети характеризуются стохастичностью поведения, отсутствием строгого математического описания протекающих в них процессов, непостоянством параметров и структуры, быстротечностью процессов, многокритериальностью управления, неполнотой информации и нечетким (расплывчатым) заданием параметров сети (как режимных, так и топологических).

Отсюда методы исследования таких сетей должны базироваться на системном подходе.

Применение системного анализа, предназначенного для конструктивного описания системы определенного класса, позволит разрешить указанные трудности в проблеме исследования потерь электроэнергии.

Принято считать, что системный анализ – это методологическое решение проблем, основанное на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив. В нем используется как общий аппарат теории систем, так и методы множеств, теории информации, теории принятия решений, теории эффективности, структурной лингвистики, методов искусственного интеллекта, математической логики.

Использование системного анализа в исследовании проблем потерь электроэнергии дает возможность выделить перечень взаимосвязанных задач, позволяющих не упустить из рассмотрения важные стороны и связи функционирования электрических сетей, учесть неопределенности и случайности.

В его состав входят задачи декомпозиции, т.е. представление системы в виде подсистем, анализа, т.е. нахождения различного ряда свойств объекта исследования, в данном случае потерь электроэнергии, и синтеза, т.е. построения стройной методологии описания объекта по определенному алгоритму, при этом вводятся различные понятия эквивалентности систем, в данном случае электрических сетей. На основе принципов системного анализа должна строиться модель электрической сети.

При расчете и анализе потерь электроэнергии в распределительных сетях на различных временных и территориальных уровнях возникает необходимость в определении интегральных (вероятностных) характеристик параметров режима. Это связано с тем, что информации, специально предназначенной для исследования потерь электроэнергии, в условиях эксплуатации и проектирования не существует. Приходится использовать информацию, назначение которой – решение задач оперативного управления, расчеты за отпущенную и потребленную электроэнергию и т.д. Она для рассматриваемого круга задач, как уже было сказано выше, является неоднородной, неполной, зачастую недостовер-

ной или неоднозначной, что приводит к необходимости введения целого ряда допущений при формализации алгоритмов решения традиционными методами. В свою очередь такой подход увеличивает погрешность определения потерь электроэнергии. При этом чем сложнее сеть, тем выше степень неопределенности, а следовательно и погрешность принятой модели. Точность моделей, используемых в задачах исследования потерь электроэнергии, существенно зависит от достоверности представления информации. Так, например, использование активной и реактивной мощности, заданных с погрешностью в 5% при расчете суточных потерь электроэнергии в ветвях напряжением 10 кВ традиционным способом, приводит к погрешности расчета нагрузочных потерь более 10%.

Рассмотрим существующие методы представления информации с учетом ее классификации, показанной выше.

Традиционным для задачи определения и прогнозирования потерь электроэнергии в распределительных сетях является использование результатов интегрального учета электроэнергии. Измерительная информация от систем учета электроэнергии содержит ошибки, которые включают случайные и систематические составляющие. Данные обстоятельства следует принимать во внимание с учетом того, что различные измерительные комплексы электроэнергии (в дальнейшем измерительные комплексы) имеют неодинаковую относительную точность даже при одинаковых классах точности элементов, входящих в измерительный комплекс (трансформаторов тока, напряжения, счетчиков активной и реактивной энергии). Все ошибки измерений разделены на статистические и динамические. Возможны грубые ошибки, обусловленные неисправностями элементов измерительного комплекса, случайными помехами, допущенными персоналом при снятии и оформлении показаний счетчиков электроэнергии.

Устранение негативного влияния погрешностей измерений на оценки параметров режима и электрических нагрузок узлов осуществляется статистическими методами обработки вероятностной информации. Выражения, описыва-

ющие параметры режима для расчета нагрузочных потерь электроэнергии, содержат математические ожидания и дисперсии. Дисперсии характеризуют отклонения потоков мощности от средних значений в течение расчетного интервала времени. Совместно с математическими ожиданиями дисперсии заменяют графики изменения во времени потоков активной и реактивной мощности.

