

Федеральное агентство по образованию  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой энергетики  
\_\_\_\_\_ Н.В.Савина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
«Эксплуатация электроэнергетических систем»  
для специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети

Составитель: докт. техн. наук, проф. А.С. Степанов

Благовещенск

2007 г.

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

А.С. Степанов

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Эксплуатация электроэнергетических систем» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.

Учебно-методический комплекс ориентирован на оказание помощи студентам очной и заочной форм обучения по специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети для формирования специальных знаний в области эксплуатации энергосистем в качестве специалиста, работающего в сфере эксплуатации энергооборудования или управления энергосистемами на любом уровне (энергосистема, предприятие электрических сетей, район электрических сетей).

© Амурский государственный университет, 2007  
© А.С. Степанов

### *Аннотация*

Настоящий УМКД предназначен в помощь студентам всех форм обучения специальности «Электроэнергетические системы и сети» при изучении дисциплины «Эксплуатация электроэнергетических систем».

При его написании учитывались рекомендации из положения «Об учебно-методическом комплексе дисциплины». УМКД разрабатывался на основе утвержденных в установленном порядке Государственного образовательного стандарта, типовых учебных планов и рабочей программы дисциплины, а также нормативных документов Министерства образования и науки Российской Федерации по вопросам организации учебно-воспитательного процесса. Исключением стали следующие пункты, которые не предусматриваются рабочей программой дисциплины «Эксплуатация электроэнергетических систем»:

- программа дисциплины, соответствующая требованиям государственного образовательного стандарта
- методические рекомендации по проведению лабораторных занятий, деловых игр, разбору ситуаций и т.п.;
- методические указания по выполнению курсовых проектов (работ);
- методические указания по выполнению домашних заданий и контрольных работ.

## *Содержание*

|   |    |
|---|----|
| 1. Рабочая программа дисциплины.....  | 5  |
| 2. График самостоятельной работы студентов по дисциплине.....   | 20 |
| 3. Методические рекомендации по проведению семинарских и практических занятий.....  | 21 |
| 4. Конспект лекций .....  | 22 |
| 5. Методические указания к практическим (семинарским) занятиям  | 83 |
| 6. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников и соответствующее учебно-методическое пособие .....   | 84 |
| 7. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины.....   | 84 |
| 8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов (материалы по контролю качества образования)..... | 84 |
| 9. Контрольные вопросы к зачету (экзамену).....   | 85 |
| 10. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.....  | 87 |

## 1. Рабочая программа дисциплины.

Федеральное агентство по образованию РФ  
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УНР  
Е.С. Астапова

\_\_\_\_\_ " \_\_ " \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «Эксплуатация электроэнергетических систем»  
для специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети

| Курс 5                    | Очная форма<br>обучения | Заочная форма<br>обучения |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Семестр                   | 9                       | 11                        |
| Лекции (час)              | 28                      | 12                        |
| Практические занятия      | 14                      | 4                         |
| Самостоятельная<br>работа | 25                      | 51                        |
| Экзамен                   | 9                       | 11                        |
| ВСЕГО часов               | 67                      | 67                        |

Составитель: А.С. Степанов, канд.техн.наук, доцент

Факультет - Энергетический

Кафедра Энергетики

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 650900 «Электроэнергетика» для специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_ г. (протокол № \_\_\_\_\_)

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_ (Н.В.Савина)

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методического совета направления (специальности) \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_ г. (протокол № \_\_\_\_\_)

Председатель УМС \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

СОГЛАСОВАНО  
Начальник УМУ

СОГЛАСОВАНО  
Начальник УМС факультета

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_ г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_ г.

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий выпускающей  
кафедры

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_ г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Целью изучения дисциплины является подготовка студентов к практической деятельности в области эксплуатации энергосистем в качестве специалиста, работающего в сфере эксплуатации энергооборудования или управления энергосистемами на любом уровне (энергосистема, предприятие электрических сетей, район электрических сетей).

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение организационной структуры управления энергетикой, уровней административно-хозяйственного и оперативного управления энергосистемой, путей реформирования электроэнергетики страны;
- изучение основных организационных и технических требований при эксплуатации энергетических объектов предприятий электрических сетей, неуклонное выполнение которых обеспечивает надежную, экономическую и слаженную работу всех звеньев энергетической системы;
- изучение нормальных, аварийных и специальных режимов работы различных типов ЛЭП, трансформаторов, двигателей и других устройств;
- изучение основных видов эксплуатационного и ремонтного обслуживания оборудования электрических сетей, видов ремонтов, организации ремонтного обслуживания хозяйственным и подрядным способом;
- изучение практических вопросов эксплуатации основного и вспомогательного электрооборудования, электрических аппаратов и проводников.

1.3 Дисциплины, освоение которых необходимо при изучении данной дисциплины:

- «Теоретические основы электротехники»,
- «Передача и распределение электроэнергии»,
- «Электрическая часть станций и подстанций»,

«Переходные процессы в электроэнергетических системах»

«Релейная защита и автоматика энергосистем»

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1 Наименование тем, их содержание и объем в часах.

#### **Тема 1.** Принципы управления энергетикой (4 часа)

Введение. Общие сведения об основных принципах управления энергетикой. Организационная структура энергосистемы, характеристика и тенденция развития. Иерархическая система административно-хозяйственного и оперативного управления энергосистемами и их объединениями. Связь между административно-хозяйственными и оперативным управлением. Реформирование РАО «ЕЭС России». Общие принципы формирования сетевых, генерирующих, сбытовых и сервисных компаний. Особенности реформирования энергетики Дальнего Востока.

#### **Тема 2.** Организация ремонтно-эксплуатационного обслуживания электрических систем (4 часа)

Структура ремонтно-эксплуатационного обслуживания элементов электрических сетей. Организация планово-предупредительных ремонтов и ремонтов оборудования по техническому состоянию. Совершенствование ремонтно-эксплуатационного обслуживания. Организация ремонтов хозяйственным и подрядным способом. Организация торгов на выполнение ремонтных услуг. Производственно-ремонтные предприятия.

#### **Тема 3.** Эксплуатация электрических систем (4 часа)

Оперативная подчиненность оборудования энергосистемы. Жизнеспособность ЭЭС. Лавина перегрузки и отключений ЛЭП. Лавина асинхронных режимов. Лавина частоты. Лавина напряжения. Ликвидация лавинных аварийных процессов.



**Тема 4.** Эксплуатация элементов электрических систем (4 часа)

Эксплуатация силовых трансформаторов. Температурный режим трансформатора. Контроль за использованием ресурса трансформаторов.

Допустимые перевозбуждения трансформаторов. Эксплуатация переключательных устройств трансформаторов. Эксплуатация выключателей.

**Тема 5.** Эксплуатация распределительных сетей (4 часа)

Нормальные разрезы и секционирование электрической сети. Управление режимом напряжения распределительной сети. Несимметрия параметров распределительной сети. Режим компенсированной нейтрали. Режим замыкания фазы на землю. Дугогасящие катушки.

**Тема 6.** Эксплуатация распределительных устройств (4 часа)

Типы распределительных устройств и их особенности. Программирование оперативных переключений. Выбор эксплуатационной схемы РУ. Ограничение токов короткого замыкания. Феррорезонансные повреждения в РУ. Определение места повреждения в сети с заземленной нейтралью.

**Тема 7.** Человеческий фактор в эксплуатации (4 часа)

Персонал и эксплуатация. Эмоциональная напряженность деятельности персонала энергосистем. Стрессовые ситуации. Система управления кадрами. Подбор, изучение и расстановка кадров. Производственное обучение и повышение квалификации персонала. Закрепление кадров на предприятии. Охрана труда персонала энергосистем.

**2.2 Практические и семинарские занятия (14 часов)**

| № темы | Название темы                       | Кол-во часов |
|--------|-------------------------------------|--------------|
| 1      | Реформирование энергетики (семинар) | 2            |

|   |  |   |
|---|--|---|
| 2 | Примеры лавинных аварий в энергосистемах и их последствия (Обзор периодической печати) (семинар) | 2 |
| 3 | Изучение приемов ведения режимной информации в ПВК АМУР РС                                       | 2 |
| 4 | Изучение приемов ведения схемной информации в ПВК АМУР РС  | 2 |
| 5 | Определение рациональных мест размыкания распределительных сетей                                 | 4 |
| 6 | Определение оптимальных режимов напряжений в центрах питания распределительных сетей             | 2 |

### 2.3 Самостоятельная работа студентов

Тематика и распределение времени на самостоятельную работу студентов представлена в разделе 4.

### 2.4 Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- решение домашних заданий с последующей их проверкой на практических занятиях;
- составление рефератов и их последующая защита на семинарских занятиях.

### 2.5 Вопросы к экзамену

1. Основные принципы управления энергетикой, организационная структура энергосистемы.

2. Иерархическая система административно-хозяйственного и оперативного управления энергосистемами и их объединениями. Связь между административно-хозяйственными и оперативным управлением.

3. Реформирование РАО «ЕЭС России». Общие принципы формирования сетевых, генерирующих, сбытовых и сервисных компаний. Особенности реформирования энергетики Дальнего Востока.

4. Структура ремонтно-эксплуатационного обслуживания элементов электрических сетей.

5. Организация планово-предупредительных ремонтов и ремонтов оборудования по техническому состоянию.

6. Организация ремонтов хозяйственным и подрядным способом. Организация торгов на выполнение ремонтных услуг. Производственно-ремонтные предприятия.

7. Оперативная подчиненность оборудования энергосистемы.

8. Жизнеспособность ЭЭС.

9. Лавина перегрузки и отключений ЛЭП.

10. Лавина асинхронных режимов.

11. Лавина частоты.

12. Лавина напряжения.

13. Ликвидация лавинных аварийных процессов.

14. Температурный режим трансформатора.

15. Контроль за использованием ресурса трансформаторов.

16. Допустимые перевозбуждения трансформаторов.

17. Эксплуатация переключательных устройств трансформаторов.

18. Эксплуатация выключателей.

19. Нормальные разрезы электрической сети.

20. Секционирование электрической сети.

21. Управление режимом напряжения распределительной сети.

22. Несимметрия параметров распределительной сети.

23. Режим компенсированной нейтрали.

24. Напряжение смещения компенсированной нейтрали.

25. Управление компенсацией нейтрали.

26. Режим замыкания фазы на землю.

27. Дугогасящие катушки.

28. Типы распределительных устройств и их особенности.

29. Программирование оперативных переключений.

30. Выбор эксплуатационной схемы РУ.

31. Ограничение токов короткого замыкания.

32. Феррорезонансные повреждения в РУ.
33. Определение места повреждения в сети с заземленной нейтралью.
34. Персонал и эксплуатация. Эмоциональная напряженность деятельности персонала энергосистем.
35. Стрессовые ситуации.
36. Система управления кадрами.
37. Подбор, изучение и расстановка кадров.
38. Производственное обучение и повышение квалификации персонала.
39. Основные мероприятия по закреплению кадров на предприятии.
40. Охрана труда персонала энергосистем.

### 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 3.1 Основная литература

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.- М.: Энергосервис, 2003.
2. Пособие для изучения Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (электрическое оборудование) / Под общ. ред. Ф.Л. Когана.- М.: Изд. НЦ ЭНАС, 2006.
3. Пособие для изучения Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (оперативно-диспетчерское управление) / Под общ. ред. А.А. Окина.- М.: Изд. НЦ ЭНАС, 2001.
4. Чемборисова Н.Ш., Степанов А.С., Пейзель В.М. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие.- Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

#### 3.2 Дополнительная литература

1. Андриевский В.Н. Ремонтно-восстановительные работы в электрических сетях.- М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Белецкий О.В., Лезнов С.И., Филатов А.А. Обслуживание электрических подстанций.- М.: Энергоатомиздат, 1985.

3. Андриевский В.Н., Голованов А.Т., Зеличенко А.С. Эксплуатация воздушных линий электропередачи.- М.: Энергия, 1976.
4. Основные направления реформирования электроэнергетики Российской Федерации.- Постановление правительства РФ от 11 июля 2001 г. № 526.
5. Баркан Я.Д. Эксплуатация электрических систем.- М.: Высшая школа, 1990.
6. Андриевский В.Н. Управление предприятием электрических сетей.- М.: Энергоатомиздат, 1998.
7. Периодическая литература: журналы «Электричество», «Электрические станции», «Промышленная энергетика», «Энергетик».

### 3.3 Методические и наглядные материалы, используемые в учебном процессе

1. Схемы реальных электрических сетей и распределительных устройств подстанций ОАО «Амурэнерго» (электронный вариант).
2. Программно-вычислительный комплекс АМУР РС по расчету и анализу режимных характеристик распределительных сетей.

#### 4 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (очная форма обучения)

| № недели | № темы | Вопросы, изучаемые на лекции | Занятия (номера)<br>Практич. (семин.) | Используемые наглядные и методические пособия             | Самостоятельная работа студентов   |     | Формы контроля                   |
|----------|--------|------------------------------|---------------------------------------|---|--|-----|----------------------------------|
|          |        |                              |                                       |   | Содержание   | Час |                                  |
| 1        | 2      | 3                            | 4                                     | 5   | 6  | 7   | 8                                |
| 1-2      | 1      | см. подраздел 2.2            | 1                                     | Организационная структура энергосистемы Амурэнерго и ДРСК | Изучение хода реформирования энергосистем России по периодической печати                   | 5   | защита рефератов на семинаре     |
| 3-4      | 2      |                              | 2                                     | Планы ремонтов ОАО «Амурэнерго»                           | Организационная структура и виды деятельности энергоремонтных предприятий Амурской области | 5   | Блиц-опрос                       |
| 5-6      | 3      |                              | 3                                     |   | Лавинные аварии в энергосистемах и их последствия  | 3   | Проверка на семинарских занятиях |
| 7-8      | 4      |                              | 4                                     | Типовые технологические карты ремонта оборудования        |  |     | Проверка на практ. занятиях      |
| 9-10     | 5      |                              | 5                                     | Описание ПВК АМУР РС                                      | Выполнение индивидуальных расчетных заданий  | 4   | Проверка на практ. занятиях      |
| 11-12    | 6      |                              | 5                                     | - « -   | Выполнение индивидуальных расчетных заданий  | 4   | Проверка на практ.               |

|       |   |  |   |  |   |  |
|-------|---|--|---|--|---|--|
|       |   |  |   |  |   | занятиях                               |
| 13-14 | 7 |  | 6 |  | Выполнение индивидуальных расчетных заданий | 4<br>Проверка на<br>практ.<br>занятиях |

## 5. ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

### 5.1 Лекционные занятия.

#### **Тема 1.** Принципы управления энергетикой (2 часа)

Введение. Общие сведения об основных принципах управления энергетикой. Организационная структура энергосистемы, характеристика и тенденция развития. Иерархическая система административно-хозяйственного и оперативного управления энергосистемами и их объединениями. Связь между административно-хозяйственными и оперативным управлением.

**Тема 2.** Организация ремонтно-эксплуатационного обслуживания электрических систем (2 часа)

Структура ремонтно-эксплуатационного обслуживания элементов электрических сетей. Организация планово-предупредительных ремонтов и ремонтов оборудования по техническому состоянию. Совершенствование ремонтно-эксплуатационного обслуживания.

#### **Тема 3.** Эксплуатация электрических систем (2 часа)

Жизнеспособность ЭЭС. Лавина перегрузки и отключений ЛЭП. Лавина асинхронных режимов. Лавина частоты. Лавина напряжения. Ликвидация лавинных аварийных процессов.

#### **Тема 4.** Эксплуатация элементов электрических систем (2 часа)

Эксплуатация силовых трансформаторов. Температурный режим трансформатора. Контроль за использованием ресурса трансформаторов.

