

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой энергетики  
\_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Основной образовательной программы по направлению подготовки  
(специальности)

140211.65 – "Электроснабжение"

Составитель: А.Н. Козлов

Благовещенск 2012

### *Аннотация*

Настоящий УМКД предназначен в помощь студентам всех форм обучения на энергетическом факультете при изучении дисциплины «Эксплуатация систем электроснабжения».

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.

Исключением стали следующие пункты, которые не предусматриваются рабочей программой дисциплины «Эксплуатация систем электроснабжения»:

- методические рекомендации по проведению практических работ;
- методические указания по выполнению курсовых проектов (работ);
- комплекты заданий для практических работ.

Данная дисциплина введена в учебный план как факультативная дисциплина, поэтому типовая Федеральная программа отсутствует.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа дисциплины	4
2. Краткий конспект лекций	12
3. Методические рекомендации по проведению лабораторных работ	107
4. Методические рекомендации по проведению деловых игр	108
5. График самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине «Эксплуатация систем электроснабжения» (по каждой теме)	111
6. Методические указания к лабораторным работам	112
7. Перечень вопросов для самостоятельной работы	123
8. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания дисциплины	123
9. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов (материалы по контролю качества образования)	125
10. Комплект контрольных вопросов к зачету	127
11. Учебно - методическое и информационное обеспечение дисциплины «Эксплуатация систем электроснабжения»	129

## **1.1. Рабочая программа**

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель дисциплины – подготовка студентов к практической деятельности в области эксплуатации энергосистем в качестве специалиста, работающего в сфере эксплуатации энергетического оборудования или управления энергосистемами на любом уровне (энергосистема, предприятие электрических сетей, район электрических сетей).

Основные задачи дисциплины – усвоение организационной структуры управления энергетикой, уровней административно-хозяйственного и оперативного управления энергосистемой, научных основ эксплуатации электрических станций и подстанций, выработка умений и навыков планирования и организации эксплуатации, умения и навыков анализировать существующий уровень эксплуатации электрооборудования станций и подстанций и намечать пути повышения качества эксплуатации.

Базовыми для данной дисциплины являются курсы «Электроэнергетика», «Электропитающие системы и электрические сети», «Переходные процессы в электрических системах».

### **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО:**

Государственный образовательный стандарт для специальности 140211.65 предусматривает изучение дисциплины «Эксплуатация систем электроснабжения» в качестве факультативной дисциплины специализации – шифр ФТД.5.

Изучение основ эксплуатации электроэнергетических систем базируется на сведениях, излагаемых в дисциплинах: «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электробезопасность», «Электроэнергетика», «Электропитающие системы и электрические сети», «Переходные процессы в электрических системах», «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения».

### **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- **знать** нормальные, аварийные и специальные режимы работы различных типов ЛЭП, трансформаторов, двигателей и других устройств, основные организационные и технические требования при эксплуатации энергетических объектов предприятий электрических сетей;

- **получить умения** и навыки по испытаниям электрооборудования, предупреждению повреждений и отказов;

- **овладеть** практическими вопросами эксплуатации основного и вспомогательного электрооборудования, электрических аппаратов и проводников, навыками оценки уровня эксплуатации электрооборудования и формирования пути его совершенствования.

### **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 85 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы				Формы текущего контроля
		Лекции (час.)	Практ. занят. (час.)	Лабор. работы (час.)	СРС (час.)	
<i>Семестр 9</i>						
1	<b>Раздел 1 «Общие вопросы эксплуатации»</b> 1.1 Введение 1.2 Организация эксплуатации электрооборудования 1.3 Виды ремонтов и их периодичность	8	2		10	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.
2	<b>Раздел 2 «Основы эксплуатации основного электрооборудования»</b> 2.1 Эксплуатация электрических систем 2.2 Основы эксплуатации синхронных генераторов 2.3 Основы эксплуатации трансформаторов и автотрансформаторов 2.4 Эксплуатация выключателей	8	4		12	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.
3	<b>Раздел 3 «Оперативное обслуживание и эксплуатация распределительных сетей»</b> 3.1 Эксплуатация распределительных устройств 3.2 Ограничение токов КЗ 3.3 Управление режимами распределительных сетей 3.4 Ограничение феррорезонансных перенапряжений	8	8		13	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.
4	<b>Раздел 4 «Человеческий фактор в эксплуатации»</b> 4.1 Стрессовые ситуации 4.2 Организация подготовки и повышения квалификации эксплуатационного персонала	4			8	Отчеты по рефератам и заданиям на самостоятельную работу

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 ЛЕКЦИИ

#### Семестр 9

##### *Раздел 1 «Общие вопросы эксплуатации»*

**Тема 1. Введение.** Особенности энергетического производства. Рекомендуемая литература.

**Тема 2. Организация эксплуатации электрооборудования.** Оперативное и административное управление электроэнергетикой. Оперативная иерархия от ЦДУ ЕЭС до цеха. Технологический цикл и состав электрооборудования на электростанциях, характеристики оборудования. Требования надежности, предъявляемые к оборудованию электрических станций. Общие вопросы эксплуатации: виды воздействий на электрооборудование и способы контроля и устранения.

**Тема 3. Виды ремонтов и их периодичность.** Срок службы оборудования, виды ремонтов и их периодичность. Ремонтное обслуживание оборудования. Перспективный график ремонтов. Подготовка к ремонтам. Проблемы снятия оборудования с эксплуатации.

##### *Раздел 2 «Основы эксплуатации основного электрооборудования»*

**Тема 4. Эксплуатации электрических систем.** Оперативная подчиненность оборудования энергосистемы. Жизнеспособность ЭЭС. Лавина перегрузки и отключений ЛЭП. Лавина асинхронных режимов. Лавина частоты. Лавина напряжения. Ликвидация лавинных аварийных процессов.

**Тема 5. Основы эксплуатации синхронных генераторов.** Требования правил технической эксплуатации и их обоснование. Системы, обеспечивающие работу синхронных генераторов, и требования, предъявляемые к ним. Системы возбуждения и автоматические регуляторы возбуждения, их характеристики, контроль и наладка. Системы охлаждения синхронных генераторов, их характеристики и эксплуатационные свойства. Система контроля, релейной защиты и автоматики синхронного генератора. Обслуживание синхронных генераторов. Испытания синхронных генераторов. Организация ремонтов, проблемы продления срока службы генератора.

**Тема 6 Основы эксплуатации трансформаторов и автотрансформаторов.** Соотношение мощности генераторов и трансформаторов. Эксплуатация силовых трансформаторов, основные положения Правил технической эксплуатации. Характеристика конструкций и материалов, системы охлаждения. Повреждаемость отдельных элементов трансформаторов. Системы контроля, релейной защиты и автоматики. Обслуживание трансформаторов. Виды и организация ремонтов. Испытания трансформаторов.

**Тема 7. Эксплуатация выключателей.** Основные положения по эксплуатации различных видов выключателей, обслуживание выключателей. Организация ремонтных работ.

##### *Раздел 3 «Оперативное обслуживание и эксплуатация распределительных сетей»*

**Тема 8. Эксплуатация распределительных устройств.** Организация эксплуатации, основные виды повреждений и отказов, современные методы контроля и профилактики. Организация ремонтных работ.

**Тема 9. Ограничение токов КЗ.** Типы распределительных устройств и их особенности. Программирование оперативных переключений. Выбор эксплуатационной схемы РУ. Ограничение токов короткого замыкания.

**Тема 10. Управление режимами распределительных сетей.** Нормальные разрезы и секционирование электрической сети. Управление режимом напряжения распределительной сети. Несимметрия параметров распределительной сети.

**Тема 11. Ограничение феррорезонансных перенапряжений.** Режим компенсированной нейтрали. Режим замыкания фазы на землю. Дугогасящие катушки.

#### **Раздел 4 «Человеческий фактор в эксплуатации»**

**Тема 11. Стрессовые ситуации.** Персонал и эксплуатация. Эмоциональная напряженность деятельности персонала энергосистем. Стрессовые ситуации.

**Тема 12. Организация подготовки и повышения квалификации эксплуатационного персонала.** Система управления кадрами. Подбор, изучение и расстановка кадров. Производственное обучение и повышение квалификации персонала. Тренажерные центры и пункты и их роль в повышении уровня подготовки эксплуатационного персонала. Перспективные направления повышения уровня эксплуатации на электрических станциях и подстанциях.