Математические ожидания потоков мощности на интервале времени T можно получить на основе измерений электроэнергии. Основным способом получения дисперсий является обработка архивов телеизмерений. Данная группа параметров обладает значительной погрешностью. До 10-20% всех телеизмерений могут содержать грубые ошибки. Учитывая тот факт, что распределительные сети, как правило, не оснащены системами телемеханики, приходится выполнять эти данные, используя априорную информацию, или, если это возможно, определять расчетным путем.

Все это говорит о целесообразности анализа различных подходов к моделированию параметров режима и электрических нагрузок узлов.

Традиционно неопределенность в электроэнергетических задачах моделируется с помощью методов теории вероятностей.

Все методы вероятностного анализа можно разделить на два класса: аналитические и методы статистических испытаний. Аналитические методы дают более широкое представление о зависимости вероятностных характеристик от параметров и условий, однако их применение сопряжено с определенными математическими трудностями, снятие которых – одна из задач предстоящих исследований.

Методы статистических испытаний требуют большого объема вычислений для получения достаточного решения и приемлемы только при полном и достоверном информационном потоке.

Наиболее часто применяют следующие группы вероятностных методов:

- использование числовых характеристик функции распределения случайных величин;

- линеаризованное преобразование числовых характеристик – использование методов статистических испытаний;
- нелинейные преобразования числовых характеристик случайных величин;
- регрессионный анализ;
- моделирование случайных процессов;
- моделирование электрических нагрузок.

Достаточно точно описывает природу формирования процессов изменения электрических нагрузок при полном объеме исходной информации метод вероятностного моделирования.

Метод опирается на следующие положения.

Функция распределения

$$E[P(t_1) \leq P_y] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_y[P(t_1) \leq P_y]}{N},$$

где $N_y[P(t_1) \leq P_y]$ - число графиков нагрузки $P(t)$, значения ординат которых в момент времени t , не превышает заданного уровня нагрузки P_y ;

N - общее число графиков нагрузки $P(t)$.

Характер изменения функции распределения от 0 до 1 свидетельствует о различной вероятностной микроструктуре случайного процесса.

Одномерная плотность распределения случайного процесса изменения нагрузки

$$f(P, t_1) = F'(P, t_1) = \frac{dF(P, t_1)}{dP}.$$

Оценка статистической корреляционной функции, связывающей значения ординат графиков $P(t)$ в моменты времени t и $t_2 = t_1 + \tau$

$$K(t_1, t_2) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [P_i(t_1) - P_{cp}(t_1)][P_i(t_2) - P_{cp}(t_2)]$$

Нормированная корреляционная функция, определяющая степень зависимости ординат случайного процесса, разделенных интервалом времени $\tau = t_2 - t_1$

$$R(t_1, t_2) = \frac{K(t_1, t_2)}{DP(t_1)DP(t_2)}$$

Важное значение в теории электрических нагрузок имеют стационарные и эргодические случайные процессы.

Корреляционные функции, используемые при моделировании электрических нагрузок промышленных установок, описываются следующими наиболее распространенными способами:

$$K(\tau) = K(0)e^{-\alpha|\tau|}$$

$$K(\tau) = K(0)e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau$$

$$K(\tau) = K(0)e^{-\alpha|\tau|} \left(\cos \beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta|\tau| \right)$$

$$K(\tau) = ae^{-\alpha|\tau|} + be^{-\beta|\tau|}$$

$$K(\tau) = A_1 e^{-\alpha_1|\tau|} \cos \beta_1\tau + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|} \cos \beta_2\tau$$

$$K(\tau) = Ae^{-\beta|\tau|} \cos \gamma\tau + Ce^{-\delta|\tau|} + \mu$$

В качестве исходной информации при подборе аналитического выражения для корреляционной функции, как правило, используются дискретные значения корреляционных моментов, определяемых с некоторым шагом квантования по времени для массива значений исследуемого случайного процесса.