#### **Тема 5.** Эксплуатация распределительных сетей (2 часа)

Нормальные разрезы и секционирование электрической сети. Управление режимом напряжения распределительной сети. Несимметрия параметров распределительной сети.



## Тема 6. Эксплуатация распределительных устройств (4 часа)

Типы распределительных устройств и их особенности. Программирование оперативных переключений. Выбор эксплуатационной схемы РУ.

### 5.2 Практические занятия (4 часа)

| № темы | Название темы  | Кол-во часов |
|--------|--|--------------|
| 1      | Определение рациональных мест размыкания распределительных сетей                     | 2            |
| 2      | Определение оптимальных режимов напряжений в центрах питания распределительных сетей | 2            |

## 6. Самостоятельная работа (51 час)

Самостоятельная работа предусматривает:

- выполнение индивидуальных практических заданий;
- самостоятельная работа с рекомендуемой литературой и журналами научно-технического направления.

Темы для самостоятельной проработки:

6.1. Реформирование РАО «ЕЭС России». Общие принципы формирования сетевых, генерирующих, сбытовых и сервисных компаний. Особенности реформирования энергетики Дальнего Востока. (4 часа)

6.2. Организация ремонтов хозяйственным и подрядным способом. Организация торгов на выполнение ремонтных услуг. Производственно-ремонтные предприятия. (4 часа)

6.3. Оперативная подчиненность оборудования энергосистемы. (2 часа)

6.4. Допустимые перевозбуждения трансформаторов. Эксплуатация переключательных устройств трансформаторов. Эксплуатация выключателей. (6 часов)

6.5 Режим компенсированной нейтрали. Режим замыкания фазы на землю. Дугогасящие катушки. (6 часов)

6.6 Ограничение токов короткого замыкания. Феррорезонансные повреждения в РУ. Определение места повреждения в сети с заземленной нейтралью. (6 часов)

6.7 Персонал и эксплуатация. Эмоциональная напряженность деятельности персонала энергосистем. Стрессовые ситуации. Система управления кадрами. Подбор, изучение и расстановка кадров. Производственное обучение и повышение квалификации персонала. Закрепление кадров на предприятии. Охрана труда персонала энергосистем. (5 часов)

6.8 Реформирование ОАО «Амурэнерго» (4 часа)

6.9 Организация торгов в энергетике. Электронные торговые площадки (4 часа)

6.10 Примеры лавинных аварий в энергосистемах и их последствия (4 часа)

6.11 Методы расчета феррорезонанса (6 часов)

## 7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (заочная форма обучения)

| № недели | № темы | Вопросы, изучаемые на лекции | Занятия (номера)   |  | Используемые наглядные и методические пособия             | Самостоятельная работа студентов |     | Формы контроля                       |
|----------|--------|------------------------------|--------------------|--|---|----------------------------------|-----|--------------------------------------|
|          |        |                              | Практич. (семина.) |  |   | Содержание                       | Час |                                      |
| 1        | 2      | 3                            | 4                  |  | 5   | 6                                | 7   | 8                                    |
|          | 1      | см. подраздел 5.1            |                    |  | Организационная структура энергосистемы Амурэнерго и ДРСК | п. 6.1                           | 4   | Блиц-опрос                           |
|          | 2      |                              |                    |  | Планы ремонтов ОАО «Амурэнерго»                           | п. 6.2                           | 4   | Блиц-опрос                           |
|          | 3      |                              |                    |  |   | п.п. 6.3-6.4                     | 8   |                                      |
|          | 4      |                              | 1                  |  | Типовые технологические карты ремонта оборудования        | п.п. 6.5-6.7                     | 17  | Проверка выполнения индивид. заданий |
|          | 5      |                              | 2                  |  | Описание ПВК АМУР РС                                      | п.п. 6.8-6.9                     | 8   | Блиц-опрос                           |
|          | 6      |                              |                    |  |   | п.п. 6.10-6.11                   | 10  | Проверка выполнения индивид. заданий |

## 2. График самостоятельной работы студентов по дисциплине

| № | Содержание   | Объем в часах | Формы контроля                   | Сроки<br>(понеделные) |
|---|--|---------------|----------------------------------|-----------------------|
| 1 | 2  | 3             | 4                                | 5                     |
| 1 | Изучение хода реформирования энергосистем России по периодической печати                   | 5             | защита рефератов на семинаре     | 1                     |
| 2 | Организационная структура и виды деятельности энергоремонтных предприятий Амурской области | 5             | Блиц-опрос                       | 2                     |
| 3 | Лавинные аварии в энергосистемах и их последствия  | 3             | Проверка на семинарских занятиях | 3                     |
| 4 | Выполнение индивидуальных расчетных заданий  | 4             | Проверка на практ. занятиях      | 4                     |
| 5 | Выполнение индивидуальных расчетных заданий  | 4             | Проверка на практ. занятиях      | 5                     |
| 6 | Выполнение индивидуальных расчетных заданий  | 4             | Проверка на практ. занятиях      | 6                     |

Примечание. Список литературы, необходимый для изучения вопросов, заданных на самостоятельную работу, приведен в рабочей программы дисциплины.

### 3. Методические рекомендации по проведению семинарских и практических занятий

Практические занятия предусмотрены в рабочей программе в объеме 14 часов. Тематика практических занятий представлена в таблице.

| № темы | Название темы  | Кол-во часов |
|--------|--|--------------|
| 1      | Реформирование энергетики (семинар)  | 2            |
| 2      | Примеры лавинных аварий в энергосистемах и их последствия (Обзор периодической печати) (семинар) | 2            |
| 3      | Изучение приемов ведения режимной информации в ПВК АМУР РС                                       | 2            |
| 4      | Изучение приемов ведения схемной информации в ПВК АМУР РС  | 2            |
| 5      | Определение рациональных мест размыкания распределительных сетей                                 | 4            |
| 6      | Определение оптимальных режимов напряжений в центрах питания распределительных сетей             | 2            |

Цель практических занятий – научить студентов выполнять расчеты режимных параметров распределительных сетей и их оптимизацию с помощью программно-вычислительного комплекса АМУР РС.

Практические занятия проводятся в компьютерном классе в соответствии с учебным пособием: Чемборисова Н.Ш., Степанов А.С., Пейзель В.М. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие.- Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

Ниже приведены номера разделов из данного учебного пособия, которые используются при изучении каждой темы, а также задания для самостоятельной работы студентов.

| № темы | № раздела     | Вопросы для самостоятельной работы   |
|--------|---------------|--|
| 3      | 4.1 – 4.4.1   | 1. Изучить структуру комплекса и его базы данных<br>2. Ввести режимные данные для фидеров одной питающей подстанции  |
| 4      | 4.4.2 – 4.4.3 | 1. Вычертить схему фидера по индивидуальному заданию<br>2. Произвести корректировку схем фидеров заданной подстанции |
| 5      | 3.1, 3.3,     | Выполнить расчет наилучших мест размыкания для   |

|   |               |  |
|---|---------------|--|
|   | 4.3.3         | заданных петлевых участков сети  |
| 5 | 3.2,<br>4.3.3 | Рассчитать оптимальные уставки РПН трансформаторов заданной питающей подстанции и уставки ПБВ трансформаторов ТП |

При подготовке заданий для самостоятельной работы студентов рекомендуется использовать поопорные схемы сетей 6-10 кВ филиалов ОАО ДРСК и реальные режимные данные по этим сетям.

На практических занятиях помимо решения вышеуказанных задач и проверки индивидуальных заданий рекомендуется проведение выступлений студентов с докладами по рефератам и их обсуждение (до 30 мин.) по темам 1 и 2.

#### 4. Конспект лекций

##### *Тема 1. Принципы управления энергетикой (4 часа)*

Энергетика как большая система дает возможность:

- гибко маневрировать резервами мощности при сокращении их суммарного размера, следовательно, компенсировать последствия непрерывно возникающих непредвиденных ситуаций, в том числе к остановки топливоснабжения;
- облегчать проведение ремонтов оборудовани при сохранении нормального энергоснабжения;
- снижать общее максимальное потребление мощности за счет несовпадения во времени максимальных нагрузок отдельных районов;
- оптимизировать режим ее работы при использовании электростанций в соответствии с их экономичностью и маневренностью;
- способствовать развитию энергетики применением агрегатов и электростанций, имеющих экономически целесообразную и экологически обоснованную мощность.

Свойства большой системы не ограничиваются суммой свойств элементов, а дополнены своими существенными свойствами. Взаимосвязи между элементами системы называются внутренними, а взаимосвязи со средой — внешними. Система характеризуется определенными структурой, организацией и упорядоченностью (структуре присуще иерархическое строение).

Область территории, в пределах которой сформировался определенный народнохозяйственный комплекс, обслуживается ЭЭС. Оптимального размещения источников энергии в пределах небольших территорий, обслуживаемых ЭЭС, добиться трудно. Поэтому эта задача решается в пределах больших территорий, охватывающих регионы страны. Энергосистемы объединяются межсистемными связями в объединенные энергосистемы (ОЭС). При этом появляется возможность обмена потоками мощности между крупными электростанциями различных типов и маневренными потоками между ЭЭС, реализующими функции резервирования.

Для обеспечения межрегиональных обменов мощностью ОЭС объединяются в ЕЭС, дающую возможность маневрирования энергетикой в рамках всего народного хозяйства.

Система функционирует в соответствии с определенными закономерностями. В каждое мгновение система находится в определенном состоянии. Последовательный набор состояний определяют как поведение системы. Поведение энергосистемы, в котором участвует человек и созданная им автоматика управления, можно рассматривать как целенаправленное.

Важной проблемой поддержания функционирования (эксплуатации) системы является обеспечение ее жизнеспособности, т. е. способности в зависимости от воздействия окружающей среды постепенно изменять свое состояние и переходить в новое устойчивое положение. Система при этом осуществляет отбор устойчивых состояний, обеспечивая свою жизнеспособность. Известно, что для этого необходимо гарантировать

самоорганизацию на низших иерархических уровнях структуры при наличии координации с верхних уровней.

В энергетике используется иерархическая структура управления. В этой многоуровневой системе некоторый орган управляет несколькими органами более низкого уровня, находящимися в его подчинении. Сам же управляется органом более высокого уровня.

Для иерархической структуры характерна известная автономность органов управления промежуточных и низших уровней. Решение стратегических задач происходит на высших иерархических уровнях, где оно наиболее эффективно. Тактические задачи в зависимости от их сложности и требуемых ресурсов могут решаться на более низких иерархических уровнях, что обеспечивает оперативность принятия решений, а в большинстве случаев и более высокую точность.

В управлении энергетикой используется матричная иерархическая структура. В ней разделены функции хозяйственного и оперативного управления.

Назначение хозяйственного управления сводится к поддержанию оборудования в работоспособном состоянии и доставке топлива и других ресурсов, необходимых для функционирования ЭЭС. Хозяйственное управление соответствует подразделениям на предприятиях, имеющих цеховую структуру. Оно организует диагностирование состояния оборудования, весь комплекс ремонтных работ, создание и поддержание технических средств производства и управления.

Оперативное управление заключается в технологическом планировании режима ЭЭС, управлении производством и распределении электрической и тепловой энергии, выбору состава работающего оборудования и его загрузки. Оперативное управление обладает иерархической структурой. Здесь центральное диспетчерское управление (ЦДУ) Единой энергосистемы осуществляет оперативное управление энергетикой страны через несколько



объединенных диспетчерских управлений (ОДУ); в оперативном ведении которых находится энергетика регионов страны. ЦДУ рассматривает межрегиональные вопросы, которые не могут быть решены в рамках ОДУ. В рамках каждой ОЭС, оперативное управление которыми осуществляет ОДУ, действуют около десяти ЭЭС. На уровне ОДУ решаются межсистемные проблемы, которые не могут быть решены в пределах ЭЭС.

Центральные диспетчерские службы энергосистем (ЦДС) осуществляют оперативное управление районными диспетчерскими службами сетевых предприятий (РДС), режимом электростанций (Ст), и крупных подстанций, имеющих системное значение. ЦДС занимается вопросами, требующими согласованности смежных сетевых предприятий. РДС согласовывают работу подстанций, входящих в сферу деятельности сетевых предприятий, а также сетевых районов, находящихся в пределах сетевого предприятия. На низшем уровне находится сетевые участки (СУ) и подстанции.

Таким образом, каждый из уровней оперативного управления имеет дело с ограниченным числом подчиненных ему звеньев (10—20), что обеспечивает хорошую управляемость.

Каждый из уровней оперативного управления обладает большой самостоятельностью. Обязанности, решаемые каждым из уровней, перекрываются (дублируются) незначительно (около 5%). Можно сказать, что вышестоящие оперативные уровни управления занимаются координацией работы нижестоящих уровней. В то же время смежные уровни управления при необходимости могут брать на себя функции друг друга (по вертикали), обеспечивая технически допустимую работу ЭЭС, хотя, возможно, и с большим отклонением от оптимальной. Этим обусловлена высокая надежность иерархической структуры оперативного управления.

Три верхних уровня оперативного управления (ЦДУ, ОДУ и ЦДС) занимаются оперативным управлением на уровне систем, каждое применительно к своему масштабу деятельности. В их работе много общего, однако имеются и определенные различия, обусловленные тем, что

межсистемные электрические сети, контролируемые этими уровнями управления, имеют пропускную способность, не превышающую мощности связываемых ими ЭЭС и составляющую не более 10% от мощности связываемых ОЭС. Поэтому для ОДУ и ЦДУ, наравне с обеспечением баланса активной мощности, первостепенны проблемы, связанные с поддержанием целостности и жизнеспособности ОЭС и ЕЭС. С этой целью для ОДУ и ЦДУ на первый план ставятся задачи, связанные с предупреждением и предотвращением аварий, приводящих к потере целостности (разделению) и нарушениям балансов мощности. Они уделяют большое внимание разработке средств противоаварийного управления и управления активной мощностью в нормальных режимах, а также вопросам перспективного развития энергетики.

ЦДС, ОДУ и ЦДУ, как правило, оснащены мощными вычислительными центрами, с помощью которых формируются математические модели ЭЭС для анализа аварийных и текущих нормальных режимов, Математические модели позволяют проверять эффективность противоаварийного управления, поддерживать оптимальные режимы, получать информацию об их надежности в данный момент и консультации по поводу желательных действий.

Из рассмотренного следует, что основной задачей оперативного управления является обеспечение надежности функционирования и соответствия выработки энергии спросу на нее. Управление для обеспечения оперативного соответствия производства энергии спросу на нее очень важно в любой отрасли народного хозяйства. Однако в энергетике, практически не обладающей возможностями аккумуляции энергии, необходимость в нем особенно очевидна. Без него энергетическая технология невозможна.

В соответствии с этим персонал также подразделяется на эксплуатационный и оперативный. Оперативный персонал ведет технологический процесс, осуществляет оперативные переключения, подготовку рабочих мест для ремонтного персонала, отвечает за надежность и безопасность.

Иерархическая система оперативного управления хорошо регламентирована. Распоряжения и указания заносятся в оперативные журналы; все действия, связанные с оперативной работой, также письменно фиксируются в них. Полученные распоряжения повторяются вслух исполнителем для того, чтобы убедиться в правильном их понимании. Оперативные переговоры в аварийных ситуациях автоматически фиксируются звукозаписывающей аппаратурой для последующего анализа и т. д.

Административный персонал не имеет права изменять оперативные распоряжения, если они не угрожают целостности оборудования и безопасности персонала.

## *Тема 2. Организация ремонтно-эксплуатационного обслуживания электрических систем (4 часа)*

Структура ремонтно-эксплуатационного обслуживания элементов электрических сетей. Организация планово-предупредительных ремонтов и ремонтов оборудования по техническому состоянию. Совершенствование ремонтно-эксплуатационного обслуживания. Организация ремонтов хозяйственным и подрядным способом. Организация торгов на выполнение ремонтных услуг. Производственно-ремонтные предприятия.