### **5.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

Примерный перечень практических занятий:

1. Примеры лавинных аварий в энергосистемах и их последствия.
2. Организация торгов в энергетике. Электронные торговые площадки.
3. Изучение технологических карт на ремонт трансформаторов и выключателей.
4. Определение рациональных мест размыкания распределительных сетей и оптимальных режимов напряжений.
5. Изучение методов расчета феррорезонанса.
6. Контрольная работа "Выбор основного электрооборудования и главной схемы станции по заданным нагрузкам".
7. Просмотр учебного фильма "Эксплуатация высоковольтных выключателей".

### **6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ**

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
<i>Семестр 9</i>			
1	<b>Раздел 1 «Общие вопросы эксплуатации»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	10
2	<b>Раздел 2 «Основы эксплуатации основного электрооборудования»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	12
3	<b>Раздел 3 «Оперативное обслуживание и эксплуатация распределительных сетей»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	13
4	<b>Раздел 4 «Человеческий фактор в эксплуатации»</b>	Подготовка отчетов по рефератам и заданиям на самостоятельную работу	8

## **7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Наилучшей гарантией глубокого и прочного усвоения дисциплины «Эксплуатация систем электроснабжения» является заинтересованность студентов в приобретении знаний. Поэтому для поддержания интереса студентов к материалу дисциплины необходимо использовать различные образовательные технологии и задействовать все атрибуты процесса научного познания.

При преподавании дисциплины «Эксплуатация систем электроснабжения» используется технология блочного обучения.

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением раздела обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал раздела.

При выполнении практических и лабораторных работ используется прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы имитирует реальное событие; с преподавателем обсуждаются цели работы и ход ее выполнения; при защите работы - обсуждение и анализ полученных результатов; обсуждение теоретических положений, справедливость которых была установлена в процессе выполнения лабораторной работы.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

В процессе изучения дисциплины «Эксплуатация систем электроснабжения» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- экспресс-опрос лектора по итогам изучения разделов курса;
- выполнение и защита отчетов по практическим занятиям и лабораторным работам.

### **8.1. Подготовка конспектов по темам на самостоятельное изучение**

Самостоятельное изучение включает работу над лекционным материалом и литературой по дисциплине при подготовке к практическим и лабораторным занятиям а также активный поиск новой информации в Интернете по заданию лектора или руководителя практических занятий

Темы индивидуальной работы студента:

- Диагностика трансформаторов
- Диагностика заземляющих устройств
- Нетрадиционные источники электроэнергии
- Хроматографический анализ растворенных газов (ХАРГ)
- Взятие пробы газа из газового реле силового трансформатора
- Особенности эксплуатации электрооборудования с элегазовой изоляцией

### **8.2 Вопросы к зачету**

Семестр 9 – зимняя сессия

1. Структура и задачи электромонтажных организаций;
2. Эксплуатация внутренних электропроводок и токопроводов (периодичность и содержание осмотров, ремонты, эксплуатационные нормы);
3. Основные материалы, применяемые при электромонтажных операциях;

4. Эксплуатация сетей освещения (периодичность и содержание осмотров, ремонты, эксплуатационные нормы);
5. Индустриализация при электромонтажных операциях;
6. Эксплуатация ВЛ: виды осмотров, содержание осмотра каждого вида, документация, эксплуатационные нормы;
7. Виды сварки, применяемые при электромонтажных операциях;
8. Эксплуатация деревянных опор;
9. Технология выполнения опрессовки, область применения данного вида контактного соединения, нормы выполнения;
10. Эксплуатация железобетонных опор;
11. Технология выполнения пайки, область применения данного вида контактного соединения;
12. Эксплуатация металлических опор;
13. Опишите последовательность монтажа внутренних скрытых проводок;
14. Эксплуатация заземляющих устройств ВЛ и подстанций;
15. Опишите последовательность монтажа внутренних открытых электропроводок по стенам цеха;
16. Приемосдаточные испытания при вводе в эксплуатацию ВЛ;
17. Проводки в лотках и коробах: область применения, количество проводников, способы крепления и расстояния между ними;
18. Приемосдаточные испытания при вводе в эксплуатацию внутренних электропроводок.
19. Проводки в пластмассовых трубах: область применения, порядок монтажа, определение сечения труб для прокладки проводников;
20. Приемосдаточные испытания КЛ;
21. Проводки в металлических трубах: область применения, порядок монтажа;
22. Виды дефектов кабелей, определение характера повреждения КЛ;
23. Прокладка кабелей в траншеях: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;
24. Определение места повреждения в кабеле импульсным способом;
25. Прокладка кабелей в каналах, блоках: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;
26. порядок монтажа;
27. Приемосдаточные испытания силовых трансформаторов: виды испытаний в зависимости от номинального напряжения и мощности, нормы испытаний; схемы испытаний
28. Прокладка кабелей в кабельных сооружениях: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;
29. Приемосдаточные испытания масляных выключателей : виды испытаний, нормы испытаний; схемы испытаний.
30. Прокладка кабелей на эстакадах и галереях: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;
31. Эксплуатация аккумуляторных батарей: порядок и содержание осмотра, техника безопасности при работе в аккумуляторных, требования к помещениям аккумуляторных;
32. Подготовительные операции при монтаже ВЛ;
33. Эксплуатация разъединителей, короткозамыкателей, отделителей;
34. Порядок монтажа ВЛ;
35. Эксплуатация силовых трансформаторов: периодичность осмотров и ремонтов, содержание осмотра, эксплуатационные нормы;
36. Порядок монтажа КТП, КРУ, КСО;
37. Способы подзаряда аккумуляторных батарей;
38. Порядок монтажа распределительных шкафов, пунктов, щитов;
39. Определение места повреждения методом колебательного разряда и акустическим.

40. Порядок монтажа кабельных эпоксидных муфт;
41. Определение места повреждения в КЛ индукционным методом и методом накладной рамки;
42. Порядок монтажа сухих концевых заделок кабеля;
43. Эксплуатация трансформаторного масла;
44. Порядок монтажа свинцовых кабельных муфт;
45. Эксплуатация измерительных трансформаторов и приборов РЗ и А;
46. Персонал и эксплуатация. Эмоциональная напряженность деятельности персонала энергосистем.
47. Стрессовые ситуации.
48. Производственное обучение и повышение квалификации персонала.
49. Охрана труда персонала энергосистем.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»**

### **а) основная литература:**

1. Васин, Владимир Петрович. Актуальные проблемы эксплуатации электрических станций [Текст] : учеб. пособие / В. П. Васин, 2003. - 160 с.
2. Сибикин, Юрий Дмитриевич. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий [Текст] / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин, 2005. - 400 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст], 2003. - 390 с.; 2005. – 263 с.; 2007. - 315 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Пособие для изучения Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (электрическое оборудование) [Текст] : производственно-практическое издание / Под общ. ред. Ф.Л. Когана, 2000, 2002. - 356 с.
2. Пособие для изучения Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (электрическое оборудование) [Текст] / Под общ. ред. Ф.Л. Когана, 2004. - 351 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей в вопросах и ответах [Текст] / авт.- сост. В. В. Красник, 2004. - 132 с.
4. Межотраслевые типовые инструкции по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст], 2006. - 160 с.
5. Мандрыкин, Сергей Андреевич. Эксплуатация и ремонт электрооборудования станций и сетей [Текст] : учеб. / С. А. Мандрыкин, А. А. Филатов, 1983. - 344 с.
6. Мусаэлян, Эрик Суренович. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций [Текст] : учеб.: доп. Мин. энергетики и электрификации СССР / Э. С. Мусаэлян, 1979. - 464 с.
7. Основы эксплуатации электрооборудования станций и подстанций [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140204 - Электрические станции / АмГУ, Эн.ф., 2007. - 34 с.

### **в) периодические издания:**

1. «Электричество».
2. «Электрические станции».
3. «Энергетик».
4. «Промышленная энергетика».

5. «Электротехника».
6. «Электрика».
7. «Энергохозяйство за рубежом».
8. «Electrical Power and Energy Systems».
9. «IEEE Transactions. Power systems».
10. «Energy Policy».
11. «Вестник ИГЭУ».
12. «Вестник Московского энергетического института».
13. «Известия вузов. Электромеханика».
14. «Известия РАН. Энергетика».
15. «Новости электротехники»
16. «Амурский дилижанс».
17. «Вестник Амурского государственного университета».
18. «Энергетика. Сводный том».
19. «Электротехника. Сводный том»

г) **программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://www.iqlib.ru/">http://www.iqlib.ru/</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.