Широкое распространение получили регрессионные методы, основанные на теории планирования эксперимента. Повышение точности приближенной математической модели связано с применением метода статистической линеаризации.

Нелинейная характеристика заменяется эквивалентной в вероятностном смысле линеаризованной функциональной зависимости случайных величин.

Универсальным методом для анализа параметров режима является метод статистических испытаний, позволяющий численно определять функции распределения случайных величин, описывающих параметры режима.

К недостаткам всех рассмотренных вероятностных методов можно отнести необходимость нахождения центральных моментов высоких порядков и нахождение сложных производных при их определении. Необходимо привлекать статистический подход, т.е. использовать совокупность данных, фиксируемых в течение некоторого промежутка времени. В этом случае процесс должен быть стационарным в течение времени замера, а выборка – довольно большой.

Т. о., информацию, которую можно получить с помощью измерительных комплексов и приборов достаточно хорошо описывает теория вероятностей. Однако информацию, недоступную для измерения, описать нельзя. Отсюда использование вероятностно-статистического аппарата не приводит к раскрытию неопределенности состояния энергосистемы в полной мере, что существенно снижает качество решения рассматриваемой проблемы.

В тех случаях, когда измерение невозможно по техническим условиям эксплуатации, либо оно дает заведомо неверный и грубый результат, целесообразно использовать теорию нечетких множеств. С помощью лингвистических переменных можно формировать качественную информацию о параметрах режима, представленную в словесной форме.

Важным моментом при задании лингвистической переменной является выбор базового терм-множества, т.е. таких первичных лингвистических значений переменной, из которых получаются все остальные значения. Количественной оценкой лингвистических критериев является шкалирование (определение шкалы измерений), которое непосредственно связано с построением функции принадлежности и ставит в соответствие каждому лингвистическому значению некоторого критерия нечеткое множество.

Наиболее простым представлением размытости информации является нечеткий интервал.

При формировании нечетких оценок необходимо учитывать ряд ограничений, накладываемых на функции принадлежности:

- функция принадлежности должна быть представлена в аналитическом виде;
- аналитическое описание функций принадлежности всех нечетких переменных должно соответствовать одному группоиду.

Совершенно очевидно, что применение теории нечетких множеств еще один шаг в раскрытии неопределенности.

Учитывая тот факт, что нагрузка узлов меняется случайным образом, т.е. для задачи определения потерь электроэнергии является неопределенной, целесообразно для описания информационных потоков параметров режима использовать теорию случайных процессов в совокупности с теорией нечетких множеств.

Предложенный подход математического описания нагрузок позволяет в совокупности применять вероятностные и нечеткие методы для определения характеристик случайного процесса при неполном информационном потоке, что особенно актуально для нестационарных процессов.

Стационарный случайный процесс с распределением Пирсона и экспоненциальной корреляционной функцией целесообразно применять при некорректном задании информационных потоков.

Описание нагрузки винеровским процессом дает реальную картину процесса изменения при неполноте или недостоверности исходных данных.

Должны быть рассмотрены примеры по применению указанных методов.

2. Обсуждение проблемы моделирования информационных потоков в условиях неопределенности. Должно быть усвоено практическое применение математических методов на примере описания информационных потоков, используемых в расчетах потерь электроэнергии в условиях неопределенности.

Для этого магистранты выполняют самостоятельно и под руководством преподавателя моделирование реальных информационных потоков разного качества для исследования потерь электроэнергии в энергосистемах Дальнего Востока.

3. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны соотнести качество информационных потоков с математическими методами, раскрывающими их модели. Итогом этих пяти семинаров должно являться четкое понимание технологий моделирования информационных потоков при разном качестве информации и умение их применять.