Резервы мощности в ЭЭС ограничены. В то же время износ энергетического оборудования, особенно эксплуатирующегося в тяжелых условиях (например, котлов), значителен. Для восстановления работоспособности оборудование отключают на время, требуемое для проведения ремонта. Оборудование ремонтируют в периоды снижения нагрузок, размещая его на ремонтной площадке.

Существуют капитальный и текущий ремонты оборудования. При капитальном ремонте заменяют и восстанавливают все изношенные элементы, т. е. приводят оборудование в работоспособное состояние. Иногда проводят

сокращенный капитальный ремонт (средний ремонт), восстанавливая основные элементы.

При текущем ремонте устраняют выявленные дефекты оборудования. Между капитальными ремонтами проводят несколько текущих ремонтов. Периодичность текущих и капитальных ремонтов для различного оборудования принята на основе опыта эксплуатации.

В конце каждого года составляют перечень оборудования, ремонт которого необходим в следующем году. Вывод оборудования из эксплуатации производится в календарные сроки и рассчитан на такую длительность, при которой были бы завершены работы в пределах ремонтной площадки. При этом учитывают необходимость минимизации суммарного расхода топлива (его стоимости), надежность, а также прогнозы водотока для ГЭС и его наиболее полного использования в паводок. Затем планы ремонтов корректируют, увязывая их с имеющимися ресурсами рабочей силы и обеспеченностью материалами и запасными частями. После определения допустимой длительности ремонта на основе ведомости необходимых работ составляется сетевой график, содержащий понятия «работа» и «событие».

«Событие» в графике обозначается кружком с номером и отражает окончание предшествующих ему работ, не затрагивая затрат труда, времени и ресурсов. В графике имеется одно исходное событие, не имеющее входящих работ, и одно завершающее, подразумевающее отсутствие последующих работ. Все остальные события фиксируют завершение предыдущей работы и являются исходными для последующей. Номера событий нарастают от предыдущих к последующим.

«Работы» — процессы, подразумевающие затрату труда, ресурсов и времени, в том числе затраты на время ожидания, необходимое для технологических перерывов (схватывания бетона, сушки и т. п.). Работы на сетевом графике обозначаются стрелками, соединяющими кружки. Над стрелками обозначается элемент, ремонт которого проводится, а под нею — длительность работы в часах.

Между событиями возможны технологические связи (без непосредственного проведения конкретной работы). Подобные взаимосвязи обозначаются пунктирными стрелками. Так, выполнить очередную работу можно только после того, как освободится специализированная бригада после завершения другой работы.

Поставки оборудования можно обозначить отдельными стрелками, входящими в кружки, обозначающие событие.

В графике не должно быть тупиков (событий, за которыми не следует никаких работ, кроме завершающего события), а также событий, не имеющих входящих работ, кроме исходного. Наличие таких событий свидетельствует об ошибке, которую нужно исправить.

В процессе составления сетевого графика выявляются работы, которые могут проводиться одновременно бригадами различной специализации. Сроки этих работ в основном определяются числом работников, подбирающимся по возможности так, чтобы не было простоев. На графике выявляется цепочка стрелок, суммарная длительность которой определяет срок выполнения всего ремонта, называемая критическим путем. Сетевой график дополняется временным графиком отключения оборудования и перечнем работ. Сетевой график позволяет хорошо организовать работы. С его помощью можно судить о последствиях, вызванных отклонениями хода работ от предусмотренного.

При выполнении ремонтов оборудования обстановка в ЭЭС может измениться, поэтому необходимы оперативные корректировки вывода оборудования в ремонт, а также длительности его проведения.

### *Тема 3. Эксплуатация электрических систем (4 часа)*

#### Оперативная подчиненность оборудования ЭЭС

Оборудование ЭЭС в соответствии с его значимостью находится в распоряжении различных иерархических уровней управления. Сам процесс

управления операциями с оборудованием производится в зависимости от того, требуется ли координация действий персонала на различных объектах или нет.

Если операции с оборудованием, значимость которого для соответствующего уровня управления высока, не связаны с координацией действий персонала различных объектов ЭЭС, то оно находится в оперативном ведении данного уровня управления. Операции с подобным оборудованием производятся по указанию и под контролем этого уровня управления. Так, например, по указанию диспетчера ЭС персонал электростанции пускает котлы и турбогенераторы, проводя самостоятельно весь комплекс операций, необходимых для этого. Аналогично проводятся операции, связанные с остановом оборудования или выводом его в ремонт.

Существует и оборудование, управление которым связано с действием персонала не одного, а двух или большего числа объектов. Такое оборудование находится в оперативном управлении соответствующего иерархического уровня управления. Так, например, электрическая линия отключается в ремонт персоналом как минимум двух объектов, расположенных по ее концам. В этом случае вышестоящий оперативный персонал сам дает указания для производства всех операций, требующих координации действий на различных объектах. Такая координация необходима при действиях с коммутационной аппаратурой и противоаварийной автоматикой, имеющей общесистемное значение. Пооперационные указания, связанные с какими-либо другими действиями в цепях вторичной коммутации, во многих случаях практически нереальны. Поэтому используются программы оперативных переключений, с помощью которых весь комплекс разделяется на фрагменты действий, производящихся по указанию вышестоящего оперативного персонала, и фрагменты самостоятельных действий. Первые производятся на основе указаний свыше, а вторые — на основе программ переключений (персоналом).

### Жизнеспособность ЭЭС

Одиночные события, такие, как отключение одной ЛЭП, автотрансформатора связи или обесточения шин одного РУ, имеют локальный

характер, и с точки зрения надежности работы ЭС интерес к ним ограничен. Одиночные отключения элементов обычно приводят к перераспределениям потоков мощности по оставшимся в работе элементам без ущерба для электроснабжения.

Надежность работы ЭЭС определяется взаимосвязанностью элементов. За одиночным событием часто следуют аварийные события, образующие лавинный процесс (цепную реакцию событий). В этом проявляется отличие свойств системы от суммы свойств ее элементов — она обладает комплексом свойств, присущих ей как системе, и это называется аддитивностью.

Анализ надежности работы ЭЭС с учетом зависимых событий достаточно сложен.

Более радикального повышения надежности и режима функционирования энергосистем можно добиться придав существующим элементам определенные свойства, проявляющиеся в процессе возникновения аварийного процесса в последовательности, необходимой для предохранения от лавинного (каскадного) развития аварий. При этом должно быть учтено присутствие персонала и его качества: способность ориентироваться в сложных ситуациях, быстрота реакции, преобладающие мотивации действия и т. п. Эти свойства образуют своеобразную систему защиты. Надежность формируется с помощью принципа «глубокого эшелонирования» — способности к действию на любом этапе развития лавины.

Основой понимания принципов эксплуатации ЭЭС является четкое представление об опасностях развития лавинных аварийных процессов.

Первым этапом противоаварийных действий можно считать предупреждение возникновения лавинного аварийного процесса. После этого необходимо предполагать успешный и неуспешный исходы. Наличие системы предупреждения позволяет в значительном числе случаев рассчитывать на успешный исход. При неуспешном исходе начавшийся лавинный процесс необходимо разорвать, остановить, локализовать. При локализации каждого из вариантов развития аварийного процесса должна также учитываться

многовариантность исходов и необходимость в противовес им обеспечить многообразие свойств системы и ее элементов. После локализации состояние системы должно быть возвращено к доаварийному или хотя бы к состоянию, близкому к нему по своему характеру, т. е. необходимо восстановление режима.

Лавинный аварийный процесс протекает на значительных территориях и даже при наличии развитых систем отображения плохо наблюдаем. Поэтому персоналу трудно сориентироваться в ситуации и понять характер события. Несмотря на противоаварийное обучение стереотипные реакции на похожие, но меньшие по масштабам явления, проявляющиеся в нормальных режимах, приходят в противоречие с требуемыми действиями. В результате действия персонала часто ошибочны и ухудшают положение. Необходимо также иметь в виду, что персонал отдает предпочтение действиям, направленным на спасение оборудования, а не на сохранение работы ЭЭС.

При разработке противоаварийных средств целесообразно ориентироваться на худший случай, приводящий к решениям, исключающим вмешательство персонала в процесс вплоть до послеаварийного состояния ЭЭС. Но персонал должен обучаться сущности аварийных ситуаций и правильным действиям при отказах и для устранения не предусмотренных ситуаций. Для этого используются противоаварийные тренировки и работа на тренажерах.

Для уяснения свойств, которые должны придаваться ЭЭС и их элементам, необходимо рассмотреть типичные лавинные аварийные процессы.

### Лавина перегрузки

Лавина перегрузки и отключений ЛЭП вызывает перегрузку и отключения сильно загруженных питающих ЛЭП вплоть до полного отделения от ЭЭС района, получающего значительную мощность извне. Существуют три причины ее возникновения.

1. Через определенные сечения сети ЭС протекают значительные мощности. В процессе работы некоторые из этих сечений могут быть перегружены, что может привести к нарушению статической устойчивости.



Практически это связано с прекращением передачи мощности. Потоки мощности перераспределяются на другие сечения электрической сети, некоторые из них могут, в свою очередь, перегрузиться и т. д.

2. Отключение ЛЭП в сильно загруженном сечении сети может вызвать перегрузку другой ЛЭП и ее отключение, а затем последующее нарастание перегрузки других ЛЭП и сечений сети, что приводит к каскадному выходу их из работы и к разделению ЭС.

3. Аварийный останов крупного генерирующего источника может вызвать начальную перегрузку какого-нибудь сечения с последующим развитием лавинного процесса.

Лавина данного типа приводит не только к отключению ЛЭП одного сечения, но может вызвать перегрузки других сечений сети, приводя к распространению аварийного процесса на большие пространства.

Чтобы избежать лавины перегрузки и отключения питающих ЛЭП, используют три типа средств.

1. Ограничение потоков мощности значениями, обеспечивающими достаточные запасы по статической устойчивости в нормальные режимах. В ряде случаев потоки мощности в нормальном режим; ограничиваются величинами, обеспечивающими статическую устойчивость в послеаварийном режиме, наступающем после отключения одной ЛЭП большой пропускной способности или после аварийной остановки крупного турбогенератора. При этом использование пропускной способности сечения сети ограничивается. Однако подобное недоиспользование пропускной способности возможно не всегда. Поэтому возникает необходимость в быстросействующем изменении потоков мощности в момент возникновения аварийного события, сохраняющем устойчивость параллельной работы.

2. Быстросействующее изменение потоков мощности с помощью аварийного воздействия на снижение мощности генерирующих источников на

передающей стороне сечений сети и иногда увеличения мощности на их приемной стороне.

Быстродействующая разгрузка — операция, приводящая к существенному нарушению режима ТЭС, так как она обычно связана с отключением части генераторов. После этого необходимо сохранить работу котлов для возможности последующего включения генераторов в сеть.

3. Быстродействующее увеличение мощности электростанций на приемной стороне опасных сечений сети. Для этого могут использоваться не полностью загруженные генерирующие источники ТЭС (за счет аккумулярующих способностей котлов) и ГЭС (за счет агрегатов, работающих в режиме СК).

Средства предотвращения лавины отключений ЛЭП образуют две системы управления:

—систему управления с обратной связью, поддерживающую статическую устойчивость в нормальном, а иногда и в послеаварийном режиме ограничением перетоков мощности в сечениях сети;

—быстродействующую систему управления статической устойчивостью (в послеаварийном режиме) и динамической устойчивостью, действующую на основе оценки тяжести доаварийного режима при конкретном возмущении.

Система второго типа функционирует на базе доз управления, определяемых в доаварийном режиме для возможных факторов возмущения, в виде однократного управляющего воздействия и не содержит элементов обратной связи. Подобное управление может иметь два исхода: успешный (когда доза управления выбрана точно) и неуспешный (когда доза выбрана неточно), что приводит к нарушению устойчивости.

В тех случаях, когда пропускная способность оставшихся в работе ЛЭП не обеспечивает параллельной работы частей ЭС или их перегрузка

приводит к повреждениям самих ЛЭП, применяется автоматическое разделение, отключающее все линии сечения сети.

Информация, необходимая для управления, носит общесистемный характер. Поэтому в общем случае система управления имеет централизованную структуру с управляющей ЭВМ.

#### Лавина асинхронных режимов

Нарушение статической и динамической устойчивости приводит к асинхронному режиму. Векторы ЭДС частей ЭЭС, между которыми нарушилась устойчивость, вращаются друг относительно друга, проходя углы от 0 до 360°.

При угле между ЭДС, равном 180°, в сети имеется точка, напряжение в которой равно нулю и называемая электрическим центром качаний.

Схема ЭС может быть такой, что к зоне низких напряжений, образующихся вокруг электрического центра, будут примыкать протяженные, сильно загруженные ЛЭП от других частей ЭЭС или электростанций.

Большое снижение напряжения на длительное время приводит к значительному уменьшению пропускной способности, которая может оказаться ниже передаваемой мощности. В результате снижения напряжения, а также действия электромеханического резонанса возникают вторичные нарушения устойчивости в других сечениях электрической сети.

Нарушение устойчивости на одной связи может вызвать лавинный вторичный асинхронный режим в ряде сечений сети ЭЭС.

В тех случаях, когда существует возможность возникновения вторичных асинхронных режимов, необходимо первый асинхронный режим прекратить прежде, чем напряжение в области электрического центра снизится до опасных значений, т. е. при углах, меньших 180°. Для этого части ЭЭС разделяются. Идеальным местом разделения является точка токораздела доаварийного режима. В этом случае в обеих частях ЭЭС сохранится

положительный баланс мощности, а частоты вращения будут близки к нормальным, что позволит быстро осуществить воссоединение путем синхронизации. Однако такое разделение часто нереально, так как асинхронный режим обычно возникает на сильно загруженных сечениях сети, расположенных далеко от точки токораздела. Поэтому разделение производят в местах, которым соответствует минимальный небаланс мощности из числа возможных. Подобному разделению соответствует минимальный наброс мощности на ту часть ЭЭС, которая в доаварийном режиме получала мощность, а после ее отключения стала дефицитной.

Однако даже после разделения лавинный аварийный процесс может получить дальнейшее развитие.

### Лавина частоты

Разделение частей ЭЭС в точке сети, через которую в доаварийном режиме протекала значительная мощность, приводит к нарушению баланса активной мощности. Если в части ЭЭС, получавшей мощность извне, резервы недостаточны, то возникает дефицит активной мощности.

Баланс активной мощности в установившемся режиме характеризуется равенством генерируемой и потребляемой мощностей при нормальной частоте. Он определяется точкой пересечения статических характеристик нагрузки и генерирующих источников. Предположив ограничение характеристики генерирующих источников после разделения, следует, что баланс в установившемся режиме находится в точке, когда частота может оказаться ниже значения, при котором производительность насосов, работающих на противодействие (питательные насосы котлов), оказывается недостаточной. В этом случае нарушается работа котлоагрегатов и электростанция должна быть остановлена. Частота в дефицитной части ЭЭС дополнительно снижается, что приводит к нарушению работы других электростанций, и т. д. до полного останова всех генерирующих источников.

Восстановление работы электростанций требует подачи на каждую из них электроэнергии извне для приведения в действие технологического оборудования. Только после пуска котлов и турбин электростанции могут быть включены в работу.