**10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»**

№ п/п	Наименование лабораторий, ауд.	Основное оборудование
1	2	3
1	509 (6) Лаборатория релейной защиты	Тренажерный комплекс: тренажер оперативных переключений в сетях 10-110-220 кВ ТЭ-2М; тренажер оперативных переключений в сетях 6-10-35 кВ ТРЭС
	207 (6) Лаборатория электрооборудования	Комплекты учебно-лабораторного оборудования, на котором студенты могут изучать устройство электрооборудования и работу блокировок при производстве переключений
2	107 (6) Высоковольтная лаборатория	Учебное распределительное устройство 10 кВ, в состав которого входят ячейки: - секционного выключателя; - отходящей линии - трансформатора напряжения - шинный мост.

## 2. Краткий конспект лекций

### 1. Конструктивное исполнение оборудования

Конструктивное исполнение оборудования определяется тремя факторами: способом защиты от воздействия окружающей среды, способом охлаждения и способом монтажа.

Выбор **способа защиты от воздействия окружающей среды** зависит от места установки оборудования и свойств окружающей среды. Стандартом установлено 10 вариантов климатических исполнений и 5 категорий размещения оборудования.

Нормальные значения температуры внешней среды приведены в Приложении 2 в соответствии с ГОСТ 15150\_69\*. Исполнение У — для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным климатом; УХЛ — для районов с умеренным и холодным климатом; ТС (ТВ) — для районов с тропическим сухим и влажным климатом; М (ТМ) — для районов с умеренно холодным и тропическим морским климатом; Т — для всех районов на суше, имеющих тропический климат; О — для всех районов на суше; Ом — для всех районов на море; В — для всех районов на суше и на море.

Помимо климатических факторов существенное влияние на работу оборудования оказывают и характеристики окружающей среды, которая условно разделена на четыре категории (Приложение Э):

категория I условно-чистая, категория II — промышленная, категория III — морская, категория IV — приморско-промышленная. Оборудование климатических исполнений У, УХЛ, ТС, ТВ, Т предназначается для эксплуатации в окружающей среде категорий I и II, климатического исполнения О — в среде категории IV, климатических исполнений М, ТМ, Ом — в среде категории III, климатического исполнения В — в среде категорий III, IV.

Категория размещения 1 (см. Приложение 2) предусматривает эксплуатацию оборудования на открытом воздухе, категория размещения 2 — эксплуатацию под навесом, при которой отсутствует прямое воздействие осадков и солнечной радиации, категория размещения Э — эксплуатацию в закрытых помещениях, в которых воздействие песка, пыли и колебаний температуры и влажности существенно меньше, чем на открытом воздухе. Категория размещения 4 предусматривает работу оборудования в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями (кондиционирование воздуха), категория размещения 5 — эксплуатацию в помещениях с повышенной влажностью, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке.

Корпус электрической машины, кожух или бак трансформатора и электрического аппарата образуют оболочку, обеспечивающую защиту внутреннего объема электротехнического оборудо-

вания от попадания внутрь твердых предметов и влаги, а также защиту персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями, расположенными внутри оболочки.

*Степень защиты* обозначается латинскими буквами IP и последующими двумя цифрами. Первая цифра характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или подвижными частями, находящимися внутри корпуса (бака), вторая — степень защиты от проникновения влаги внутрь корпуса.

Первая цифра 0 означает, что специальная защита отсутствует; цифра 1 — защита от проникновения твердых тел размером более 50 мм; цифра 2 — защита от проникновения твердых тел размером более 12 мм; цифра Э — защита от твердых тел размером более 1 мм; Цифра 4 — защита от попадания внутрь проволоки или твердых тел размером более 1 мм; цифра 5 — ограничено попадание пыли; цифра б — проникновение пыли полностью предотвращено.

Вторая цифра 0 означает, что защита от проникновения влаги отсутствует; цифра 1 — имеется защита от вертикально падающих капель воды; цифра 2 — защита от капель воды при наклоне корпуса до  $15^\circ$ ; цифра 3 — защита от капель дождя, падающих под углом до  $60^\circ$  к вертикали; цифра 4 — защита от брызг, летящих на оболочку с любого направления; цифра 5 — защита от водяных струй любого направления; цифра б — защита от волн воды; цифра 7 — защита при погружении в воду; цифра 8 — защита при длительном погружении в воду (при условиях, установленных изготовителем).

Если степень защиты выводов трансформатора (или реактора) меньше, чем степень защиты самого трансформатора (реактора), то ее указывают отдельно на табличке с паспортными данными после степени защиты трансформатора. Кроме того, степень защиты электротехнических комплектующих устройств, которые устанавливаются на трансформатор (реактор), должна быть не менее степени защиты самого трансформатора.

Отдельно нормируются степени защиты оборудования, расположенного во взрывоопасных и пожароопасных зонах. Классификация этих зон приведена в Приложении 4, там же представлен необходимый уровень защиты электротехнического оборудования. Взрыво- и пожаробезопасное оборудование имеет ряд специфических отличий от оборудования общепромышленного применения и в данном учебнике не рассматривается.

**Способ охлаждения электрических машин** в соответствии с ГОСТ 20459—87 обозначается латинскими буквами 'С и последующей группой знаков из одной буквы и двух цифр. Латинская буква обозначает вид хладагента, используемого для охлаждения: А (или отсутствие буквы) — воздух, 14 — азот, Н — водород, С — углекислый газ, Е — фреон, 'У — вода, У — трансформаторное масло, Кг — керосин.

Первая цифра обозначает устройство цепи для циркуляции хладагента (от 0 до 9). Например: 0 — свободная циркуляция хладагента между машиной и окружающей средой; 4 — первичный хладагент циркулирует по замкнутому контуру внутри машины и отдает тепло через поверхность корпуса вторичному хладагенту — окружающей среде; 7 — первичный хладагент циркулирует по замкнутому контуру и отдает тепло вторичному хладагенту, не являющемуся окружающей средой, в охладителе, встроенном в электрическую машину.

Вторая цифра определяет способ перемещения хладагента (от 0 до 9). Например: 0 — свободная конвекция хладагента за счет разницы температур при незначительном вентилирующем действии ротора; 1 — самовентилиация за счет вентилирующего действия ротора; 5 — вентиляция при помощи встроенного вентилятора, имеющего независимое от охлаждаемой машины питание; 8 — движение хладагента осуществляется за счет относительного движения машины через хладагент.

**Способ охлаждения силовых трансформаторов** имеет в соответствии с ГОСТ 11677\_85\* буквенное обозначение и зависит от вида изолирующей и охлаждающей среды. Различаются масляные и сухие (воздушные) трансформаторы; трансформаторы, заполненные жидким негорючим диэлектриком; трансформаторы с ли-ТОЙ и с элегазовой изоляцией.

Сухие трансформаторы имеют четыре условных обозначения системы охлаждения: С — естественное воздушное при открытом исполнении; СЗ — то же при защищенном исполнении; СГ — то же при герметичном исполнении; СД — воздушное с принудительной циркуляцией воздуха.

Масляные трансформаторы имеют восемь различных систем охлаждения: М — с естественной циркуляцией масла и воздуха; Д — с естественной циркуляцией масла и принудительной циркуляцией воздуха; МЦ — с естественной циркуляцией воздуха и с принудительной циркуляцией масла с ненаправленным потоком масла; НМЦ — то же, что МЦ, но с направленным потоком масла; ДЦ — с принудительной циркуляцией воздуха и масла (с ненаправленным потоком); И-ДЦ — то же, что ДЦ, но с направленным потоком масла; Ц — с принудительной циркуляцией воды и масла (с ненаправленным потоком); НЦ — то же, что Ц, но с направленным потоком масла.

Трансформаторы с жидким негорючим диэлектриком имеют три системы охлаждения: Н — естественное охлаждение; НД — то же, что Н, но с принудительной циркуляцией воздуха; ПНД — с принудительной циркуляцией воздуха и направленным потоком жидкого диэлектрика.

Конструктивное исполнение электрических машин по способу монтажа оговорено в ГОСТ 2479\_79\*. Условное обозначение этого исполнения состоит из латинских букв 'М и четырех цифр (от 1 до 9 — первая цифра и от 0 до 9 — остальные).

Первая цифра обозначает конструктивное исполнение машины. Например: 1 — Машина на лапах с подшипниковыми щитами; 3 — машина без лап с подшипниковыми щитами; 5 — машина без подшипниковых щитов; 7 — машина на лапах со стояковыми подшипниками; 8 — машины с вертикальным валом.

Вторая и третья цифры обозначают способ монтажа. Например: 00 — машина устанавливается выходным концом вала горизонтально влево; 03 — машина устанавливается выходным концом вала Вертикально вверх; 07 — машина устанавливается выходным концом вала горизонтально вправо.