4. Проверку того, насколько хорошо усвоены в ходе выполнения заданий самостоятельной работы методы и модели информационных потоков разного качества, можно произвести в форме деловой игры, в виде дискуссии, в виде выполнения практических заданий с использованием информационных и компьютерных технологий, а также в процессе обсуждения рефератов и выступлений по тематике семинаров.

5. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по классификации информационных потоков с их разбором на семинарах.

Отчетные материалы:

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

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Почему методы определения потерь электроэнергии в электрических сетях должны основываться на системном подходе?

2. Какие математические модели применяют для описания полных информационных потоков?
3. Какие математические методы применяют для моделирования неполных достоверных информационных потоков.
4. В каком случае используется винеровский процесс и почему?
5. С какой целью при разработке моделей информационных потоков применяют теорию нечетких множеств?
6. Почему совокупное применение различных математических подходов к моделированию информационных потоков дает более точный результат?
7. Что можно предложить для описания информационных потоков низкого качества?

2.6. Семинарские занятия по теме «Системный анализ электрических сетей для исследования потерь электроэнергии»

Рассматриваемой тематике посвящено 4 семинарских занятия.

Цель: научиться проводить структурный анализ электрических сетей различного функционального назначения, освоить методику системного анализа электрических сетей.

Основные понятия: магистральная электрическая сеть, распределительная электрическая сеть, системный анализ электрических сетей, структура электрической сети, граф электрической сети.

Вопросы к семинарским занятиям:

1. Структура и анализ магистральных электрических сетей. Структура и анализ распределительных электрических сетей.
2. Структура и особенности промышленных и городских сетей.

3. Методика системного анализа электрических сетей. Структурирование и описание электрических сетей для исследования потерь электроэнергии в энергообъединениях, ПЭС и РЭС.

4. Характеристика и системный анализ электрических сетей Дальнего Востока.

План проведения семинарских занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения
2. Структура и особенности электрических сетей различного назначения.
3. Системный анализ электрических сетей.
4. Прикладное применение структурного анализа.
5. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Основные положения системного подхода к структурированию электрических сетей

Структурный анализ является частью системного подхода. Предметом системного анализа потерь электроэнергии являются общие закономерности их изменения в трех временных интервалах: ретроспективном, настоящем и будущем, и свойства потерь как объекта управления.

К задачам системного анализа при разработке концептуальной модели потерь электроэнергии относятся задачи декомпозиции, анализа и синтеза.

Задача декомпозиции, т.е. представление системы в виде подсистем, предполагает разделение электрических сетей на классы по степени информационной обеспеченности проблемы потерь электроэнергии. Именно эта задача должна решаться на рассматриваемой группе семинаров.

Задача анализа заключается в определении свойств электрических нагрузок узлов и свойств электрической сети. Свойства электрической сети выявляются также на этом этапе.

Структурный анализ электрических сетей важен и при решении задачи синтеза, которая состоит в построении модели потерь электроэнергии в электрической сети, позволяющей их исследовать на разных пространственно-временных иерархиях и управлять их уровнем.

В качестве основных процедур задачи декомпозиции можно выделить оценку наблюдаемости, измерение параметров режима и электропотребления, топологическое описание схемы сети.

Задача анализа включает процедуры оценки свойств информационных потоков, используемых для решения проблемы потерь электроэнергии, эквивалентирование сети, поэлементного определения потерь.

В задаче синтеза выделяются процедуры математического моделирования потерь электроэнергии адекватно степени неопределенности, алгоритмов, реализующих математическое описание потерь электроэнергии, структурных составляющих потерь электроэнергии.

Принципы системного анализа, используемые при решении проблемы потерь электроэнергии: принцип конечной цели, принцип измерения, принцип единства, принцип связности, принцип модульного построения, принцип иерархии, принцип функциональности, принцип развития, принцип неопределенности.

Системное исследование проблемы потерь электроэнергии можно представить в виде трехуровневого дерева функций.