Из рассмотренного следует, что лавина частоты может вызвать тяжелую многочасовую энергетическую аварию на большой территории. Чтобы избежать ее, ЭЭС оснащаются частотной автоматикой, расположенной на подстанциях ЭЭС. По мере аварийного снижения частоты эта автоматика отключает линии распределительных сетей для удержания частоты в пределах, безопасных для функционирования собственных нужд электростанций. Затем частота доводится до значения, близкого к нормальному, при котором возможна синхронизация разделившихся частей ЭЭС, и последующее восстановление электроснабжения всех отключенных потребителей.

В связи с тем, что процесс изменения частоты происходит с постоянной времени, обусловленной инерцией вращающихся масс, можно осуществить желательный ход изменения процесса и необходимые меры по его корректировке. В этом смысле управление производится с обратной связью, обеспечивающей повышенную надежность. Кроме того, в качестве резервного средства при большом снижении частоты используется устройство, отделяющее генератор с собственными нуждами от системы для обеспечения их питания с нормальной частотой. В связи с некоторой разгрузкой отделяемых генераторов частотное деление сопровождается некоторым увеличением дефицита активной мощности.

На ГЭС предусматривается автоматический пуск в течение 40—60 с гидрогенераторов, находящихся в резерве, и перевод агрегатов, работающих в режиме СК, в активный режим (10—15 с).

### Лавины напряжения

Лавины напряжения, также случающиеся в ЭЭС, связаны с балансом реактивной мощности, который определяется соотношением характеристик генерирующих источников (питающей системы) и потребителей. Качественное представление о характере процессов дает сопоставление характеристик генерирующих источников и нагрузки потребителей.

При уменьшении напряжения потребляемая нагрузкой реактивная мощность снижается. Большое уменьшение напряжения вызывает останов не отключившихся от сети асинхронных двигателей, в результате чего потребляемая ими реактивная мощность увеличивается. Практически это увеличение ограничено тем, что магнитные пускатели, используемые в качестве коммутационного аппарата на основных двигателях, отключаются. Это снижает нагрузку.

В исходном нормальном режиме баланс реактивной мощности узла системы обуславливается пересечением характеристик нагрузки и генерации в области, соответствующей наличию резерва реактивной мощности. Поддержание требуемых уровней напряжения при различной нагрузке обеспечивается преднамеренным изменением токов возбуждения генераторов и переключением ответвлений трансформаторов, что равносильно смещению характеристики питающей системы.

Напряжение, установившееся в аварийном режиме, может оказаться недостаточным для сохранения статической устойчивости нагрузки или обеспечения технологических процессов производств.

Различают несколько причин возникновения лавины напряжения.

Сопутствующая лавина понижения напряжения возникает одновременно с лавиной частоты вследствие разделения ЭЭС на части, которые иногда приводят к потере части генерирующей реактивной мощности и зарядной мощности сети сверхвысокого напряжения, существенной для баланса. Кроме того, большое снижение частоты из-за его влияния на работу АРВ приводит к изменению напряжения на выводах генераторов.

Известно, что измерительные органы АРВ пропорционального действия обладают индуктивностью, в результате чего они реагируют на снижение частоты как на эквивалентное ему повышение напряжения. В результате эти АРВ приводят к некоторому уменьшению напряжения. В среднем при снижении частоты на 1 % напряжение уменьшается на 1,4%.

АРВ сильного действия, реагируя на производную частоты, наоборот, воспринимают снижение частоты как уменьшение напряжения, что увеличивает возбуждение генераторов.

Реакции АРВ обоих типов противоположны и в целом влияние изменения частоты на напряжение зависит от их удельного веса в ЭЭС.

Процесс снижения напряжения при сопутствующей лавине протекает в два этапа. На первом этапе напряжение скачком уменьшается до установившегося значения, соответствующего балансу реактивной мощности. На втором этапе при снижении частоты, происходящем с постоянной времени 2-3 с, напряжение дополнительно уменьшается из-за характеристик АРВ. Изменение напряжения, влияя на мощность, потребляемую нагрузкой, в свою очередь оказывает некоторое воздействие на изменение частоты.

При успешной работе частотной разгрузки ликвидируются дефициты как активной, так и реактивной мощностей.

Главная опасность сопутствующей лавины напряжения заключается в том, что большие снижения напряжения могут вызвать отказы частотной автоматики, предназначенной для поддержания частоты в безопасных пределах. Возможны также отказы отключения выключателей на подстанциях с оперативным переменным током.

Во избежание отказов необходимо, чтобы принцип действия реле частоты исключал влияние напряжения на их уставку, а цепи отключения выключателей на подстанциях с оперативным переменным током питались от стабилизаторов напряжения.

Лавина понижения напряжения нагрузочного узла возникает в результате аварийного уменьшения пропускной способности сети из-за отключения части

питающих ЛЭП. На приемной стороне оставшихся в работе питающих ЛЭП напряжение может снизиться до значений, недостаточных для обеспечения технологических процессов производства.

К лавинам понижения напряжения может привести также преждевременный съем форсировки возбуждения генераторов, связанный с неполным использованием их перегрузочного ресурса.

Ситуация может усугубиться несоразмерно большой мощностью конденсаторных установок, смещающих экстремум характеристики генерации в сторону более высоких напряжений. В этом случае баланс реактивной мощности соответствует пересечению характеристики нагрузки с левой ветвью характеристики генерации, при котором нарушается устойчивость режима напряжения узла нагрузки.

При возникновении лавины понижения напряжения узла нагрузки необходимо отключить часть потребителей по признаку уменьшения напряжения для того, чтобы наиболее ответственные потребители могли продолжать работу, даже если напряжение осталось пониженным.

Увеличение напряжения, свидетельствующее о восстановлении пропускной способности сети, должно сопровождаться автоматическим включением в работу всех потребителей.

Лавина повышения напряжения возникает при резком увеличении нерегулируемой составляющей генерируемой реактивной мощности. Обычно это связано с избыточной зарядной мощностью сети сверхвысокого напряжения в условиях пониженного потребления реактивной мощности. Например, в процессе лавины частоты питающая сеть вследствие работы АЧР разгружается, и потери реактивной мощности в ней уменьшаются, а оставшаяся нагрузка потребляет реактивную мощность, меньшую чем ее зарядная мощность.

Для сохранения баланса реактивной мощности при допустимом напряжении генераторы с помощью АРВ переводятся в режим недовозбуждения. При этом может потребоваться столь большое уменьшение возбуждения, что генераторы приходится разгружать по активной мощности.



В связи с тем, что зарядная мощность пропорциональна квадрату напряжения, приложенного к емкостным проводимостям сети, и учитывая, что в этом случае речь идет о большой емкости сети сверхвысокого напряжения, наклон характеристики системы может измениться на противоположный. Аварийный режим устанавливается в точке при напряжении, которое может оказаться опасным не только для потребительских установок, но и для изоляции трансформаторов и сети.

При исчерпании возможностей перевода генераторов в режим недовозбуждения единственным средством борьбы с лавиной повышения напряжения является временное отключение части линий сверхвысокого напряжения (по возможности без разделения системы). В процессе нормализации режима линии вновь включаются в работу.

#### Ликвидация лавинных аварийных процессов

Тяжесть последствий лавинных аварийных процессов вызвала необходимость создания противоаварийного управления, с помощью которого средствами автоматики режим возвращается к нормальному Поток событий, связанному с нарушениями статической устойчивости, противопоставляется система ограничений перетоков, контролирующая режим с обратной связью, корректируя его в темпе процесса. При ручном ограничении или выходе из строя системы управления возможны нарушения устойчивости и возникновение асинхронного режима. Поток событий, связанному с отключением (нарушением устойчивости) сильно загруженной ЛЭП, противостоит система управления, действующая на основе программы, составленной заранее, исходя из признака тяжести доаварийного режима и типа возмущения. Эта система не имеет обратной связи, так как должна обеспечить высокое быстродействие и, следовательно, ей свойственна методическая ненадежность. В большом числе случаев действие системы успешно. Тогда режим после АПВ потребительских линий и восстановления режима электростанций, нарушенного системой управления, возвращается к нормальному.

Однако в некоторых случаях действие системы оказывается неуспешным и возникает асинхронный режим.

Возникший асинхронный режим может оказаться недопустимым, тогда его прекращают или ресинхронизацией, или разделением частей ЭЭС. Успешная ресинхронизация возвращает ЭЭС к нормальному режиму. В случае же разделения в точке доаварийного токораздела, после кратковременной раздельной работы и автоматической синхронизации, режим возвращается к нормальному.

В случае разделения (вынужденно) в сечении сети, через которое в доаварийном режиме протекала значительная мощность, в дефицитной части системы возможно появление лавины частоты, вызывающее продолжение аварии.

Лавине частоты противостоит быстродействующая часть частотной разгрузки (АЧР1), контролирующая уменьшение частоты и удерживающая ее в безопасных пределах путем отключения потребительских линий. После этого в течение некоторого времени (десятков секунд) ЭЭС работает с пониженной частотой. В этом случае работа с пониженной частотой или не вызывает дополнительных осложнений, или происходит возникновение лавины повышения напряжения, устраняющееся временным отключением части линий сверхвысокого напряжения.

Затем вступает в действие дополнительная частотная разгрузка АЧР II, доводящая частоту до нормального значения. После автоматической синхронизации (возможной при приблизительном равенстве частот избыточной и дефицитной частей ЭЭС), а также восстановления электроснабжения потребителей и схемы питающей сети режим становится нормальным.

Аварийным событиям, связанным с лавиной напряжения нагрузочного узла, противодействует разгрузка по признаку снижения напряжения. Последующие меры позволяют осуществить восстановление электроснабжения потребителей.

Составляющие системы управления подразделяют на предупредительную, локализирующую и восстановительную.

В связи с тем, что нагрузка ЭЭС, а также ее схема и генерирующие мощности изменяются, системы противоаварийного управления должны постоянно приводиться в соответствие с реальной потребностью. Для этого ведется работа по проверке эффективности системы управления в меняющихся условиях. Проверка этих систем производится на основе математической модели ЭЭС с помощью ЭВМ.

Ликвидация аварийных ситуаций персоналом производится в случаях, когда автоматическая ликвидация аварии unsuccessful. В ЭЭС и на ее объектах применяются инструкции по ликвидации аварий персоналом.

Для ликвидации локальных аварий инструкции целесообразно дополнять материалом, имеющим характер картограмм. В них указываются наблюдающиеся симптомы аварии и соответствующее им вероятное событие, а также меры, необходимые для ликвидации аварийной ситуации.

В инструкции, предназначенной для устранения аварий в ЭЭС, в основном предусматриваются действия, соответствующие функциям систем противоаварийного управления, но выполняемые вручную. Они необходимы при неполноценности системы противоаварийного управления или при отказах ее существенных элементов.

При дефиците мощности предусматриваются списки аварийных отключений потребительских линий вручную с помощью очередей, учитывающих народнохозяйственную значимость. В случаях дефицита энергии применяется очередность аварийных ограничений потребления, о которых сообщается потребителям.

Один из главных разделов инструкций предусматривает способы восстановления питания собственных нужд электростанций в случаях его нарушения. Для этого заранее разрабатываются схемы подачи напряжения на собственные нужды электростанций от функционирующих участков ЭЭС. Указываются размеры перегрузок оборудования в аварийных условиях.

Исходные режимы энергосистем (ОЭС, ЕЭС) можно осуществлять на достаточной дистанции от предельных. Вероятность нарушений работы при этом минимальна. Однако в трудных ситуациях по специальному разрешению приходится снижать запасы надежности (запас предельно передаваемой мощности по статической устойчивости с 20 до 8%). Вероятность нарушения устойчивости при этом увеличивается.

#### **Тема 4. Эксплуатация элементов электрических систем (4 часа)**

##### Эксплуатация трансформаторов

Эксплуатация трансформаторов связана с необходимостью определения их нагрузочной способности, зависящей от температурного режима, который, с одной стороны, обусловлен нагревом трансформатора, а с другой — условиями его охлаждения.

Отвод теплоты трансформатора обеспечивается системами охлаждения. Применяют несколько типов систем охлаждения, различающихся по сложности. Охлаждающие устройства сложнее у более мощных трансформаторов. Это объясняется тем, что потери мощности в трансформаторах и поверхность охлаждения по-разному зависят от их мощности.

Трансформаторы малой и средней мощности охлаждаются в результате естественной циркуляции масла по приваренным к баку трубам или радиаторам, в которые оно поступает из верхней, наиболее нагретой части бака. Опускаясь вниз по омываемым воздухом трубам, масло попадает в нижнюю часть бака охлажденным. Подобная система охлаждения условно обозначается М. Охлаждения масла естественным омыванием труб воздухом у трансформаторов большой мощности недостаточно. Для повышения его интенсивности приходится прибегать к обдуванию радиаторов воздухом с помощью вентиляторов. Условное обозначение дутьевого охлаждения— Д. У трансформаторов с еще большей мощностью естественная циркуляция масла для их охлаждения недостаточна. В этом случае ее усиливают масляным

насосом: в радиаторах масло охлаждается либо с помощью омывающей их воды (Ц), либо с помощью дутья (ДЦ).

Наиболее нагревающаяся часть трансформатора — обмотка. Теплота от нее передается маслу через конвекцию. Далее теплота передается стенке охлаждающей системы и воздуху или охлаждающей воде. Этот перепад температуры составляет 60—70% от общего перепада.

Вследствие конвекции нагретого масла превышение температуры увеличивается с высотой. При расчете температурного режима трансформатора пользуются линейной диаграммой его зависимости от высоты.

Основой расчета температурного режима трансформаторов служит расчет температуры наиболее нагретой точки обмотки.

Условия охлаждения трансформаторов существенно зависят от температуры охлаждающего воздуха, которую можно принять средней для интервалов, в пределах которых ее изменение не превышает 12°C. Отрицательные температуры охлаждающего воздуха представляются эквивалентными величинами.

При известных перегревах обмотки и масла легко определить температуру наиболее нагретой точки обмотки. Систематически допустимые нагрузки трансформаторов ограничиваются графиком нагрузки, при которой износ изоляции номинален.

Помимо расчета максимально допустимых систематических нагрузок трансформаторов можно определить и допустимые аварийные перегрузки. При этом износ витковой изоляции может превышать номинальное значение в случае, когда ограничения не нарушаются. Повышенный износ изоляции, возникающий во время аварийной перегрузки, можно скомпенсировать в другое время.

Допустимые аварийные перегрузки можно определить на основании таблиц, в которых приводятся данные расчетов теплового режима.

В процессе эксплуатации трансформаторов необходимо знать степень износа изоляции, определяющую отношение фактического износа к нормативному (равен примерно 25 годам). Фактический износ трансформаторов практически неизвестен. Это объясняется тем, что трансформаторы не снабжены удобными в эксплуатации устройствами, контролирующими загрузку. Кроме того, большинство трансформаторов эксплуатируются на объектах, не имеющих постоянного дежурного персонала, поэтому представления об их нагрузке недостоверны. Из-за отсутствия обоснованного представления об износе изоляции персонал стремится завышать мощность трансформаторов. Это приводит к тому, что большинство трансформаторов имеют неоправданно низкую нагрузку, редко превышающую 0,3—0,6 от номинала. В результате трансформаторный парк используется плохо, а капиталовложения — неэффективно.

Нагрузочный и температурный режимы мощных трансформаторов в настоящее время контролируется с помощью сигнализации перегрузки. Трансформаторы меньшей мощности оснащаются термометром, помещенным в специальное гнездо бака и контролирующим температуру верхних слоев масла.

Уставки защиты от перегрузки выбираются исходя из самых неблагоприятных условий температурных режимов, и не учитывают предшествующих нагрузок и условий охлаждения, зависящих от наружной температуры.

При контроле температуры верхних слоев масла, хотя и учитывается предшествующая нагрузка и условия охлаждения, однако нет возможности достоверно судить о главном факторе — температуре наиболее нагретой точки обмотки.