Четвертая цифра обозначает исполнение выходного конца вала. Например: 0 — машина не имеет выходного конца вала; 1 — имеет один цилиндрический конец вала; 2 — имеет два цилиндрических конца вала; 3 — имеет один конический конец вала; 5 — имеет один фланцевый конец вала.

### **1.3. Виды технического обслуживания**

Техническое обслуживание включает регулярные осмотры электрического и электромеханического оборудования и технические мероприятия в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя, проводимые по специальному графику и программе. В состав ТО входят также ремонты оборудования, различающиеся по своему объему. Поскольку ТО за исключением внешних осмотров проводится на неработающем оборудовании при снятом напряжении, то графики ТО должны быть согласованы с графиками работы основного технологического оборудования.

Электрическое и электромеханическое оборудование по своему функциональному назначению делится на основное и вспомогательное. К основному относится оборудование, без которого невозможно проведение нормального технологического процесса по выпуску продукции. К вспомогательному относится электрическое и электромеханическое оборудование, служащее для улучшения условий труда и повышения его производительности, а также для соблюдения экологических или иных нормативов производства. Его отказ не приводит к перерывам в основном технологическом процессе.

Основная цель ТО, как указывалось ранее, заключается в обеспечении надежной работы, исключая поломки и отказы электрического и электромеханического оборудования. Однако эти аварии могут происходить не только по причине плохой эксплуатации, но и вследствие на-

рушения стандартов качества электрической энергии, содержащихся в ГОСТ 13 109—97. Аварии и отказы приводят к материальным и экономическим ущербам на производстве. Поэтому выявление причин отказов и аварий также является задачей эксплуатации. Для этого необходимо проводить мониторинг качества электроэнергии, чтобы энергоснабжающие компании несли свою долю ответственности за нарушение условий договора энергоснабжения.

Поскольку стоимость ТО входит в себестоимость готовой продукции, то вопрос о необходимом объеме ТО в настоящее время является в большинстве случаев чисто экономическим. На сегодняшний день существуют три системы ТО:

практически без обслуживания («не трогай, пока не сломается»);

планово-предупредительная система обслуживания и ремонтов (ППР);

обслуживание с ремонтами по мере необходимости.

Первый вид ТО встречается применительно к вспомогательному электрооборудованию типа освещения, вентиляции и электронагревательных устройств. Стоимость такого оборудования, как правило, невелика, что позволяет иметь на предприятии его необходимый резерв и проводить в случае надобности его быструю замену.

Второй вид ТО на сегодня является основным. Он применяется для основного и большей части вспомогательного оборудования. ППР предусматривает плановые (по графику) осмотры и ремонты электрического и электромеханического оборудования. При этом контроль за текущей нагрузкой, качеством электроэнергии и другими режимными параметрами не предусматривается. Функции Контроля за отклонением режимных параметров от расчетных возлагаются на системы защиты оборудования.

Основным недостатком системы ППР является возможность отправки в ремонт исправного оборудования, поскольку оценка его износа осуществляется косвенным путем по количественным показателям. Так, для коммутационных аппаратов критерием износа служит число Отключений (включений) без учета токов отключения, которые и определяют их износ. Для электрических машин и трансформаторов критерием является время работы без учета реальной нагрузки и т. д. А поскольку стоимость ТО входит в себестоимость продукции, то стремление к уменьшению издержек производства приводит к стремлению уменьшить стоимость ТО за счет рационализации ремонтов. В этой связи в начале 1990-х годов в мировую практику начал внедряться третий вид ТО.

Третий вид ТО обеспечивает необходимый уровень надежности работы оборудования при минимальной стоимости обслуживания. Применение этого вида ТО требует мониторинга режимов работы электрического и электромеханического оборудования, а также контроля усло-

вий окружающей среды. Мониторинг осуществляется с помощью системы датчиков, сигналы от которых передаются на микропроцессоры и далее на ЦВМ пункта управления. Последняя с помощью математических моделей надежности обрабатывает полученную информацию и выдает данные по уровню надежности и необходимости ремонта оборудования. К достоинствам этого вида ТО относится выведение из эксплуатации только того оборудования, ремонт которого объективно необходим. В первую очередь этот вид ТО распространяется на наиболее ответственное и дорогостоящее оборудование.

В дальнейшем будет рассматриваться система ППР как наиболее распространенная в настоящее время.

#### **1.4. Виды и причины износов электрического**

и электромеханического оборудования

В процессе эксплуатации происходит износ электрического и электромеханического оборудования. Условно по характеру физических процессов, лежащих в его основе, можно выделить три вида износа: механический, электрический и моральный.

Механический износ является следствием длительных и многократных знакопостоянных или знакопеременных механических воздействий на отдельные узлы и детали оборудования. В результате этих воздействий их первоначальные форма и качество ухудшаются. Так, в электрических машинах подвержены износу трущиеся детали — коллектор, контактные кольца, щетки, подшипники, шейки валов, а в электрических аппаратах — контактные поверхности, пружины и др. Под влиянием перечисленных воздействий истирается изоляция в местах выхода проводников обмотки из пазов электрических машин, смежных витков обмоток трансформаторов и электрических аппаратов. Абразивное истирание узлов и деталей оборудования происходит под влиянием твердых частиц (пыли), содержащихся в окружающей атмосфере.

Электрический износ приводит к невозможности восстановления электроизоляционными материалами своих изоляционных свойств. Износ изоляции происходит под действием четырех основных факторов: тепловых, электрических, механических, а также окружающей среды, с повышением температуры уменьшаются механическая прочность твердой изоляции и коэффициент теплопередачи, при тепловом расширении изоляции ослабляется ее структура, возникают внутренние термомеханические напряжения, которые особенно велики в жестко связанных изоляционных системах со значительно отличающимися коэффициентами теплового расширения. В процессе износа в изоляции могут накапливаться продукты ее распада, приводящие к появлению газовых пузырей и проводящих примесей, которые снижают ее пробивное напряжение. Тепловое воздействие делает твердую изоляцию уязвимой для механических воздействий.

Электрические воздействия на изоляцию определяются уровнем напряжения оборудования. Наибольшее влияние на износ оказывают коммутационные и атмосферные перенапряжения, которые приводят к резко неравномерному распределению напряжения вдоль катушки (обмотки) и могут вызвать ее пробой. Неравномерное распределение напряжения характерно и для обмоток электрических машин, питаемых от преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией. Условия работы изоляции ухудшаются вследствие атмосферных воздействий, в частности влаги и вредных химических примесей, содержащихся в окружающем воздухе. Наличие влаги в изоляции может существенно уменьшить механическую прочность твердой изоляции, усилить процессы ионизации, ускорить ее химическое старение.

Механические воздействия появляются из-за вибрации оборудования, из-за протекания переменных токов по его обмоткам, приводящим к возникновению знакопеременных электродинамических усилий, из-за центробежных сил в подвижных и вращающихся частях. Причем механические усилия, действующие твердую изоляцию в аварийных режимах (как правило, в режимах короткого замыкания), могут в сотни раз превосходить усилия, действующие в нормальных режимах.

В результате этих воздействий может происходить пробой изоляции, а на частях оборудования, не находящихся в нормальных условиях под напряжением, могут появляться высокие электрические потенциалы. Устранение этого вида износа обычно требует капитального ремонта электрического и электромеханического оборудования.

Моральный износ обусловлен появлением в эксплуатации нового оборудования, характеризующегося более высокими технико-экономическими показателями (большие КПД, производительность, меньшая стоимость, более высокая надежность работы и т. д.). В этих условиях дальнейшее использование устаревшего оборудования является нецелесообразным из-за повышенных издержек, приводящих к более высокой стоимости готовой продукции по сравнению со стоимостью аналогичной продукции, произведенной на новом, технически более совершенном оборудовании. Только изменением конструкции и улучшением технических показателей действующего оборудования при капитальном ремонте в процессе модернизации можно продлить сроки его экономически оправданной эксплуатации.

Приведенная классификация износов электрического и электромеханического оборудования является в известной мере условной, так как все три типа износа нельзя рассматривать в отрыве друг от друга. Например, на механический износ токоведущих частей сильное влияние оказывают плотность тока, температура и влажность окружающей среды; на электрический износ изоляции сильное влияние оказывают механические факторы (вибрация, термомеханиче-

ские усилия, абразивный износ). На ухудшение технических характеристик оборудования и, следовательно, на его моральный износ оказывает влияние степень его механического и электрического износа. Тем не менее раздельный анализ видов износа электрического и электромеханического оборудования позволяет более полно выявить физические факторы, лежащие в основе этих процессов, выработать меры по ослаблению их влияния на работу оборудования.