Учитывая фактор неопределенности и отсутствие требуемого объема информации о нагрузках распределительных сетей, разрабатывают эквивалентные модели схемы сети на основе предлагаемых обобщенных моделей, сокращающих объем информации до значений нагрузок вводных присоединений подстанций, для чего проводят структурный анализ сети.

Формирование расчетных моделей электрических сетей должно производиться по иерархическому принципу. Несомненным преимуществом такого

подхода является различная степень их наблюдаемости, которая зависит как от расположения измерений на схеме, так и от общего числа измерений.

Методы эквивалентирования схем электрических сетей должны основываться на принципе резкого сокращения объема информации, необходимой для расчета и анализа потерь электроэнергии, и сведения реальной схемы сети к обобщенному эквиваленту, достаточному для исследования потерь объема режимной информации по вводному присоединению на питающей подстанции, с учетом свойств неоднородности сети. Такой подход позволяет исключить неопределенность, обусловленную отсутствием или низким качеством информации о параметрах режимов на распределительных понизительных подстанциях, подключенных к рассматриваемой сети. Кроме того, по вводным присоединениям, как правило, режимная информация более достоверна и полна.

Идея эквивалентирования сети – сведение разомкнутой магистрали или радиальной сети к одному эквивалентному сопротивлению, петлевой или кольцевой схемы – к двум эквивалентным сопротивлениям, подключенным к шинам питающей(их) ее подстанции(й), сложнозамкнутой сети – к n питающих данную сеть подстанций, реальной схемы подстанции – к модели обобщенной подстанции. В замкнутых сетях информация о состоянии коммутационных аппаратов, с помощью которых она может размыкаться в различных точках, в периоды между сбором режимной информации неопределенна, поэтому при эквивалентировании таких схем используется аппарат нечетких множеств в совокупности с интервальным анализом. Эта идея реализуется методом структурного анализа сети.

При декомпозиции схемы распределительной сети выделяются следующие подсистемы: понизительная подстанция; радиальная линия; разомкнутая разветвленная магистраль; магистраль с двухсторонним питанием; сложнозамкнутая схема – это подуровни сети.

Саму схему сети иерархически целесообразно представить в виде нескольких уровней, определяемых ступенью напряжения. Количество уровней

сети соответствует числу ступеней напряжения в анализируемой сети. Анализ топологии распределительных сетей показал, что необходимо разработать обобщенную модель сети каждого уровня таким образом, чтобы использовать для определения потерь электроэнергии лишь параметры режима вводных присоединений. Для каждой подсистемы сети нужно составлять структурные схемы отдельно для каждой ступени напряжения, а затем сводить их к обобщенным моделям, соблюдая последовательность эквивалентирования от сети низшего уровня к сети высшего уровня. Задачи синтеза расчетной схемы решаются по описанию топологии сети и ее отдельных объектов – подстанций, что позволит осуществлять синтез сетей при переходе на более высокий иерархический уровень.

2. Обсуждение проблемы моделирования электрической сети на основе ее структурного анализа. Должно быть усвоено общее правило декомпозиции электрической сети для решения проблемы потерь электроэнергии. Магистранты должны овладеть навыками структурного описания электрических сетей различного назначения. Для этого магистранты выполняют самостоятельно и под руководством преподавателя практические задания по структурному анализу электрических сетей Дальнего Востока.

3. Магистранты в процессе дискуссий под руководством модератора должны сформулировать правила декомпозиции сети на основе ее структурного анализа. Итогом этих четырех семинаров должно являться четкое понимание как проводить структурный анализ электрической сети и уметь применять на практике полученные знания.

4. Проверку того, насколько хорошо усвоен в ходе выполнения заданий самостоятельной работы структурный анализ электрических сетей, можно произвести в форме деловой игры, в виде дискуссии, в виде выполнения практических заданий на реальных схемах сети, а также в процессе обсуждения рефератов и выступлений по тематике семинаров.

5. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по классификации информационных потоков с их разбором на семинарах.

Отчетные материалы:

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

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Для чего проводится структурный анализ сети?
2. В чем сущность системного подхода к моделированию схем электрических сетей?
3. Технологии структурного анализа.
4. Каковы особенности и трудности структурного анализа магистральных сетей?
5. Чем отличаются структурные схемы городских и промышленных сетей?
6. Можно ли получить обобщенную структурную схему сети, универсальную для каждого ее вида и класса номинального напряжения?
7. Опишите системный анализ электрической сети напряжением 110 кВ в Амурской области.

2.7. Семинарские занятия по теме «Современное состояние уровня потерь электроэнергии в энергосистемах Дальнего Востока»

Рассматриваемой тематике посвящено 4 семинарских занятия.

Цель: изучить состояние потерь электроэнергии в электрических сетях Дальнего Востока.

Основные понятия: уровень потерь электроэнергии в динамике, нормативный уровень потерь, очаг повышенного уровня потерь электроэнергии, пропускная способность сети, энергоэффективность электрической сети.

Вопросы к семинарским занятиям:

1. Уровень потерь и их динамика в магистральных электрических сетях Приморского края, Хабаровского края, Амурской области и Южно-Якутского региона.

2. Уровень потерь и их динамика в распределительных электрических сетях Приморского края, Хабаровского края, Амурской области и Южно-Якутского региона.

3. Нормативный уровень потерь. Выявление «очагов» высоких потерь и анализ причин повышенного уровня потерь.

4. Влияние потерь электроэнергии на пропускную способность и энергоэффективность электрических сетей Дальнего Востока.

План проведения семинарских занятий

1. Постановка проблемы для обсуждения

2. Потери электроэнергии в магистральных электрических сетях Дальнего Востока.

3. Потери электроэнергии в распределительных электрических сетях Дальнего Востока.

4. Выявление «очагов» высоких потерь в сетях Дальнего Востока и анализ причин их повышенного уровня.

5. Оценка влияния потерь электроэнергии на пропускную способность и энергоэффективность электрических сетей Дальнего Востока.

6. Текущий контроль знаний и приобретенных навыков.

Методические рекомендации

1. Прежде всего необходимо привести общую характеристику магистральных и электрических сетей Приморского края, Хабаровского края, Амурской области и Южно-Якутского региона, показать их общность и особенности этих сетей. Необходимо рассмотреть их технико-экономические характеристики. Приводится характеристика уровня потерь электроэнергии и их структурных составляющих в динамике и в сравнении в магистральных и распределительных сетях указанных выше регионов. Под руководством модератора магистранты выявляют «очаги» высоких потерь в этих сетях и причины высокого уровня потерь. Проводится анализ этих причин. Следующий шаг - оценка влияния потерь электроэнергии на пропускную способность сетей. Делая акцент на отличиях магистральных и распределительных сетей с точки зрения потерь мощности, коллективно определяется, в каких сетях какие составляющие потерь больше и почему.

2. В интерактивной форме магистранты обсуждают влияние потерь электроэнергии на пропускную способность электрических сетей. Необходимо, чтобы они уяснили, что в электрических сетях большие перетоки реактивной мощности всегда приводят к повышенному уровню потерь электроэнергии, тем самым снижая пропускную способность сети. Эти проблемы значимы для загруженных сетей, т.к. могут привести к аварийной ситуации. Здесь необходимо провести связь между экономичностью работы сетей и их надежностью, показать комплексность проблемы. Рассматривая влияние потерь электроэнергии на энергоэффективность электрических сетей, необходимо вспомнить показатели энергоэффективности, увязать уровень потерь электроэнергии с количественными значениями показателей энергоэффективности электрических сетей.