В случаях эксплуатации трансформаторов при наличии постоянного дежурного персонала, осуществляется визуальный контроль за нагрузочным и температурным режимом. Однако большинство трансформаторов эксплуатируются в установках без постоянного надзора. В этих условиях

отсутствует и визуальный контроль. Поэтому очень важен аппаратурный контроль температурного режима трансформаторов.

Мощные трансформаторы и автотрансформаторы связи целесообразно оснащать счетчиками использования ресурса. для трансформаторов меньшей мощности, питающих потребительские участки электрической сети, на сетевых предприятиях целесообразно иметь переносные счетчики для периодического сезонного контроля.

При эксплуатации трансформаторов и автотрансформаторов в магнитопроводах возникает магнитное поле, создаваемое совокупностью намагничивающих сил (н. с.) всех обмоток. Отношение магнитного потока, к номинальному значению характеризует возбуждение. В нормальном режиме магнитная проницаемость магнитопровода, хотя и изменяется существенно, однако на три-четыре порядка выше магнитной проницаемости масла. Поэтому ее изменение практически не приводит к заметной деформации поля вне магнитопровода.

Сущность перевозбуждения. Рост возбуждения, сопровождающийся увеличением индукции в области насыщения сердечника, вызывает значительно большее относительное изменение напряженности магнитного поля. В результате в области насыщения магнитопровода магнитная проницаемость железа существенно снижается. В связи с тем, что магнитное сопротивление обратно пропорционально магнитной проницаемости, оно может стать соизмеримым с магнитным сопротивлением трансформаторного масла, что увеличивает магнитный поток рассеяния. Это может привести к значительному росту добавочных потерь и быстрому (несколько минут) нагреванию до недопустимой температуры стальных деталей конструкции трансформатора. Недопустимый нагрев вызывает повреждение изоляции, прилегающей к нагретым элементам конструкции. Исследования показали, что недопустимый нагрев конструктивных деталей за счет вихревых токов может возникнуть при условии, что индукция превышает 1,8 — 1,9 Тл.

Магнитный поток, обусловленный нагрузочным режимом, зависит от того, направлен ли поток реактивной мощности от внутренней обмотки в наружную или, наоборот, — от наружной в сторону внутренней. Если мощность направлена от наружной обмотки к внутренней, то в ярме суммируются однонаправленные магнитные потоки, обусловленные обмотками стержня и других фаз. Максимальная индукция в этом случае наблюдается в ярме. При обратной направленности потока магнитные потоки суммируются в стержне, а ярмо магнитопровода разгружено.

Если обмотки выполнены в виде одного концентрического цилиндра, то величина, эквивалентная магнитному потоку, пропорциональна напряжению на выводах обмотки. Потоки рассеяния, создаваемые обмотками, прилегающими к стержню магнитопровода, невелики и ими можно пренебречь. Основные потоки рассеяния создаются обмотками, не прилегающими к стержню

Трансформаторы центров питания распределительных сетей и трансформаторы (автотрансформаторы) связи имеют устройство переключения ответвлений под нагрузкой.

Приемлемые для потребителей отклонения напряжения в распределительных сетях можно обеспечить регулированием коэффициентов трансформации под нагрузкой (РПН). На трансформаторах связи РПН позволяет поддерживать напряжение в питающих электрических сетях в пределах регулирующих диапазонов трансформаторов ЦП, а также, обеспечивая определенную независимость уровней напряжения в питающих и распределительных сетях, проводить оптимизацию режима напряжения в ЭЭС. Для получения необходимого эффекта устройства РПН должны использоваться достаточно интенсивно. К сожалению, нормальному использованию РПН часто препятствует сложившееся представление о том, что они недостаточно надежны.



Опыт интенсивного использования РПН трансформаторов и автотрансформаторов, обеспеченный умелой эксплуатацией, показал, что их надежность при этом не только не снижается, но даже повышается.

Элементы РПН. Регулировочную обмотку можно включить в нейтраль трансформатора. В этом случае напряжение секций относительно земли невелико и механизм РПН выполняется на небольшое напряжение (обычно 35 кВ), следовательно, он дешевле и проще. Регулировочную обмотку можно включать последовательно с основной обмоткой не изменяя полярность, однако с помощью специальных контактов можно изменять ее полярность. Переключатель при этом снабжен элементом, называемым «вилкой с реверсом». Число секций обмотки в этом случае уменьшаем вдвое. Используется также регулировочная обмотка с «грубой ступенью». В этом случае сначала вводятся обычные секции регулировочной обмотки. После установления равенства введенного напряжения этим секциям напряжению грубой ступени, она вводится или выводится из регулировочной обмотки. В дальнейшем эти секции вводятся, начиная вновь с первой. Подобная схема регулировочной обмотки позволяет уменьшить число секций.

Наибольшее распространение в настоящее время получили три типа РПН, а именно: РНТ-9, РС-3 и ЗРНО-А. Все упомянутые РПН состоят из двух основных частей: избирателя ответвлений и контакторов.

### Эксплуатация выключателей

Выключатели служат для включения и отключения элементов сети, а также и главным образом отключения токов КЗ. Отключающая способность выключателей определяется конструктивными особенностями и условиями эксплуатации. Ресурс выключателей ограничен. Отключение тока КЗ сопровождается дуговыми процессами на контактах и в гасительной камере, приводящими к оплавлениям контактов и возможным повреждениям элемент гасительных камер.

Выключатель и его привод представляют собой сложный механизм, элементы которого должны работать в определенном взаимодействии. Время

отключения выключателя не должно превышать определенной величины. Все это достигается в процессе наладки систем выключателя и его привода.

Естественно, что столь тяжелый режим, как отключение тока КЗ вызывает определенную разрегулировку выключателя. Отключение тока КЗ приводит к расходованию определенного ресурса выключателя. После того, как израсходован весь ресурс, выключатель необходимо вывести в ремонт для проведения ревизии его состояния, восстановления отключающей способности и наладки привода.

Ревизия выключателя и его ремонт часто связаны с необходимостью отключения присоединения, что прерывает электроснабжение потребителей или существенно снижает надежность участка электрической сети. Одновременно требуются значительные затраты труда и транспортные издержки.

Рациональная эксплуатация выключателей позволяет более чем вдвое уменьшить издержки на поддержание их работоспособности. Понимание условий работы выключателей связано с правильной оценкой процессов, происходящих в электрической сети при отключении токов КЗ, сопровождающемся переходными процессами со стороны, как источника питания, так и отключенного присоединения.

В стандартных дугогасительных камерах применяются две группы комбинаций контактов, включаемых последовательно. Для равномерного распределения напряжения между контактами выключателя параллельно им включается емкостный делитель напряжения.

Километрический эффект. Тяжесть отключения удаленного КЗ определяется степенью ионизации дугового промежутка, обусловленного током КЗ; амплитудой восстанавливающегося напряжения и скоростью его восстановления (частотой переходного колебательного процесса).

Степень износа элементов выключателя зависит от особенностей его конструкции, выявленных в процессе эксплуатации, а также числа отключений и величины отключаемого тока КЗ.

Эксплуатационные исследования позволили установить допустимое число отключений между ревизиями для различных значений токов КЗ. При отключении предельного тока КЗ число отключений невелико.

Для токов КЗ построены кривые, указывающие зависимость использованного ресурса в процентах от значения отключаемого тока КЗ.

Значения токов КЗ, отключенных выключателями, можно определить на основе: оценки действия релейной защиты; расшифровки осциллограмм; показаний фиксирующих приборов, используемых в месте КЗ; показаний значения отключаемого выключателем тока КЗ, фиксируемого специальным устройством.

### *Тема 5. Эксплуатация распределительных сетей (4 часа)*

#### Нормальные разрезы сети

Современные распределительные сети охватывают всю обслуживаемую территорию линиями электропередачи, питающимися от различных подстанций — центров питания. Схемы распределительной сети выбираются исходя из условий электроснабжения потребителей, токов КЗ, релейной защиты, качества электроэнергии и ее расхода на передачу. Распределительные сети работают обычно в режиме одностороннего питания. В определенных точках распределительной сети коммутационные аппараты разомкнуты.

В месте нормального разреза часто используют выключатель мощности, оснащенный устройством автоматического ввода резерва (АВР), питающийся переменным оперативным током от силовых трансформаторов или трансформаторов напряжения с обеих сторон отключенной цепи. Подобные отключенные выключатели могут обеспечивать резервирование от одного или двух независимых источников при условии, что устойчивое повреждение на начальном участке ЛЭП отключается другим секционирующим аппаратом,

отключающим КЗ после включения выключателя или отключающим поврежденный участок в бестоковую паузу.

Выбор места нормальных разрезов производится на основе учета максимальной надежности электроснабжения, минимального расхода электроэнергии на передачу и минимальных средневзвешенных отклонений напряжения у электроприемников.

Нормальному разрезу в точке токораздела соответствуют минимальные расходы энергии на передачу и минимальные средневзвешенные отклонения напряжения у потребителей.

Однако нагрузки, питающиеся от распределительной сети, имеют разную народнохозяйственную значимость. Так, например, прекращение питания бытовой нагрузки создает серьезные неудобства населению, а нарушение питания молочно-товарной фермы приводит к более серьезным последствиям. Различная народнохозяйственная значимость нагрузок учитывается весовыми коэффициентами. Так, например, нагрузка, которая в народнохозяйственном отношении важнее бытовой в пять раз, учитывается в сочетании с весовым коэффициентом как пятикратная.

Если место нормального разреза не определяется условиями надежности, то его выбирают по условиям снижения расхода энергии на передачу. В этом случае необходимо учесть неравномерное распределение нагрузки вдоль ЛЭП, неоднородность нагрузки, а также дискретность мест выбора нормальных разрезов, обусловленную наличием коммутационных аппаратов.

Расчет выбора места нормальных разрезов можно производить как детерминированным, так и вероятностным методами.

При детерминированном методе для последовательно выбираемых вероятностных точек разрезов на ЭВМ рассчитываются суточные режимы электрической сети. Лучшей признается точка, которой соответствует минимальный расход энергии на передачу.

При вероятностном методе производится один расчет для каждой точки разреза нагрузок, выражаемых через математические ожидания, дисперсии и

корреляционные взаимосвязи. Лучшей является точка разреза, которой соответствует минимальное математическое ожидание расхода энергии на передачу.

Резервными источниками электроснабжения участков распределительной сети являются, как правило, соседние участки сетей, расположенные по другую сторону от нормальных разрезов и питающиеся от другой секции шин данного ЦП (через переключки между ЛЭП) или от соседних ЦП. Наряду с этим потребители, обесточение которых может привести к длительным нежелательным последствиям, должны иметь резервные местные источники энергии с мощностью, достаточной для питания наиболее ответственной части электроприемников. Эти источники, как правило, покрывают небольшую часть общего потребления. Например, для резервирования электроснабжения наиболее ответственной части электроприемников на молочно-товарных фермах, можно использовать небольшие дизельные или бензиновые электростанции, номинальная нагрузка которых при неавтоматическом пуске из холодного состояния достигается за 30 мин. Применяются и более мобильные агрегаты, например, ДГМ-20 мощностью 20 кВт, запускающиеся за 20 с.

### Секционирование сети

Секционирование электрической сети заключается в делении ЛЭП с помощью коммутационных аппаратов на несколько участков. Секционирование бывает неавтоматическое и автоматическое.

К неавтоматическому секционированию относится деление сети с помощью разъединителей и выключателей нагрузки, не имеющих устройств для автоматического отключения. Разъединители устанавливаются вдоль линии на определенных расстояниях друг от друга и служат для ее секционирования в процессе поиска повреждения методом пробных включений.

Автоматическое секционирование выполняется коммутационными аппаратами, оборудованными приводами и устройствами автоматики, а в ряде

случаев и релейной защитой, действующими на изменение положения аппаратов под напряжением или в бестоковую паузу.

Аппараты, предназначенные для автоматического срабатывания, делят ЛЭП на части. При возникновении повреждения на участке между местом установки и нормальным разрезом такие аппараты обеспечивают отключение не всей ЛЭП, а лишь поврежденного участка, сохраняя питание потребителей на начальном участке.

В качестве секционирующих автоматических аппаратов обычно используются выключатели, оснащенные защитой и устройством автоматического повторного включения (АПВ). Допустимо также применение оснащенных защитой выключателей нагрузки, отключающихся в бестоковую паузу. Их можно использовать и в качестве коммутационных аппаратов на ответвлениях для локализации повреждений без отключения магистральной ЛЭП.

Трансформаторы тока, необходимые для осуществления защиты, могут выполняться упрощенными с разомкнутыми сердечниками и устанавливаются на штыревых изоляторах. Первичная обмотка размещена на шейке изолятора, а вторичная—на штыре.

Недостатком выключателей нагрузки при применении в качестве секционирующих аппаратов является то, что для операций пробных включений в процессе поиска повреждения ими можно воспользоваться лишь как разъединителями.

В процессе поиска повреждений методом пробных включений приходится сочетать оперирование выключателями на головных участках ЛЭП с действиями выездной аварийной бригады, оперирующей секционирующими разъединителями вдоль ЛЭП. Из-за отсутствия постоянного обслуживающего персонала в ЦП и тем более в месте установки секционирующего выключателя для поиска повреждений приходится высылать две бригады: к секционирующему выключателю и на ЛЭП. Зачастую это невозможно. Поэтому необходимо к оперированию выключателями привлекать местный

персонал, хотя бы и другого ведомства, оснатив его необходимыми средствами связи и применяя соответствующие организационные формы. Радикальным выходом из положения является оснащение всех секционирующих выключателей телемеханикой, обеспечивающей как телесигнализацию, так и телеуправление. Правда, и связи с тем, что отключение выключателя в этом случае не содержит элемента визуального подтверждения выполнения операции, нужно проверять отсутствие напряжения с помощью индикаторов.

### Управление режимом напряжения сети

Управление режимом напряжения распределительной сети заключается в контроле за режимом и внесении коррективов, учитывающих изменяющиеся условия. При этом необходимо исходить из определенных соображений, относящихся к оптимизации режима.

Оптимизация режима по признаку отклонений напряжения. Влияние отклонений напряжения на эффективность использования электроэнергии характеризуется параметрами ущерба. При управлении режимом ущерб можно учесть, если имеются сведения о нем.

Отклонения напряжения у электроприемников, которые питаются от распределительной сети, имеющей средство регулирования напряжения только на трансформаторах ЦП, взаимосвязаны. Если ответвления ПБВ распределительных трансформаторов выбраны, то в дальнейшем отклонения напряжения у электроприемников можно изменять только совместно.

Для точной оптимизации режима распределительной сети по отклонению напряжения необходима полная информация о режимах многочисленных сетей НН, получить которую нереально. В используемых моделях сети НН представлены выводами РТ, напряжение на которых характеризует режим этих сетей в обобщенном виде. Поэтому вышеизложенные соображения оптимизации можно использовать только как тенденцию, ориентированную на

минимизацию средневзвешенного отклонения напряжения у электроприемников, которое в определенной мере влияет также и на потребляемую ими мощность.

При возникновении потребности в снижении нагрузки, иногда проявляется тенденция к уменьшению напряжения в распределительных сетях. Снижение потребляемой мощности влияет на технологические процессы и эффективность использования электроэнергии в быту. Систематические значительные уменьшения напряжения приводят к тому, что потребители начинают применять меры, компенсирующие их отрицательное влияние: увеличивают мощность электроприемников, переставляют ответвления своих трансформаторов, устанавливают местные средства регулирования напряжения. Это объясняется тем, например, что снижение светового потока ламп накаливания на 20%, сопровождающее уменьшение напряжения на 5%, достаточно ощутимо.