### **1.5. Классификация ремонтов электрического и электромеханического оборудования**

Важнейшим условием правильной эксплуатации электрического и электромеханического оборудования является своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов и периодических профилактических испытаний.

Наряду с повседневным уходом и осмотром оборудования в соответствии с системой ПНР через определенные промежутки времени проводят плановые профилактические осмотры, проверки (испытания) и различные виды ремонта. С помощью системы ПНР оборудование поддерживается в работоспособном состоянии, частично предотвращаются случаи его отказа. При плановых ремонтах в результате модернизации оборудования улучшают его технические параметры.

При планировании и организации ремонтов следует иметь в виду, что электрическое и электромеханическое оборудование может иметь ремонтпригодную и неремонтпригодную конструкцию. В последнем случае вместо ремонта оборудования осуществляют его замену.

*По объему* ремонты делятся на текущие, средние и капитальные. К— *текущим* относятся ремонты, проводимые во время эксплуатации оборудования для гарантированного обеспечения его работоспособности и состоящие в замене и восстановлении его отдельных частей и в их регулировке. Текущий ремонт проводится на месте установки оборудования с его остановкой и отключением. При среднем ремонте проводится полная или частичная разборка оборудования, ремонт и замена изношенных деталей и узлов, восстановление качества изоляции. В этом случае достигается восстановление основных технических показателей работы оборудования. При капитальном ремонте проводится полная разборка оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая обмотки, при этом достигается полное (или близкое к нему) восстановление ресурса оборудования. В настоящее время в основном используют два вида ремонта: текущий и капитальный, хотя для отдельных видов оборудования предусмотрен и средний ремонт.

*По назначению* ремонты делятся на восстановительный, реконструкцию и модернизацию. Восстановительный ремонт осуществляется без изменения конструкции отдельных узлов и все-

го устройства в целом. Технические характеристики оборудования остаются неизменными. При реконструкции возможны изменение конструкции отдельных узлов и замена отдельных материалов, из которых они изготовлены, при практически неизменных технических характеристиках оборудования. При модернизации благодаря замене и усовершенствованию существующих узлов и применяемых материалов предполагается существенно улучшить технические характеристики оборудования, приблизив их к характеристикам нового современного оборудования.

*По методу проведения* ремонты делятся на принудительный и послеосмотровый. *Принудительный метод* применяется

в основном для ответственного оборудования. Суть его состоит в том, что через определенные промежутки времени электрическое и электромеханическое оборудование в обязательном порядке подвергают капитальному ремонту, также через определенные промежутки времени проводят текущие и средние ремонты в соответствии с длительностью ремонтного цикла и его структурой. При этом ресурс оборудования между ремонтами полностью не используется, и в ремонт может попасть исправное оборудование.

Поэтому данный вид ремонта является наиболее дорогим.

При *послеосмотровом методе* ремонта электрическое и электромеханическое оборудование подлежит капитальному ремонту

только после осмотра и профилактических испытаний во время очередной ревизии или текущего ремонта. Ресурс оборудования используется при этом методе ремонта полностью, поэтому стоимость ремонтов меньше. Однако из-за возможности внеочередного незапланированного ремонта усложняется процесс его проведения и может увеличиться его длительность. С принудительного на послеосмотровый метод ремонта можно переводить оборудование массового применения, не отнесенное к основному и имеющее достаточный обменный парк.

*По форме организации* ремонты разделяются на централизованную, децентрализованную и смешанную формы. При централизованной форме ремонт, испытания и наладка электрического и электромеханического оборудования осуществляются специализированными ремонтно-наладочными предприятиями без использования местных ремонтно-эксплуатационных служб. К этой форме ремонта относится и фирменное ТО (в настоящее время проводится в отношении ответственного импортного оборудования). Усовершенствование этой формы ремонта предполагает создание центрального обменного фонда оборудования и расширение его номенклатуры, а также распространения сферы услуг ремонтных предприятий на проведение текущих ремон-

тов и профилактического обслуживания. Централизованная форма ремонта обеспечивает наиболее высокое качество работ.

При децентрализованной форме ремонт, испытания и наладка оборудования осуществляются ремонтными службами предприятия, на котором установлено это оборудование. При смешанной форме ремонта часть работ выполняется централизованно (сторонними организациями), а часть — децентрализованно (собственными ремонтными службами). Степень централизации зависит от характера предприятия, типа и мощности оборудования.

При планировании ремонтного производства вводится понятие ремонтного цикла, определяемого календарным временем между двумя плановыми капитальными ремонтами. Для вновь вводимого в эксплуатацию оборудования под ремонтным циклом понимается календарное время от ввода в эксплуатацию до первого планового капитального ремонта.

Продолжительность ремонтного цикла определяется условиями эксплуатации, требованиями к показателям надежности, ремонтпригодностью, правилами технической эксплуатации и инструкциями завода-изготовителя электрического и электромеханического оборудования. Обычно ремонтный цикл исчисляется, исходя из восьми- часового рабочего дня при 41-часовой рабочей неделе (для оборудования специализированных производств в расчет ремонтного цикла может быть введен конкретный график работы этого оборудования). Реальная сменность работы оборудования и условия его работы учитываются соответствующими эмпирическими коэффициентами.

При определении длительности ремонтного цикла используют график распределения частоты отказов технических изделий от времени, так называемую «кривую жизни» (рис. 1.3). На этом графике можно вычлнить три области: область 1 — время после- ремонтной приработки, когда вероятность появления отказов повышается из-за возможного применения при ремонте некачественных материалов, несоблюдения технологии ремонта и т. п.; область 2 — нормальный этап работы оборудования с практически неизменной частотой отказов во времени, область 3 — время старения отдельных узлов и оборудования в целом.

Для предотвращения отказов при эксплуатации в период приработки осуществляют замену дефектных узлов и деталей исправными и, если это возможно, приработку отдельных узлов. для ответственного оборудования приработку проводят непосредственно на заводе-изготовителе или ремонтном предприятии. В период нормальной эксплуатации (область 2) происходят внезапные отказы, которые носят случайный характер. В дальнейшем увеличение частоты отказов оборудования связано с его износом и физическим старением (область 3), при ко-

торых наблюдается существенное ухудшение рабочих свойств изоляции, электрических контактных поверхностей, подшипников и механически нагруженных узлов. Поэтому длительность ремонтного цикла не должна превышать длительности нормального участка работы 2 (См. рис. 1.3).

При планировании структуры ремонтного цикла (видов и последовательности чередования плановых ремонтов) исходят из следующих соображений. В каждом виде электрического и электромеханического оборудования наряду с быстро изнашивающимися узлами и деталями (щетками, подвижные и неподвижные контакты, подшипники и др.), восстановление которых обычно проводится путем их замены на новые или в результате незначительного ремонта, имеются узлы и детали с большим сроком износа (обмотки, механические детали, коллекторы и т. п.), восстановление которых проводится путем достаточно трудоемкого и занимающего много времени ремонта. Поэтому во время эксплуатации электрического и электромеханического оборудования между капитальными ремонтами оно подвергается нескольким более легким текущим (или средним) ремонтам. Проведение текущих ремонтов, как Правило, не требует специальной остановки основного технологического оборудования, в то время как капитальный ремонт при отсутствии резервного оборудования связан с приостановкой основного технологического процесса. Поэтому длительность ремонтного цикла следует по возможности согласовывать с межремонтным периодом основного технологического оборудования.

Обычно ремонты планируют на календарный год с разбивкой по кварталам и месяцам. Такое планирование называется текущим. Наряду с текущим осуществляется и оперативное планирование с использованием сетевых графиков.

### **1.6. Классификация помещений с электроустановками**

Под электрическими установками понимается совокупность электрических машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи и распределения электрической энергии, а также для преобразования ее в другой вид энергии. Иными словами, все электротехническое и электромеханическое оборудование подпадает под определение «электрические установки», и к нему применяются соответствующие нормы и правила, оговоренные в Правилах устройства электроустановок.

По условиям электробезопасности электрические установки разделяются по уровню рабочего напряжения на установки с напряжением до 1 кВ и установки с напряжением свыше 1 кВ. По месту размещения электрические установки могут быть открытыми (или наружными) и закрытыми (или внутренними). В первом случае электрические установки не защищены от ат-

мосферных воздействий, во втором - защищены. Установки, защищенные сетками или навесами, относятся к открытым.