3. Обсуждение проблемы потерь электроэнергии в электрических сетях Дальнего Востока должно подвести магистрантов к решению о необходимости принятия мер по их снижению. Для этого магистранты выполняют самостоятельно и под руководством преподавателя практические задания по выявлению

очагов повышенных потерь в электрических сетях Дальнего Востока и причин их появления, оценивают негативное влияние потерь на энергоэффективность и пропускную способность сетей. На основе обсуждения проведенных исследований по рассматриваемой проблеме магистранты пытаются предложить варианты снижения потерь мощности в электрических сетях. Преподаватель проводит анализ предложений магистрантов и показывает пути дальнейшего развития проблемы потерь, подводя итоги работы по первому модулю (в первом семестре).

4. Проверку того, насколько хорошо усвоен в ходе выполнения заданий самостоятельной работы материал, можно произвести в форме деловой игры, в виде дискуссии, в виде выполнения практических заданий на реальных схемах сети, а также в процессе обсуждения рефератов и выступлений по тематике семинаров.

5. Текущий контроль необходим, чтобы понять степень и качество усвоения материала. Это возможно путем тестирования, проверки качества выполнения индивидуальных заданий, анализа практических ситуаций по классификации информационных потоков с их разбором на семинарах.

Отчетные материалы:

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

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Чем отличаются магистральные и распределительные сети Дальнего Востока с точки зрения потерь электроэнергии?
2. Как выявить очаг высоких потерь электроэнергии?
3. Как найти причины повышенного уровня потерь электроэнергии?

4. Назовите очаги повышенных потерь электроэнергии в Приморском крае и в Амурской области, причины их появления. В чем отличие?

5. Как оценить влияние потерь электроэнергии на пропускную способность электрической сети? Назовите сети, для которых это воздействие может привести к аварийным ситуациям.

6. Опишите механизм определения влияния уровня потерь электроэнергии на энергоэффективность электрических сетей? В сетях каких регионов Дальнего Востока это влияние более значительно и почему?

7. Что можно предложить для снижения потерь электроэнергии в сетях Дальнего Востока.

Литература

1. Савина Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях / Н.В. Савина. – Новосибирск: Наука, 2008. – 228 с.
2. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
3. Красник В.В. 102 способа хищения электроэнергии. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2010. – 160 с.
4. Основы современной энергетики в 2т. : Учеб. : рек. Мин. обр. РФ : Т2. Современная электроэнергетика / под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
5. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учеб. пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. – М.: Издат. дом МЭИ, 2012. – 336 с.
6. Электротехнический справочник : В 4 т./ Под общ. ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. -2002. -964 с.
7. Системные исследования проблем энергетики / Л.С. Беляев, Б.Г. Санеев, С.П. Филиппов и др.; Под ред. Н.И. Воропая. – Новосибирска: Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 2000. – 558 с.
8. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ-ИСЭМ / отв. ред. Н.И. Воропай - Новосибирск: Наука, 2010. - 686 с.
9. Распоряжение Правительства РФ от 14.07.2012 N 1273-р «Об утверждении перечня технологий, имеющих важное социально-

экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критических технологий)».

Содержание

	стр.
Введение	3
1. Перечень тем и трудоемкость семинарских занятий первого семестра	9
2. Модуль «Развитие проблемы потерь электроэнергии»	10
2.1. Семинарские занятия по теме «Современные проблемы транспорта и распределения электроэнергии»	10
2.2. Семинарские занятия по теме «История развития проблемы потерь электроэнергии»	13
2.3. Семинарские занятия по теме «Основные понятия потерь электроэнергии и их структура»	19
2.4. Семинарские занятия по теме «Понятие неопределенности в исследовании потерь электроэнергии»	27
2.5. Семинарские занятия по теме «Информационные потоки, используемые в системном анализе потерь электроэнергии, их качество»	39
2.6. Семинарские занятия по теме «Системный анализ электрических сетей для исследования потерь электроэнергии»	49
2.7. Семинарские занятия по теме «Современное состояние уровня потерь электроэнергии в энергосистемах Дальнего Востока»..	54
Литература	59