Приспособительная реакция потребителей проявляется с опозданием, но зато действует даже в условиях, когда режим сети нормализуется. Поэтому в периоды, когда напряжение поддерживается нормальным, потребляемая мощность превышает необходимую. Частое использование значительного уменьшения напряжения в целях снижения нагрузки, приводит к отрицательному результату. Подобное преднамеренное вмешательство в режим распределительных сетей вызывает их расстройку, трудно поддающуюся последующему упорядочению.

Для влияния на потребление следует ориентироваться на манипулирование напряжением в рамках допустимых его отклонений. Для этого в ряде случаев даже устанавливают местные средства регулирования напряжения. Например, в некоторых энергокомпаниях США и Японии ранее использовалось много местных средств регулирования напряжения (линейных регуляторов и регулируемых конденсаторных батарей) для поддержания у электроприемников предельно высоких отклонений напряжения в целях получения дополнительной прибыли от оплаты за повышенное



электропотребление. Во время энергетического кризиса эти же средства применялись для поддержания минимально допустимого напряжения с целью снижения электропотребления

При отсутствии местных средств регулирования напряжения полной информации об отклонениях напряжения у потребителей манипулирование напряжением для воздействия на потребление допустимо лишь в аварийных режимах в качестве средства ограничения потребления. В нормальных режимах энергоснабжающие предприятия должны ориентироваться на подведение к электроприемникам номинального напряжения.

Показателем экономичности режима распределительных сетей являются также потери мощности в них.

Эти потери можно существенно снизить правильным выбором ответвлений ПБВ РТ, позволяющих повысить напряжение в сети ВН, не изменяя его в сети НН. Изменение напряжения на шинах ЦП без перестановки ответвлений ПБВ практически не влияет на потери в сети ВН, так как компенсируется влиянием статических характеристик нагрузки.

Оптимизация режима БК производится с помощью оптимизационных программ и математической модели сети на ЭВМ.

В режиме максимальных нагрузок целесообразна полная компенсация реактивной мощности. В режиме же минимальных нагрузок часто целесообразно отключение значительного числа секций БК и обеспечение части реактивной мощности, потребляемой электроприемниками от сети ЭС. Следовательно, параметр для управления режимом БК должен подбираться сетевым предприятием на основе оптимизационного анализа работы ЭС. Задание для управления режимом БК и структура устройств управления должны контролироваться сетевым предприятием. Предприятия, имеющие регулируемые БК, должны поддерживать их в работоспособном состоянии. Для этого необходимо стимулировать персонал. Если персонал предприятий не стимулируется, то он оказывается заинтересованным в хранении БК на складе или поддержании их в отключенном состоянии.

### Несимметрия параметров сети

В трехфазной распределительной электрической сети режим нейтрали обусловлен проводимостями относительно точки отсчета, в качестве которой можно принять землю. Емкости между фазами создают дополнительные токи в них, не сказываясь на потенциалах сети относительно земли. Сумма токов, протекающих в землю, в соответствии с первым законом Кирхгофа равна нулю. В общем случае потенциал нулевой точки отличается от потенциала земли. Разность этих потенциалов характеризует напряжение нейтрали и нейтраль трехфазной сети симметрична относительно земли, следовательно, имеет потенциал земли.

### Компенсированная нейтраль

Для облегчения аварийного режима электрической сети с незаземленной нейтралью используется однофазный дроссель с регулируемым индуктивным сопротивлением, включаемый между нейтралью и землей и называемый дугогасящей катушкой.

Дугогасящая катушка для токов нулевой последовательности образует контур, состоящий из последовательно соединенной индуктивности и суммарной емкости фаз относительно земли. В связи с тем, что индуктивные и емкостные проводимости взаимно компенсируются, эквивалентная реактивная проводимость может приближаться к нулю, а цепь тогда ведет себя как активное сопротивление. Таким образом, индуктивность дугогасящей катушки в сочетании с емкостью сети образует цепь, выполняющую роль последовательного резонансного контура. Контур обладает активными сопротивлениями, состоящими из величины, обратной активной проводимости изоляции фаз, и активных потерь в дугогасящей катушке и трансформаторе.

### Напряжение смещения компенсированной нейтрали

Для выяснения признаков, по которым можно судить о режиме компенсации нейтрали, существенных при эксплуатации, необходимо выявить

взаимосвязи между параметрами, пригодные в дальнейшем для управления режимом.

Для снижения смещения нейтрали применяют расстройку дугогасящей катушки, имеющую следующие недостатки:

- рост перенапряжений при перемежающихся замыканиях на землю;
- увеличение доли устойчивых замыканий на землю и числа замыканий, переходящих в междуфазные, уменьшение ресурса выключателей;
- повышение вероятности повреждения конструкций ЛЭП и опасности для людей и животных из-за шагового напряжения и напряжения прикосновения.

Максимально допустимое смещение нейтрали ограничивается для того, чтобы установившееся напряжение на фазах в аварийных условиях практически не превышало линейного.

Предельными напряжениями смещения нейтрали можно считать следующие напряжения:

- длительное время — не более 15% от фазного напряжения;
- в течение часа — не более 30%;
- при авариях в течение времени замыкания на землю— 100%.

При обрыве или отключении фазы сети напряжение несимметрии может возрасти. В компенсированных сетях это сопровождается существенным увеличением напряжения смещения нейтрали, следовательно, приводит к повышению напряжения на фазах до значений, превышающих линейное. Обрыв или отключение фазы ЛЭП сопровождается снижением емкостной проводимости сети. Это нужно учитывать при выборе ответвлений нерегулируемых дугогасящих катушек, у которых ток компенсации выбирается с помощью установки ответвлений. В этом случае целесообразно решить вопрос о предпочтении применения режима недокомпенсации или режима перекомпенсации. При недокомпенсации уменьшение емкости фазы может приблизить режим к резонансу. Поэтому целесообразней использовать небольшую перекомпенсацию.

Расстройка компенсации достигается воздействием на индуктивность регулируемой дугогасящей катушки, что несколько снижает эффективность ее действия.

### Управление компенсацией нейтрали в нормальном режиме

Нерегулируемые дугогасящие катушки имеют ряд ответвлений, соответствующих различным емкостным токам сети; установка ответвлений производится с отключением катушки от сети. Наряду с этим применяются катушки, индуктивность которых регулируется автоматически в процессе работы.

Применяют два типа управляемых дугогасящих катушек.

Плунжерные дугогасящие катушки имеют сердечник, часть которого передвигается с помощью привода, что изменяет величину воздушного зазора сердечника. Индуктивность катушки увеличивается при уменьшении воздушного зазора. Привод содержит двигатель с червячным редуктором, управляемый устройством автоматического управления.

У катушек с подмагничиванием индуктивность регулируется подмагничиванием сердечника постоянным током. Индуктивность катушки снижается при росте тока подмагничивания, для чего используется специальная обмотка подмагничивания. В качестве блока питания применяется источник переменного тока, выпрямляемого с помощью тиристорov. Управление тиристорами производится устройствами автоматического управления

Кроме того, дугогасящие катушки имеют дополнительные измерительные обмотки, с помощью которых можно непосредственно измерять напряжение смещения нейтрали и индуктивность катушки. Для измерения можно использовать специальные ответвления основной обмотки.

Существуют следующие режимы дугогасящей катушки:

- нормальный режим (замыкание на землю в сети отсутствует);
- режим установившегося замыкания на землю через переходное сопротивление;

—режим неустойчивого замыкания на землю через периодически гаснущую (перемежающуюся) дугу.

Для того, чтобы компенсация происходила при возникновении замыкания на землю, необходимо соответствие индуктивности катушки емкости сети. Следовательно, индуктивность дугогасящей катушки должна регулироваться автоматически и непрерывно в нормальном режиме. В этом случае возникновение замыкания фазы на землю происходит при резонансной настройке. Установившийся ток замыкания на землю минимален, следовательно, обеспечиваются наилучшие условия гашения дуги и наименьшие разрушения изоляции в месте замыкания. Однако замыкание на землю может длиться в течение некоторого времени, необходимого для поиска повреждения, переключения потребителей на другие источники питания и отключения поврежденного участка. Поиск повреждения в ряде случаев связан с необходимостью переключений в электрической сети, нарушающих режим резонансной настройки. Поэтому целесообразно автоматически настраивать дугогасящую катушку не только в нормальном режиме, но и при замыкании на землю как в режиме установившегося, так и перемежающегося замыканий.

Методы управления компенсацией в нормальном режиме:

- поддержание заданного угла между напряжением смещения нейтрали и одним из линейных напряжений;
- поддержание максимального напряжения смещения нейтрали;
- непосредственное сопоставление измеряемых емкостей сети и индуктивности катушки.

Для применения резонансной настройки с помощью поддержания фазы напряжения смещения нейтрали необходимо стабилизировать фазу напряжения несимметрии сети. Это достигается:

- обеспечением различия емкостей одной и той же фазы всех ЛЭП;
- подключением к одной из фаз сети конденсатора;
- подключением катушки к нейтрали трансформатора, у которого число витков одной фазы обмотки отлично от числа витков других фаз;

—подачей на контур сети напряжения через специальную обмотку дугогасящей катушки, отключаемого при замыкании на землю.

При использовании конденсатора его емкость может быть равна 2% от емкости сети. В режиме замыкания этот конденсатор увеличивает ток замыкания на землю.

Наличие искусственной несимметрии, превышающей случайные изменения естественной несимметрии, стабилизирует фазу результирующей несимметрией и позволяет выявлять резонансную настройку по фазе напряжения смещения нейтрали относительно фазных или линейных напряжений.

#### Режим замыкания фазы на землю

Замыкание на землю компенсированной сети сопровождается переходным процессом, состоящим из двух этапов:

- 1) разряда емкости поврежденной фазы и заряда емкостей неповрежденных фаз при одинаково направленных токах в месте замыкания;
- 2) установления индуктивного тока компенсации, протекающего через место повреждения.

Напряжение смещения нейтрали  $U_0$  при эксплуатации определяется вольтметром, подключаемым к разомкнутому треугольнику трансформатора напряжения шин подстанции. Контрольные измерения возможны также в дугогасящих катушках, для чего в них предусматривается токовая обмотка (к ней подключается амперметр для измерения тока компенсации), и обмотка напряжения (к ней подключается вольтметр).

Появление замыкания на землю фиксируется при помощи реле тока или напряжения, приводящих в действие сигнализацию и указывающих на недопустимость вывода из работы дугогасящих устройств. Одновременно

можно вводить в работу приборы, регистрирующие процесс замыкания на землю.

Для поддержания резонансной настройки дугогасящей катушки целесообразно продолжать управление ею также при возникновении замыкания на землю в сети. При этом различают установившееся замыкание и замыкание через периодически гаснущую (перемежающуюся) электрическую дугу.

Управление дугогасящей катушкой при установившемся замыкании на землю заключается в поддержании угла между напряжениями  $U_0$  и  $U_\phi$ , равным  $180^\circ$  (с точностью зоны нечувствительности). Для определения такого угла нужно выбрать напряжение замкнувшейся фазы. Для этого измерительный орган снабжается избирателем замкнувшейся на землю фазы, с помощью которого соответствующее напряжение подводится к измерительному органу. Ток замыкания на землю в установившемся режиме содержит емкостный ток основной частоты и высшие гармоники. Их наличие обусловлено присутствием нелинейных элементов (железных сердечников трансформаторов в режиме насыщения, выпрямителей и преобразователей). Кроме того, при значительном напряжении смещения нейтрали проявляется нелинейность характеристики самой дугогасящей катушки. Схема замещения для высших гармоник такова, что емкостные проводимости увеличиваются с ростом номера гармоник. Поэтому в емкостном токе замыкания на землю имеется значительная часть тока, обусловленная гармониками. Если учесть, что дугогасящая катушка компенсирует лишь емкостный ток промышленной частоты, то при резонансной настройке через место замыкания протекает его активная составляющая и токи высших гармоник.

Измерительный орган подключается к трансформаторам напряжения через фильтр низшей частоты.

Характер замыкания через перемежающуюся дугу зависит от степени компенсации. В начальной стадии замыкания после погасания дуги повторные пробои происходят через 3—5 периодов, при расстройке— через 4—6

периодов, а вблизи резонансной настройки — через 10—13 периодов. В этом случае условия, создающиеся для погасания дуги, наилучшие.

Перебегающая дуга вызывает в контуре нулевой последовательности, образованном индуктивностью и емкостью, свободные колебания, частота которых зависит от степени расстройки. Следовательно, появление частоты, отличающейся от промышленной, свидетельствует о расстройке.

Управление дугогасящей катушкой в режиме перебегающего замыкания на землю может производиться блоком дугового режима, на входе которого имеется частотный детектор из двух резонансных контуров, настроенных на частоты, равные 40 и 60 Гц. При управлении частота доводится до промышленной, при которой выходной сигнал детектора равен нулю. Отклонение частоты от промышленной (в ту или иную сторону) вызывает появление напряжения на измерительном органе. Это напряжение отличается знаком и приводит к управляющему воздействию, направленному на устранение отклонения частоты свободных колебаний от промышленной частоты. Частота свободных колебаний фиксируется во время горения дуги и при ее погасании с помощью реле с задержкой на возврат (соответствующего блока электроники) запоминается на время, превышающее промежуток между горением дуги.

## *Тема 6. Эксплуатация распределительных устройств (4 часа)*

### Типы распределительных устройств

В зависимости от назначения, места в ЭЭС и конкретных условий РУ могут быть различного исполнения, каждое из которых имеет определенные преимущества и недостатки, обязательно учитываемые при эксплуатации.

Распределительные устройства с одной системой шин экономичны. Они имеют один выключатель на цепь, блокировка разъединителей осуществляется



очень просто. При наличии обходной системы шин ремонт выключателя производится без вывода в ремонт присоединения. Для снижения вероятности обесточения всего РУ при повреждениях или отказе выключателя применяется секционирование.

Однако подобная система имеет следующие недостатки:

- необходимость отключения шин или их секций при ремонтах;
- короткие замыкания в зоне шин, отказы линейных и секционных выключателей, а также ремонт в сочетании с отказом выключателей, приводящие к обесточению секций или всей системы шин.

При применении подобного РУ на электростанциях возможности подключения генерирующих источников к одной секции ограничены, а резервные трансформаторы собственных нужд должны предусматриваться на каждой из них.

Распределительные устройства с двумя системами шин позволяют осуществить группировку присоединений так, чтобы на каждой из систем шин сочетались генерирующие и потребляющие (сетевые) присоединения. Такое распределение при необходимости позволяет работать в режиме, ограничивающем токи КЗ. При использовании обходной системы шин можно выводить в ремонт выключатели без отключения присоединений. При большом числе присоединений системы шин секционируются.

Распределение присоединений между системами шин производится разъединителями, выполняющими в этом случае оперативные функции.

Недостатки подобного РУ:

- большое число операций разъединителями при ремонтах;
- усложненная блокировка разъединителей;
- существенное снижение надежности РУ при ремонте одной системы шин;
- при отказе или повреждении шиносоединительного выключателя погасает все РУ, при отказе секционного выключателя — секции одной из

системы шин, а при отказе линейного выключателя — секция или одна система шин;

—на электростанциях резервные трансформаторы собственных нужд должны предусматриваться от каждой секции системы шин.

Эти недостатки привели к использованию РУ, имеющих схем; виде многоугольников. Стороны многоугольников образуются выключателями, а к вершинам подводятся присоединения, число которых равно числу вершин. Число выключателей в многоугольниках равно числу присоединений. Ремонт выключателей производится без отключения присоединений. Повреждения на присоединениях отключаются двумя выключателями. Разъединители в многоугольниках не оперативные, поэтому их блокировка сравнительно проста. Особенности подобного РУ:

—при КЗ в области шин отключается одно присоединение;

—вывод в ремонт одного из выключателей многоугольника приводит схему в состояние, равноценное одной системе шин с числом секций, равным числу присоединений;

—отключение выключателя в разомкнутом многоугольнике приводит к его разделению, а в случаях, когда на отдельном участке оказывается нагрузочное присоединение — к его обесточению;

—отказ выключателя при разомкнутом многоугольнике вызывает потерю двух или трех присоединений с разделением.