В отношении опасности поражения людей электрическим током помещения с электрическими установками разделяются на три группы. К первой относятся помещения с повышенной опасностью, в которых имеется одно или несколько условий, создающих повышенную опасность: наличие сырости или токопроводящей пыли (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %, а пыль может оседать на проводах и попадать внутрь машин и аппаратов); наличие токопроводящих полов (металлические, земляные, кирпичные и т. п.); наличие высокой температуры (температура постоянно превышает +35 °С); возможность прикосновения человека к имеющим соединения с землей металлическим конструкциям зданий и технологическим механизмам с одной стороны и к металлическим корпусам электрических установок — с другой.

Ко второй группе относятся особо опасные помещения, в которых имеется: особая сырость (относительная влажность воздуха близка к 100%, потолок, пол и стены покрыты влагой); химически активная или агрессивная среда (длительно содержатся агрессивные пары, газы и жидкости, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрических установок); два или более условий повышенной опасности.

К третьей группе относятся помещения без повышенной опасности (отсутствуют условия повышенной или особой опасности). Территории, на которых размещаются наружные электрические установки, относятся к особо опасным помещениям.

Помещения, предназначенные для монтажа и эксплуатации электрического и электромеханического оборудования, должны удовлетворять следующим требованиям. Расстояние между элементами здания и перемещаемыми к месту монтажа электрическими установками должно быть не менее 0,3 м по вертикали и не менее 0,5 м по горизонтали. Ширина проходов между электрическими установками и элементами здания — не менее 1 м. Для оборудования с напряжением до 1 кВ ширина прохода между машинами и щитами управления должна быть не менее 2 м, а при открытых дверцах щита — не менее 0,6 м.

В помещениях с электрическими установками должны быть предусмотрены площади для ремонта и монтажа оборудования, а также необходимые для этого грузоподъемные механизмы. Монтаж электрического и электромеханического оборудования должен проводиться так, чтобы при его работе шум и вибрации не превышали допустимых пределов.

### ***Контрольные вопросы***

1. Каковы основные этапы и цели технической эксплуатации?

2. В каком виде транспортируются к месту установки (хранения) трансформаторы, электрические машины и аппараты?
3. Назовите климатические исполнения оборудования. Воздействие каких факторов внешней среды оно учитывает?
4. Какие категории размещения оборудования вы знаете и в чем их отличие друг от друга?
5. Назовите существующие в настоящее время системы технического обслуживания. Чем они отличаются?
6. Назовите виды износов оборудования и причины их возникновения.
7. Приведите классификации ремонтов. Каковы достоинства и недостатки различных форм организации ремонта?
8. Чем характеризуются три области «кривой жизни технического изделия»?
9. Что такое ремонтный цикл и из каких соображений выбирается его длительность?
10. Каковы требования к помещениям, в которых проводятся электроремонтные работы?

## **МОНТАЖ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Электроснабжение потребителей осуществляется с помощью электрических сетей, по которым электроэнергия передается от источников к потребителям и распределяется между ними. Основные определения терминов, относящихся к электрическим сетям, приведены в Приложении 6.

Монтаж распределительных электрических сетей и осветительных установок выполняется в соответствии с требованиями Строительных норм и правил (СНиП), Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и монтажных инструкций заводов-изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии конструктивного исполнения оборудования (см. § 1.2) и категории его размещения (см. § 1.6) условиям его эксплуатации.

Серьезно различаются правила, порядок, способы и организация монтажа электрооборудования и сетей, предназначенных для работы при напряжениях до 1000 В и более 1000 В. Монтировать высоковольтное оборудование намного труднее, чем низковольтное, так как оно характеризуется большей сложностью, значительными объемами и массой. Требования к его установке также значительно ужесточены.

Перед началом монтажа следует иметь ясное представление о монтируемом оборудовании, объемах, характере и условиях монтажа. Необходимо подробно ознакомиться с проектом

оборудования, техническими условиями для монтируемой аппаратуры, чертежами и нормами завода-изготовителя, требованиями заказчика, а также с соответствующими стандартами и нормами.

Необходимо разработать или получить точный план установки оборудования и произвести осмотр территорий и помещений, предназначенных для монтажа. Все строительные работы, включая фундаменты, должны быть окончены к началу электромонтажных работ. После этого выбирается типовой технологический процесс монтажных работ, который развивается и уточняется с максимально достижимой детализацией операций, и намечается календарный план выполнения работ.

Технологический процесс монтажа составляется по обобщенной схеме:

Предварительные работы	Производство монтажа
1. Приемка поступающего оборудования	1. Подготовка мест установки оборудования
2. Ознакомление с местами установки оборудования	2. Установка оборудования
3. Заготовка материалов, инструмента и приспособлений	3. Электромонтажные работы
	4. Пусконаладочные работы

Электроснабжение потребителей осуществляется по воздушным и кабельным линиям. Кабели на напряжение 10 кВ и выше используют вместо воздушных линий для электроснабжения в городах, где земля сравнительно дорога и требования к условиям безопасности линий электропередач очень жесткие, а также на территориях промышленных предприятий. Поэтому в книге рассматриваются кабельные линии.

### **2.3. Монтаж электрического освещения**

Совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, а также изолирующими, поддерживающими и защитными конструкциями, предназначенными для осветительных установок, называется осветительными электропроводками. Виды, типы и формы осветительных электропроводок и светильников, применяемых на различных объектах, выбираются в зависимости от характера, общего состояния и технологической среды помещений. По форме осветительные установки делятся на стационарные и переносные, которые в свою очередь могут быть внутренними или наружными.

Напряжение сети питания для стационарного освещения в обоих случаях принимается равным, как правило, 380/220 В, а сеть выполняется с заземленной нейтралью. В особых и опасных условиях, а также для переносного освещения используются сети с пониженным напряжением (до 42 В или даже до 12 В).

Для светильников, располагаемых на высоте менее 2,5 м от пола в помещениях, относящихся к категории особо опасных и с повышенной опасностью, необходимо применять светильников, конструкция которых исключает возможность доступа к лампе без применения инструмента. Ввод проводов в светильник осуществляется в этом случае в трубах, металлорукавах или защитных оболочках кабелей. При непосредственном вводе проводов для питания светильников используется напряжение не выше 42 В. для ручных переносных ламп и электрифицированного инструмента должны использоваться сети напряжением не выше 42 В, а для переносных ламп при работе внутри металлических отсеков (например, котлов) — не выше 12 В.

Присоединение сети напряжением 12... 42 В к общей сети освещения 380/220 В выполняется с помощью трансформаторов, применение для этих целей автотрансформаторов не допускается. Вилки к электрическим розеткам на напряжение 12... 42 В не должны подходить к розеткам на напряжение 220 В. для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания в помещениях без повышенной опасности должны применяться напряжения не выше 220 В, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — не выше 42 В. допускается как исключение применение напряжения до 220 В для светильников специальной конструкции, являющихся составной частью аварийного освещения с независимым источником питания, при их установке в помещениях с повышенной опасностью (но не особоопасных).

В зависимости от назначения освещение подразделяется на общее рабочее, местное и аварийное.

Общее освещение обеспечивает в помещении и на рабочих местах определенную освещенность, соответствующую нормам в зависимости от характера помещения и выполняемым в нем работ.

Местное освещение предназначается для освещения поверхности только на рабочих местах.

Аварийное освещение выполняется отдельно от рабочего и местного. При нормальном режиме работы сеть аварийного освещения питается от того же щита переменного тока, что и рабочее освещение. При аварийном исчезновении напряжения на питающем щите 380/220 В сеть аварийного освещения автоматически переключается на питание постоянным током от аккумуляторной батареи.

Электротехнические материалы и изделия, применяемые при монтаже осветительных проводок, называются установочными. К ним относятся провода, кабели, изоляторы, ролики, стальные трубы, рукава, коробки, лотки, коробки осветительные, выключатели, патроны, электрические розетки и др.

**Провод** может состоять:

из одной неизолированной или одной и более изолированных жил, поверх которых в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может устанавливаться неметаллическая оболочка или оплетка;

из одной или нескольких изолированных проволок, имеющих общую обмотку или оплетку из изолирующего материала. Изоляция проводов выполняется из резины или поливинилхлорида.

**Шнуром** называют провод с особо гибкими изолированными жилами, каждая сечением не более 1,5 мм<sup>2</sup>.

Провода и шнуры, как и кабели, различают по маркам в зависимости от Материала и изоляции токопроводящих жил, наличия и конструкции защитной оболочки и других конструктивных особенностей. Марка состоит из буквенного обозначения: первая буква указывает на Название изделия (П — провод, Ш — шнур); вторая обозначает материал изоляции жил (Р — резиновая, В — поливинилхлоридная, Н — найритовая резина); третья указывает на наличие и материал защитной оболочки или оплетки (П — панцирная оплетка из тонких оцинкованных проволок, Ф — металлическая фальцованная оболочка).

В специальных проводах особенность конструкции провода отражается буквой Т, размещаемой впереди обозначения. Это означает, что провод либо трубчатый, либо его жилы оплетены вокруг троса.

В проводах и шнурах с медными жилами материал жил в буквенном обозначении не отражается. В проводах с алюминиевыми жилами материал жилы отражается буквой А впереди буквенного обозначения. Буква Г, размещаемая, как правило, в конце обозначения, указывает, что провод имеет гибкую жилу.

Монтаж осветительных цепей осуществляется проводом, указанным в проекте. Замена допускается только по согласованию с проектной организацией и при условии внесения соответствующего изменения в проектную документацию.

Основные виды осветительных электропроводок:

открытая прокладка по стенам и под перекрытиями кабелей марок АВРГ, АВВГ, А}{РГ, ВРГ, ВВГ или плоских проводов АПН, АППВ, ППВ (рис. 2.16) или проводов АТПРФ, ТПРФ;

скрытая проводка в резиновых (полутвердых) трубках проводами АПР, АПВ, ПР, ПВ или без трубок проводами АППВС, АПН;

тросовая прокладка тросовыми проводами АРТ, АВТ-1, АВТ-2 (рис. 2.17) или на струне кабелями АВРГ, АВВГ, АНРГ или проводом АТПРФ (рис. 2.18);

в стальных трубах проводами АПР, АПВ, АПРТО, ПР, ПВ, ПРТО (рис. 2.19);  
 в коробах проводами АПР, АПВ, АПРТО или проводами РКГМ, ПРКС с теплостойкой изоляцией (рис. 2.20);

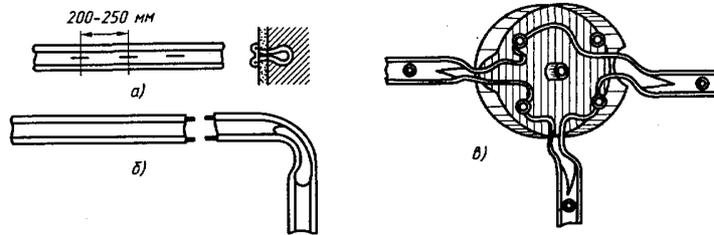


Рис. 2.16. Прокладка проводок АППВ и ГППВ:

а — крепление проводов с помощью полосок с пряжками; б — изгибание провода;  
 в — ввод проводов в коробку

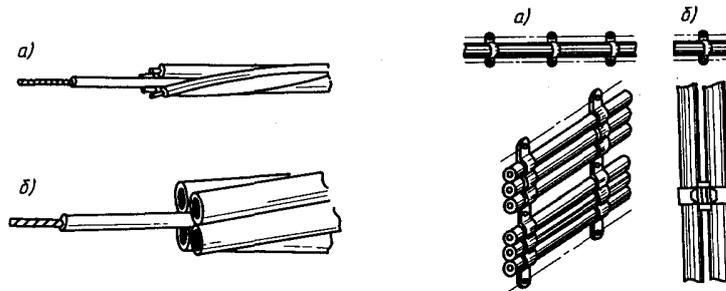


Рис. 2.17. Тросовый провод АРТ:

а — сечением  $4 \times 6 \text{ мм}^2$   
 б —  $4 \times 35 \text{ мм}^2$

Рис. 2.18. Крепление кабелей АВРГ, АВВГ, АНРГ и проводов АТПРФ скобками (а) и полосками с пряжками (б)

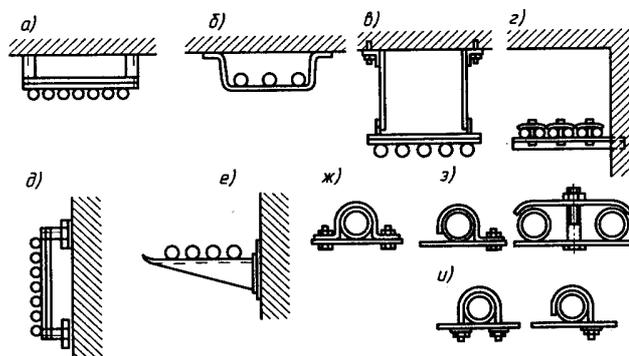


Рис. 2.19. Опорные и крепежные конструкции и детали для трубных электропроводок:

а, б, в — потолочные опорные конструкции из уголка, перфорированной полосы и на подвесках соответственно; г, д, е — настенные опорные конструкции и кронштейны; ж, з, и — хомуты, полухомуты, двухлапковые и однолапковые скобы и

накладки для крепления труб к опорным конструкциям  
проводами на роликах или изоляторах — АПР, АПВ, ПР, ПВ.

*Фарфоровые изоляторы* применяются в качестве изолирующих опор при монтаже неизолированных и изолированных проводов в наружных установках, а также при монтаже изолированных проводов в сырых, особо сырых и влажных помещениях и в помещениях с химически агрессивной средой (рис. 2.21).

*Фарфоровые ролики* применяются в качестве изолирующих опор при открытой прокладке изолированных проводов в сухих и влажных помещениях, а также вне помещений под навесом.

*Фарфоровые втулки* устанавливаются при устройстве проходов через стены, перегородки и междуэтажные перекрытия. Тип втулки выбирается в зависимости от диаметра изоляционной трубки, устанавливаемой в проходе.

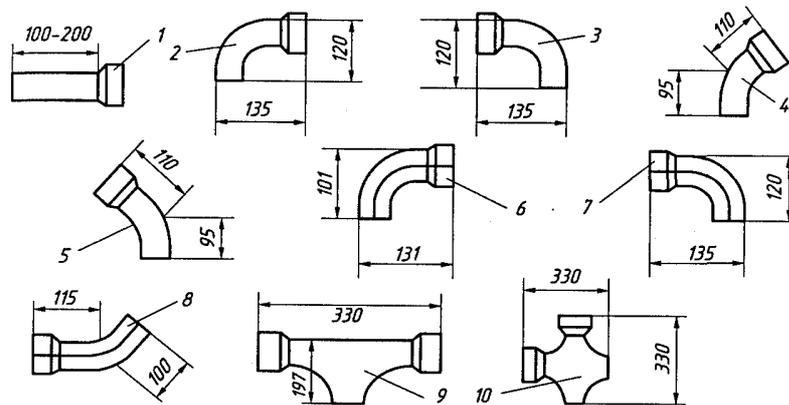


Рис. 2.20. Короба и детали для прокладки осветительных проводов:

1 — прямая секция; 2— левый угол 90° (УЛ -90°); 3— правый угол 90° (УП -90°);  
4— левый угол 135° (УЛ-135°); 5 — правый угол 135° (УП-135°); 6 — внешний  
угол 90° (УВН-90°); 7— внутренний угол 90° (УВТ-90°); 8— внешний угол 135°  
(УВН-135°) и внутренний угол 135° (УВТ-135°); 9, 10— ответвительная коробка  
на три (КиИ) и четыре (КиУ) направления соответственно

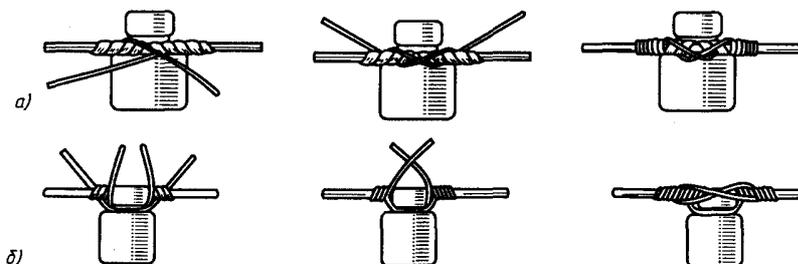


Рис. 2.21. Крепление проводов на изоляторах:  
а — на шейке; б — на головке

Лекция 3 (4ч)

## МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Монтаж электрических машин, электроприводов, трансформаторов и трансформаторных подстанций выполняется в соответствии с требованиями СНиП, ПУЭ и монтажных инструкций заводов-изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии исполнения оборудования (см. § 1.2) условиям его эксплуатации.

Перед началом монтажа следует иметь ясное представление о монтируемом оборудовании, объемах, характере и условиях монтажа. Необходимо подробно ознакомиться с проектом оборудования, данными машин и аппаратов (по каталогу или с натуры), техническими условиями для монтируемой аппаратуры, чертежами и нормами завода-изготовителя, требованиями заказчика, а также с соответствующими стандартами и нормами.