При отделении разнородных присоединений (генерирующего и потребляющего) они выделяются на отдельную или параллельную работу через сеть и смежные объекты ЭС.

Наиболее простым многоугольником является треугольник. Отказ выключателя в нем полностью обесточивает РУ.

Более совершенной конфигурацией является четырехугольник, в котором отказ или повреждение выключателя в разомкнутом режиме приводит к отключению двух присоединений.

Самым сложным является шестиугольник. Для числа присоединений, большего шести, многоугольники не используются.

Для устранения некоторых недостатков применяются связанные многоугольники с выключателями в перемычках. Число выключателей на два больше, чем число присоединений. В этой схеме одна часть присоединений отключается двумя выключателями, а другая — тремя. Схема имеет следующие особенности:

- повреждения в области шин приводят к отключению одного присоединения;

- при отключении выключателя, совпадающем с ремонтом другого выключателя, отключение присоединений менее вероятно, чем в схемах простых многоугольников, так как на участках коммутации тремя выключателями отключений дополнительных присоединений не возникает;

- ремонт выключателя в перемычке и отключение второй перемычки приводят к разделению тырехугольников.

По числу выключателей лучшими являются схема  $3/2$  (полупорная — три выключателя на два присоединения) и схема  $4/3$  (четыре выключателя на три присоединения).

При большом числе присоединений шины секционируются, что связано с установкой дополнительных выключателей. Номинальные токи выключателей должны соответствовать худшему случаю. Например, при ремонте выключателя у шин через крайний выключатель цепочки может протекать суммарный ток присоединений.

На начальном этапе развития РУ, когда число присоединений невелико (меньше шести), можно воспользоваться схемой трансформатор— шины. В этой схеме линии коммутируются двумя, а трансформаторы — тремя-четырьмя выключателями (по числу цепей). Ремонт выключателей не связан с отключением линий, в то время как ремонт шин требует отключения трансформатора.

### Программирование оперативных переключений

Оперативный персонал в сочетании с техническими устройствами образует систему, надежность которой зависит не только от надежности последних, но и от того, каковы требования к их взаимодействию. Сравним две системы, предназначенные для выполнения одной и той же стереотипной задачи. Структура первой такова, что персонал, работая в ней, должен обладать прекрасной памятью и высокой квалификацией. Структура же второй системы требует от персонала лишь аккуратности. Высокая квалификация и хорошая память персонала встречаются редко. Поэтому вторая система более надежна, что не снижает актуальности всемерного повышения квалификации работников.

Оперативные переключения чрезвычайно разнообразны, каждое из них производится редко. На достигнутом уровне развития техники их автоматизация нерациональна. Поэтому надежность оперативных переключений зависит от персонала, который должен выполнять все действия с аппаратами первичной и вторичной коммутаций в строго определенной последовательности. Число этих операций в сложных РУ велико. Например, для замещения выключателя ВЛ обходным выключателем в РУ 330 кВ с двумя системами шин и обходной системой необходимо в определенной последовательности выполнить 111 операций. Вероятность накопления ошибок в положении аппаратов вторичной коммутации в этих условиях велика. Поэтому необходимо исключить возможность накопления ошибочных положений аппаратов вторичной коммутации на объектах. Для этого применяются так называемые карты накладок, выполненные в виде типографских бланков на тонком картоне, пригодном для многократного пользования. Карта составляется для определенного режима каждого присоединения сложного РУ, например для фиксированного и других возможных положений. На карте размещены таблички, соответствующие каждой панели, на которых расположены накладки и переключатели, относящиеся к данному присоединению. В табличке указываются

наименования аппаратов и их положение, соответствующее режиму присоединения. Положение аппаратов в табличке может изображаться и в визуальной форме.

При наличии подобных карт дежурный персонал имеет возможность в любой момент проверить правильность положения всех аппаратов вторичной коммутации и исправить допущенные ошибочные положения. Главное же заключается в том, что эта проверка представляет собой операцию, с которой начинается любое сложное оперативное переключение.

Для проведения сложных операций предварительно составляется бланк переключений, затем выполняются операции по перечню, указанному в бланке. Однако составление бланка переключений, содержащего более 10—20 операций, требует досконального запоминания оперативным персоналом сложных инструкций. Ориентация на столь высокую квалификацию и отличную память приводит к ненадежности системы персонал — технические устройства.

Оперативные переключения относятся к стереотипной задаче и творчество тут не нужно. Поэтому необходимо снять с персонала напряженность, связанную с боязнью совершить ошибку при оперативных переключениях. В этих целях используются заранее составленные программы для всех достаточно сложных операций. Эти программы согласовывает (или составляет) работник, ответственный за эксплуатацию релейной защиты (РЗ) и автоматики объекта, участвующий впоследствии в их поддержании в рабочем состоянии и вносящий дополнения, вызванные изменениями схемы и оборудования объекта.

Имеется опыт использования двух видов программ оперативных переключений. Первый вид — в программе дается текст, раскрывающий смысл каждой операции, помещается номер панели, на которой размещается аппарат и обозначается необходимое действие. Текстуальная часть программы

занимает много места, поэтому программы сложных переключений содержат несколько страниц.

В процессе их применения какая-нибудь из страниц может быть утеряна, что приведет к грубым ошибкам при переключениях. Поэтому возникло стремление применить второй вид программ, в котором все ее содержание умещается на одной странице независимо от ее объема. Для этого из программы исключается текст и переносится в надписи на панелях. В этом случае в программах остаются лишь символы операций, размещенные в определенной последовательности.

Если операция в точности совпадает с содержанием программы, то можно разрешить пользоваться ею как бланком переключений. С этой целью для программ используют типографские бланки на плотном тонком картоне, пригодном для многократного использования.

При применении готовых программ операций они предварительно тщательно проверяются на идентичность исходных условий программы реальным условиям, что исключает необходимость в изменении программы. Выполнение отдельных операций отмечают на прозрачной накладке.

Концентрация внимания персонала на жестко регламентированных операциях существенно повышает надежность всей системы оперативных переключений. Оперативный персонал сетевого района и ЭЭС имеет программы переключений, где указаны действия, выполняемые на различных объектах ЭЭС, требующие координации с его стороны. При правильном использовании карт-накладок и программ исключаются ошибки персонала, приводящие к обесточению РУ.

### Выбор эксплуатационной схемы РУ

Важность распределения присоединений между системами шин заключается в следующем: во-первых, вдвое уменьшается число присоединений, на каждой из них и соответственно вдвое снижается

вероятность отказов шин; во-вторых, обеспечивается повышенная надежность за счет конфигурации сети.

Смысл этого распределения в том, чтобы ущерб при обесточении одной из систем шин был минимальным.

Существуют три группы присоединений:

—питающие, через которые мощность поступает к шинам (генераторы, питающие трансформаторы или автотрансформаторы, питающие ВЛ);

—питаемые линии замкнутой сети, от которой к шинам присоединяется несколько линий;

—питаемые радиальные участки сети или приравниваемые к ним из-за ограниченной пропускной способности других ВЛ.

Питающие присоединения распределяются между системами шин так, чтобы каждая из них обеспечивалась источниками примерно одинаковой мощности (пропускной способности). Обесточение одной системы шин в этом случае сопровождается минимальной потерей мощности.

Питаемые линии замкнутой сети распределяются между системами шин так, чтобы при обесточении одной системы шин прекращение питания сети по некоторым ВЛ компенсировалось сохранением питания по ВЛ, присоединенным ко второй системе шин. Например, если участок сети питается по двухцепной ВЛ, то цепи обычно присоединяются к разным системам шин.

Линии, питающие радиальные участки сети, подключаются к системам шин так, чтобы сохранить одинаковую вероятность отказа систем шин и исключить перегрузку участков шин.

Чтобы избежать нежелательных потоков мощности через сеть междушинный выключатель нужно эксплуатировать в замкнутом состоянии. При возникновении повреждения на шинах он отключается защитой (дифференциальной защитой шин).

Для сохранения баланса мощности на системах шин необходимо обеспечить протекание через включенный междушинный выключатель минимальной мощности.

Погашение двух систем шин при отказе одной из них возможно в случае отказа в отключении или повреждении междушинного выключателя.

Эксплуатация РУ с двумя системами шин, в ряде случаев дополненных обходной системой, связана с достаточно сложными оперативными переключениями. При ремонте присоединений приходится поочередно освобождать системы шин для ремонта шинных разъединителей. В тех случаях, когда в графике ремонтов имеется разрыв в несколько дней, персонал, опасаясь ошибок при переключениях и стремясь уменьшить их объем, иногда оставляет РУ работающим на одной системе шин. Это может привести к отключению всех присоединений при отказе оставшейся в работе системы шин.

### Ограничение токов КЗ

С ростом установленной мощности электростанций и единичной мощности автотрансформаторов связи увеличиваются токи КЗ в питающей сети ЭЭС. Изменяются также частотные характеристики ЭС, приводящие в ряде случаев к неблагоприятным изменениям процесса восстанавливающегося напряжения. Отключающие способности выключателей должны приводиться в соответствие с изменениями уровней токов КЗ.

Отключающую способность некоторых выключателей можно увеличить в результате их модернизации. Другие же выключатели необходимо заменять на аппараты большей отключающей способности, что связано с проектированием и последующей реконструкцией энергетических объектов. Из-за задержки в проведении этих работ в питающей сети часто эксплуатируются десятки выключателей, отключающая способность которых не соответствует токам КЗ.



В этом случае приходится приводить токи КЗ в соответствие с отключающей способностью выключателей.

Для этого можно использовать несколько методов:

- опережающее деление электрической сети;
- секционирование сети;
- ограничение числа заземленных нейтралей трансформаторов.

Опережающее деление электрической сети выполняется на выключателях РУ электростанций. Его сущность заключается в том, что прежде чем отключится линейный выключатель поврежденной ВЛ, имеющий недостаточную отключающую способность, отключается выключатель схемы коммутации электростанции, например междушинный, который отделяет от места КЗ часть генерирующих источников (переводит их работу на место КЗ через большое сопротивление сети). В результате ток КЗ снижается до величины, которую может отключить линейный выключатель. После устранения повреждения выключатель, выполнивший опережающее деление, вновь включается в работу. Выключатель опережающего деления не отключает ток КЗ, а переводит его на другую ветвь схемы сети. Поэтому влияние на его надежность оказывает лишь оперативное переключение, которое на порядок ниже влияния отключения тока КЗ.

Чтобы обеспечить селективное опережающее отключение, не используя на линейном выключателе дополнительную выдержку времени, применяют защиту с практически безынерционными электронными выходными органами, выполненными, например, на тиристорах. Для этого на выключателе опережающего деления устанавливается защита, выполняющая роль автоматики снижения тока КЗ (АСТКЗ). Она содержит орган, выявляющий недопустимый ток КЗ, и АПВ, восстанавливающее первоначальную схему.

Секционирование питающей сети с целью снижения токов КЗ может осуществляться в сети вторичного напряжения (220 кВ ниже), питающейся от межсистемной сети. В этом случае от автотрансформаторов связи питаются районы сети ЭЭС, размыкаются в определенных точках. Местоположение

нормальных разрезов выбирается таким, чтобы одновременно удовлетворялось и требование минимизации потерь энергии в сетях.

Размыкание питающей сети в определенной степени снижает надежность ее работы. Во избежание ущерба при аварийном отключении источника питания в местах нормальных разрезов устанавливаются АВР, включающий разомкнутый выключатель, который подает питание от смежной питающей подстанции при исчезновении напряжения. Разомкнутые выключатели должны быть защищены от перенапряжения.

Ограничение числа заземленных нейтралей трансформаторов сети 110 кВ производится для снижения и стабилизации токов замыкания на землю. Для различных схем ЭС, включая ремонтные, предусматриваются трансформаторы, нейтраль которых незаземлена (у автотрансформаторов связи нейтраль должна быть заземлена). От перенапряжений незаземленные нейтраль защищают разрядниками.

В связи с тем, что изоляция нейтрали трансформаторов не выполняется на фазное напряжение, а изоляция фаз не соответствует линейному напряжению, необходимо исключить возможность создания ситуаций, когда при работе генерирующих источников трансформаторов в аварийных условиях трансформаторы оказываются в отделившейся части сети без заземленных нейтралей. Поэтому нейтраль повышающих трансформаторов, работающих в блоке с генераторами, заземляются.

Заземление нейтралей остальных трансформаторов выбирается так, чтобы поддерживать токи замыкания на землю в определенных пределах и сохранять их стабильность в условиях, создающихся при ремонтах трансформаторов (автотрансформаторов) и ВЛ.

#### Феррорезонансные повреждения в РУ.

Воздушные выключатели имеют несколько последовательно включенных гасительных камер, для распределения напряжения между которыми параллельно им включаются емкостные делители напряжения. Через

данные делители поступает напряжение на шины в случае отключения всех присоединений, остающихся под напряжением с противоположной стороны. Емкость делителей зависит от числа отключенных в этом режиме выключателей. Емкость одного делителя известна, например, у выключателя ВВБ-220  $C=825$  пФ; шины также обладают известной емкостью — до нескольких тысяч пикофард. Кроме того, к шинам присоединены трансформаторы напряжения, обладающие индуктивностью, зависящей в соответствии с кривой намагничивания от приложенного напряжения. Так, индуктивность трансформатора напряжения составляет  $2,4 \cdot 10^6$ — $0,2 \cdot 10^6$  Ом, а активное сопротивление его обмоток  $9 \cdot 10^3$  Ом.

Опасность для трансформатора напряжения возникает при резонансе напряжений. В этом случае активное входное сопротивление всей двухконтурной схемы равно активному сопротивлению обмотки ВН трансформатора напряжения. Ток, протекающий по обмотке при номинальном напряжении, может превысить значение, при котором плавится металл обмотки. Обычно при этом обугливается витковая изоляция. Токи, протекающие через делители выключателей, достаточно велики для того, чтобы вызвать значительные перенапряжения при отключении их разъединителями. При этом в трансформаторе напряжения возникают перекрытия обуглившейся витковой изоляции. В то же время делители ограничивают токи до значений, при которых мощность недостаточна для разрушения аппарата.

Для исключения феррорезонанса в случаях, когда такая опасность существует, целесообразно перед отключением всех присоединений выключателями отключить присоединения с противоположной стороны. Можно также использовать емкостные трансформаторы напряжения вместо обычных, а также присоединять к шинам в качестве дополнительной емкости, устраняющей резонанс конденсатор связи. При обесточении шин защитой схема должна предусматривать сохранение присоединения к шинам трансформатора с заземленной нейтралью.

Существуют и другие явления, связанные с резонансом в ЭС. К ним относятся ультрагармонические и субгармонические резонансы.

#### Определение места повреждения в сети с заземленной нейтралью.

В сети с глухо заземленной нейтралью большинство повреждений связаны хотя бы с кратковременным замыканием на землю. Поэтому о месте повреждения можно судить по токам и напряжениям нулевой и обратной последовательностей. В связи с тем, что фильтры нулевой последовательности используются для защит замыкания на землю, их же можно применить для фиксации параметров при поиске места повреждения. Параметры двухфазных замыканий не фиксируются. В этих редких случаях нужно было бы ориентироваться на использование фильтров обратной последовательности, которые часто отсутствуют.

Известны уточненные методы определения места повреждения, особенно с помощью фиксирующих приборов, построенных на микропроцессорной основе, при использовании которых устраняются трудности, обусловленные сложностью обработки информации.

### *Тема 7. Человеческий фактор в эксплуатации (4 часа)*

#### Персонал и эксплуатация

Электроэнергетическая система представляет собой комплекс взаимосвязанных устройств, образующих большую систему. Свойства этого комплекса определяются суммой свойств его элементов и дополнительных свойств, присущих как подсистемам — объектам, образуемым ограниченным числом элементов, так и системе в целом. Эксплуатация связана с соблюдением инструкций и правил, разработанных для всех элементов и системы в целом. Этот уровень культуры эксплуатации является минимальным и обязательным для всех. Культура эксплуатации должна непрерывно улучшаться, в

соответствии с чем совершенствуются инструкции и правила, тем самым повышается обязательный уровень.

Совершенствование эксплуатации связано с углублением знаний о технических устройствах и системах: исследуются технические свойства объектов эксплуатации; разрабатываются средства диагностики, снижающие затраты труда; средства, определяющие использованный ресурс и т. д.

Необходимо учитывать, что эксплуатацию осуществляет персонал. Все, что недостаточно глубоко известно или не нашло технического решения, компенсируется вмешательством людей.

В связи с этим существенны такие качества персонала, как: способность концентрировать внимание и отдавать предпочтение действиям, направленным на более важные события; память, необходимая для ориентации на правила и нормы; умение выбрать правильный темп работы, соответствующий темпу событий; воля, обязательная для организации работы подчиненного персонала и т. д.

Однако наличие персонала может вызывать и недостаточно глубокое решение технических и организационных задач, чрезмерную ориентацию на дисциплинарные методы работы. Если не учитывать возможностей персонала и его свойств, то подобные методы работы в значительной степени иллюзорны и не приводят к желательному повышению уровня эксплуатации. При стремлении в эксплуатации сложных технических систем воспринимать персонал как сверхоптимальную адаптивную систему — не избежать беды.

Для повышения культуры эксплуатации изучению свойств и возможностей эксплуатационного персонала необходимо уделять внимания не меньше, чем изучению технических задач.

#### Эмоциональная напряженность деятельности персонала энергосистем.

Учитывая, что в процессе эксплуатации технических систем персоналу часто приходится обращаться к их моделям, хранящимся в памяти,

целесообразно знать точку зрения специалистов об интеллектуальных уровнях деятельности.

В работе необходимо принимать решения, которые могут быть более или менее сложными. Интеллектуальные уровни принимаемых решений образуют иерархию.

Эмпирический уровень — наиболее простой вид деятельности, заключающийся в выполнении часто повторяющихся стереотипных действий в качестве реакции на появление определенных признаков изменения внешней обстановки. При наличии навыка работа сводится к действиям, которые не требуют анализа.

Операции эмпирического уровня просты. Человек как бы выполняет роль сравнительно простых устройств автоматического управления.

Ранее рассматривались эксплуатационные задачи, плохо выполняемые персоналом. К ним относятся операции, требующие длительного напряженного внимания: поддержание предельных режимов генератора и перетоков активной мощности, предельных по статической устойчивости, пуск котлов при максимально допустимых температурных напряжениях и пр. Персонал подобные операции выполняет плохо из-за стремления избежать чрезмерного напряжения сил. В результате снижается использование располагаемой мощности и пропускной способности, увеличиваются сроки пуска агрегатов.

Неэффективны действия персонала при возникновении сложных взаимосвязанных аварийных процессов, представляющих для функционирования ЭЭС большую опасность. Плохо наблюдаемые сложные процессы, сопровождающиеся чрезмерно большим количеством информации в единицу времени, создают стрессовую обстановку. Персонал при этом теряет ориентацию и практически может вмешаться лишь в послеаварийный режим, когда предотвратить опасные последствия уже нельзя.

Поэтому важно иметь представление об эмоциональной напряженности и стрессах и их влияние на деятельность человека.

Работа человека, обслуживающего техническую систему, связана с реакцией, формирующейся в его психике на параметры управляемых процессов. Психика людей индивидуальна. Можно говорить о психической конституции так же, как о физической конституции (типе телосложения). По мнению некоторых специалистов между психическими и физическими особенностями достаточно часто наблюдается взаимосвязь.

Неполная информация о событиях и связанная с ней неопределенность результатов вызывают у человека эмоциональную напряженность (активацию). От нее в определенной степени зависит эффективность действия оператора.

Нейротип человека, являющийся предпосылкой психической деятельности, — врожденное свойство. Еще знаменитый греческий врач Гиппократ в V веке до нашей эры провозгласил что различное смешение стихий определяют темпераменты — нейротипы холерический, сангвинический, флегматический и меланхолический. Вероятно, подобное подразделение было сделано на основе основательных наблюдений древних. В дальнейшем древнегреческий врач Гален объяснял особенности темпераментов свойствами организма. И хотя выяснилось, что практически наблюдаемые люди в большинстве случаев четко не относятся к одному из упомянутых типов, а число типов может быть увеличено, тем не менее четыремя основными типами можно воспользоваться для характеристики человека как работника.

Учитывая, что осуществить детальный подбор работников по их психофизическим свойствам практически не удастся, при подготовке условий работы целесообразно ориентироваться на худший случай.

Персонал при оценке его деятельности в управлении техническими системами, в смысле реакции на изменение управляемого процесса, можно отнести к одному из трех типов: нормальному, тревожному и инертному.

Известно, что можно ослабить нервное возбуждение применением аутогенной тренировки. Возбуждение сопровождается повышением напряжения мышц и учащением дыхания. Существует и обратная связь. При

расслаблении мышц и нормализации дыхания, уменьшается нервное возбуждение. Однако трудно себе представить энергичного человека, живущего полнокровной жизнью, с расслабленными мышцами и запрограммированным дыханием. Значит, нужно быть подготовленным к нервным нагрузкам и уметь им противостоять.

Защищенность от стрессов в значительной степени определяется врожденными свойствами. Так, например, тревожная личность, при прочих равных условиях, более чувствительна к стрессам, чем нормальная и инертная. Это должно учитываться при формировании служебных отношений. Однако большое значение имеют и приобретенные свойства, которые могут оказаться более весовыми. Эти свойства, характеризующие личность, приобретаются в процессе воспитания и становления.

Природа в ходе естественного отбора также создала системы защиты психики от стрессов.

Состояние психики в большей степени зависит от стойкости духа, сохранение которого является важнейшей задачей.

В процессе эксплуатации технических систем нередко возникают ситуации, требующие значительной эмоциональной напряженности.

К ним можно отнести случаи, когда в течение длительного времени человек испытывает угнетение из-за неинтересной монотонно работы.

В аварийных ситуациях требуются действия в условиях неопределенности, т. е. предпринимающиеся на основе предполагаемых гипотез и события.

Эмоциональные напряжения возникают также в отношении между людьми.

Отрицательные эмоции возникают в ситуациях, сопровождающихся как низкой, так и чрезмерно высокой эмоциональной напряженностью.

### Стрессовые ситуации.



Различают стрессы четырех степеней. Первая степень эмоционального стресса тренирует, закаляет человека. Вторая тоже полезна, но при условии, что своевременно заканчивается разрядкой. Оба уровня соответствуют понятию физиологического стресса и представляет собой трату нервной энергии, окупающейся впоследствии повышением его нервной сопротивляемости и приспособляемости к быстро изменяющимся условиям.

Третья степень безусловно вредна, так как вызывает угнетение. Четвертая степень — это уже невроз, болезнь. Эти степени стресса называют патологическими стрессами. Они возникают как реакция на слишком сильный раздражитель, превышающий приспособительные возможности организма, и могут привести к необратимым нежелательным последствиям (саморазрушениям предельным истощениям).

Стрессом можно управлять. Наряду с применением методов владения личными эмоциям при управлении техническими системами необходимо прибегать к психологически обоснованной организации труда, предотвращающей систематическое возникновение стрессовых ситуаций. Для этого используются методы управления людьми, обучения и формирования коллектива на основе правил социальной и педагогической психологии, создаются системы автоматизированного и автоматического управления для облегчения работы и исключения людей из процессов, управление которыми не соответствует психологическим возможностям персонала.

Для повышения способности преодоления стрессовой ситуации необходимо увеличить сроки решения задач, уменьшить их число и трудность. Хорошо известно, что многие задачи, которые не решены в спешке, решаются, как только снимается сосредоточенность на задаче. Что касается уменьшения числа задач, то это достигается автоматизацией части процессов, управление которыми требует быстрого действия, недоступного персоналу.

#### Охрана труда персонала энергосистем

Под безопасностью следует понимать личную безопасность персонала и безопасность оборудования.

Работа на электротехнических установках связана с опасностью, внешне почти не проявляющейся. Например, непосредственно не видно, что токоведущая часть установки может находиться под напряжением; об этом нужно знать. Абстрактный характер опасности требует высокой сосредоточенности, тщательной проверки и перепроверки.

Безопасность обеспечивается соблюдением правил, обязательных для всего персонала, а также инструкций по эксплуатации различного оборудования. Изучение правил и инструкций предшествует допуску к самостоятельной работе. Их знание подтверждается сдачей экзаменов по правилам безопасности и технической эксплуатации.

Степень допустимой самостоятельности работы характеризуется приобретенным опытом и уровнем знаний. Это находит свое выражение в присвоении работнику уровня квалификации. Каждый работник в процессе приобретения опыта обязан пройти все ступени квалификации, каждая из которых присваивается на определенное время. Через установленные промежутки времени уровень квалификации подтверждается сдачей очередных экзаменов.

Уровни квалификации, необходимые для проведения работ определенной сложности, регламентированы. Так, например, имеются работы, для выполнения которых необходимы двое работников, обладающих квалификацией не ниже II и IV уровней. Причем руководителем и ответственным за соблюдение безопасности в группе является лицо высшей квалификации, в то время как лицо низшей квалификации является подчиненным.

Средства, используемые для гарантии безопасности, подразделяются на организационные и технические.

Организационные средства предусматривают использование средств документального оформления работ, обеспечивающих прохождение

информации о работах как на вышестоящие уровни, так и на уровни их исполнения. Информация о работах, поступающая на вышестоящие уровни, гарантирует подготовку рабочего места к проведению работ и поддержание его в безопасном состоянии. Информация, направленная персоналу, проводящему работы, необходима для назначения руководителей и исполнителей работ. Она регламентирует очередность работ и их согласование на различных уровнях. Этими мерами предусматриваются ограждение места проведения работ и вывешивание необходимых указателей.

Технические средства безопасности предохраняют от последствий особо опасных ошибочных действий и служат для защиты персонала в случаях, если они совершены. К ним относятся блокировки электрических цепей, используемые в процессе переключения, и такие средства безопасности, как индикаторы проверки отсутствия напряжения на токоведущих частях оборудования, позволяющие убедиться в правильности переключения; изолирующие средства (коврики, перчатки), защищающие от поражения в случае прикосновения к токоведущим частям, от которых напряжение оказалось не отключенным.

Степень защищенности определяется в значительной мере личным отношением к правилам безопасности. Последнее зависит в основном от уровня культуры работника, определяя стереотипы его поведения.

Несчастные случаи и аварийные ситуации с оборудованием редки. Отношение к соблюдению правил должно быть аналогичным ситуации, когда люди считают неприличным переходить улицу на красный свет светофора даже при отсутствии проезжающего транспорта. Для создания подобного отношения к соблюдению правил безопасности необходимо формировать общественное мнение.

Все используемые меры создают надежный заслон опасным ситуациям, которые, казалось бы, вообще не могут иметь место. Тем не менее, несчастные случаи и аварии по вине персонала случаются. Их тяжесть такова, что глубокое исследование не только внешних, но и внутренних неявных причин

заслуживает самого серьезного внимания. Вскрытие и доведение до всеобщего сведения этих причин является основой для принятия эффективных (в том числе, и радикальных) мер защиты персонала и оборудования.

## **5. Методические указания к практическим (семинарским) занятиям**

Методические материалы к практическим занятиям приведены в учебном пособии Чемборисова Н.Ш., Степанов А.С., Пейзель В.М. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие.- Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006. (см. разделы 3, 4).

## **6. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников и соответствующее учебно-методическое пособие**

1. Программно-вычислительный комплекс АМУР РС (Анализ и моделирование управления режимами распределительных сетей). Разработчики: А.С. Степанов, А.Ю. Ермолаев.

2. Учебно-методическое пособие «Чемборисова Н.Ш., Степанов А.С., Пейзель В.М. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей.- Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.- 104 с.»

## **7. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины.**

1. Презентации, слайды;
2. Схемы, таблицы, рисунки под медиапроектор;
3. Лазерные пленки к проектоскопу.

## **8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов (материалы по контролю качества образования)**

В процессе изучения дисциплины предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- пятиминутный опрос студентов на каждой лекции;
- студенты, не посещающие лекционные и практические занятия, представляют рефераты по пропущенным темам.

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;
- выполнение рефератов с последующей их защитой;
- выступление с докладом.

## **9. Комплекты экзаменационных билетов для каждого из предусмотренных экзаменов по дисциплине и контрольные вопросы к зачету.**

1. Основные принципы управления энергетикой, организационная структура энергосистемы.

2. Иерархическая система административно-хозяйственного и оперативного управления энергосистемами и их объединениями. Связь между административно-хозяйственными и оперативным управлением.

3. Реформирование РАО «ЕЭС России». Общие принципы формирования сетевых, генерирующих, сбытовых и сервисных компаний. Особенности реформирования энергетики Дальнего Востока.

4. Структура ремонтно-эксплуатационного обслуживания элементов электрических сетей.

5. Организация планово-предупредительных ремонтов и ремонтов оборудования по техническому состоянию.

6. Организация ремонтов хозяйственным и подрядным способом. Организация торгов на выполнение ремонтных услуг. Производственно-ремонтные предприятия.

7. Оперативная подчиненность оборудования энергосистемы.

8. Жизнеспособность ЭЭС.

9. Лавина перегрузки и отключений ЛЭП.

10. Лавина асинхронных режимов.

11. Лавина частоты.

12. Лавина напряжения.

13. Ликвидация лавинных аварийных процессов.

14. Температурный режим трансформатора.

15. Контроль за использованием ресурса трансформаторов.

16. Допустимые перевозбуждения трансформаторов.

17. Эксплуатация переключательных устройств трансформаторов.

18. Эксплуатация выключателей.

19. Нормальные разрезы электрической сети.

20. Секционирование электрической сети.

21. Управление режимом напряжения распределительной сети.

22. Несимметрия параметров распределительной сети.

23. Режим компенсированной нейтрали.

24. Напряжение смещения компенсированной нейтрали.

25. Управление компенсацией нейтрали.

26. Режим замыкания фазы на землю.

27. Дугогасящие катушки.

28. Типы распределительных устройств и их особенности.

29. Программирование оперативных переключений.

30. Выбор эксплуатационной схемы РУ.
31. Ограничение токов короткого замыкания.
32. Феррорезонансные повреждения в РУ.
33. Определение места повреждения в сети с заземленной нейтралью.
34. Персонал и эксплуатация. Эмоциональная напряженность деятельности персонала энергосистем.
35. Стрессовые ситуации.
36. Система управления кадрами.
37. Подбор, изучение и расстановка кадров.
38. Производственное обучение и повышение квалификации персонала.
39. Основные мероприятия по закреплению кадров на предприятии.
40. Охрана труда персонала энергосистем.

На основе вопросов, представленных в данном пункте составляются экзаменационные билеты.

#### **10. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.**

| Вид учебной нагрузки | ППС                                     |
|----------------------|---|
| Лекции               | Степанов А.С., доц., доктор. техн. наук |
| Экзамен              | Степанов А.С.                           |
| Практические занятия | Ильченко Т.Ю., ассистент                |