### **3.1. Инженерная подготовка монтажа электрического**

**и электромеханического оборудования**

Способы монтажа чрезвычайно разнообразны ввиду очень большого диапазона мощностей, конструктивных решений, типов и форм исполнения оборудования. Кроме того, поскольку монтаж обычно производится у потребителя, а не в сборочных цехах завода, то организация и приемы монтажа отличаются своей спецификой. В частности, это проявляется в том, что работы по монтажу стремятся выполнять наиболее простыми средствами.

В России, как и в других индустриально развитых странах, функционируют специализированные организации по производству электромонтажных работ, обычно действующие по договорам подряда с заказчиком и построенные по территориальному признаку. Эти монтажные организации занимаются не только монтажными и пусконаладочными работами, но и разработкой отдельных научно-технических проектов, изготовлением изделий и конструкций, не выпускаемых промышленностью серийно. На крупных промышленных предприятиях, особенно в периоды реконструкции производства, часто создаются собственные электромонтажные цехи или участки.

для качественного выполнения электромонтажных работ при минимальных затратах труда и материальных ресурсов необходимо провести инженерную подготовку, включающую разработку:

технического проекта на базе изучения проектно-сметной документации электрической части соответствующего энергетического объекта;

экономического обоснования; проекта организации работ;

проекта производства работ (ППР);

необходимых чертежей, монтажных схем и технологических карт на проведение работ; сетевых графиков на проведение монтажных и пусконаладочных работ.

На основании ППР оформляются спецификации и заявки на необходимые монтажные механизмы, оборудование и приспособления, инвентарные устройства, инструменты и монтажные материалы, а также на электромонтажные изделия, электрические конструкции, блоки и узлы, подлежащие изготовлению на заводах и в центральных монтажно-заготовительных мастерских.

Кроме того, в процессе подготовки к монтажу и монтажа необходимо обеспечить:

комплектование и своевременную доставку на объекты необходимых материально-технических ресурсов;

контроль за поступлением материалов и комплектующих изделий в монтажно-заготовительные мастерские для изготовления монтажных блоков, узлов и нестандартного оборудования и их комплектование;

контроль за своевременным исполнением заказов на монтажные блоки, узлы и нестандартное оборудование, а также за качеством работ монтажно-заготовительных мастерских;

комплектование и доставку готовой продукции мастерских на монтажные объекты.

Инженерная подготовка производства выполняется специальными группами подготовки производства или инженерно-техническими работниками — прорабами и мастерами, на которых возложено руководство монтажными работами. На группу подготовки производства возлагаются также функции получения, проверки, обработки, учета и хранения проектной и сметной документации по всем объектам монтажа. В случае необходимости группой проводится корректировка проекта с целью максимального повышения уровня индустриализации монтажных работ, а также возможной замены нестандартных конструкций на типовые.

В качестве основного технического документа при производстве электромонтажных работ выступает утвержденный Проект электроустановки (ПЭ). В строгом соответствии с ним должны производиться все электромонтажные работы. Какие-либо изменения в проект могут быть внесены только по согласованию с проектной организацией — автором проекта. К главным документам, в соответствии с требованиями которых производятся работы, относятся действующие ПУЭ и строительные нормы и правила. На их основе разрабатываются ПНР, монтажные инструкции и технологические карты, а также заводские инструкции на поставляемое оборудование и материалы. Выполнение электромонтажных работ на объектах без ПНР не допускается.

Крупный проект производства работ по монтажу электрооборудования должен содержать:

локальный сетевой график электромонтажных работ, увязанный с комплексным сетевым графиком строительства объекта;

график движения рабочей силы;

строительный генеральный план энергетического объекта с расположением постоянных и временных транспортных путей, схем энергоснабжения, водоснабжения, мастерских, складов, бытовых помещений и других сооружений и устройств, необходимых для нужд электромонтажа;

ведомость физических объемов электромонтажных работ;

укрупненные калькуляции трудовых затрат;

ведомость основного электротехнического оборудования с указанием сроков комплектации оборудования;

ведомость основных вспомогательных материалов;

ведомость конструкций и изделий, подлежащих изготовлению на заводах монтажных изделий или в монтажно-заготовительных мастерских;

ведомость монтажных узлов и блоков, подлежащих предварительной укрупненной сборке в монтажно-заготовительных мастерских;

ведомость монтажных машин, механизмов, аппаратов, приспособлений, инструментов и инвентарных устройств;

технологические карты на работы, выполняемые по новой технологии, не получившей широкого распространения;

схемы такелажа крупногабаритного и тяжеловесного оборудования;

решения по технике безопасности, требующие проектной разработки;

краткую пояснительную записку, содержащую необходимые обоснования принятых в ПНР основных решений и методов производства работ.

Объем электромонтажных работ при составлении ППР определяется по рабочим чертежам и сметам, а потребность в материальных ресурсах — по спецификациям, составленным по рабочим чертежам и действующим нормам.

Монтажные инструкции — это директивные документы, регламентирующие технологию выполнения работ в общем виде. детально работы описываются в технологических картах трудовых процессов.

Технологические карты предназначены для обеспечения передовой технологии монтажного процесса при выполнении работ по монтажу отдельных элементов электротехнического узла или отдельных узлов электротехнических устройств. Технологические карты на сложные работы и работы, выполняемые новыми методами, не получившими широкого распространения, должны разрабатываться в составе ППР.

Технологические карты содержат как технологическую последовательность выполнения работ, так и описание приемов и методов труда, перечень механизмов, приспособлений и инструмента, график трудового процесса, калькуляцию затрат труда, схемы организации рабочих мест, число необходимых работников определенной квалификации, нормы времени и расценки на выполнение работ. Таким образом, в технологических картах должны быть разработаны следующие разделы:

технико-экономические показатели монтажных работ (физические объемы работ, трудоемкость работ в человеко-днях, выработка на одного рабочего в день, затраты машино-смен и энергоресурсов);

организация и технология выполнения монтажных процессов (схема организации работ и рабочих мест с указанием фронта работ, Расположение частей и деталей подлежащего монтажу электрооборудования, расположение и порядок перемещения машин и механизмов, основные указания о последовательности и методах выполнения работ, специальные требования по технике безопасности);

организация и методы труда рабочих (количественный и квалификационный состав бригад с учетом достигнутого и возможного перевыполнения норм, график выполнения работ с указанием трудоемкости на единицу объема и на весь объем работ);

материально-технические ресурсы (ведомость необходимы монтажных материалов, ведомость монтажных изделий и конструкций, изготавливаемых на заводах монтажных изделий и в цен тральных монтажно-заготовительных мастерских, ведомость шин, механизмов, приспособлений и инструмента);

калькуляция трудовых затрат.

В электропромышленности для монтажа оборудования разработаны типовые технологические карты, которые значительно облегчают работу по составлению подобных документов и способствуют внедрению единых форм ведомостей, графиков и таблиц.

Вся проектная техническая документация анализируется заказчиком, который перед передачей ее монтажной организации производства работ обязан поставить на ней подпись и штамп «Разрешается к производству работ».

Любые виды электромонтажных работ выполняются в два этапа: 1) заготовительные работы в мастерских и подготовительные работы непосредственно на объектах; 2) электромонтажные работы объекте. Перед началом электромонтажных работ на объекте обычно проводятся:

подготовительные работы по освоению монтажной площадки с организацией электромонтажного участка;

подготовка производственных, складских, бытовых помещений монтажной площадки (к помещениям и площадкам, необходимым для нормальной работы электромонтажного участка, относятся приобъектная мастерская, материальный склад, склад горюче-смазочных материалов, инструментальная кладовая, навесы и открытые площадки для хранения металла, механизмов, монтажных приспособлений и инвентарных устройств, кабельное г. бытовые помещения и помещение для конторы участка);

организация временного энергоснабжения объектов электромонтажа;

мероприятия по технике безопасности, охране труда и противопожарной безопасности.

При проведении электромонтажных работ необходимо учитывать не только основные правила устройства энергетических сетей и электропроводок, но и природные и климатические условия местности виды строений и характеристики помещений, где этот монтаж осуществляется. Например, правила и способы электромонтажа отличаются для зданий и строений, выполненных из различных конструктивных материалов, которые по условиям пожарной безопасности, можно разделить на три основные группы (см. табл. П 4.4). Помещения классифицируются по температурным условиям, условиям влажности и др. (см. Приложение 2, 5), а также отношении опасности поражения персонала электрическим током (см. § 1.6).

**Общие требования ко всем помещениям для электрооборудования:** помещение должно быть сухим, светлым, прохладным, чистым, свободным от пыли и паров; должно допускать возможность легко внести оборудование при монтаже и вынести его при демонтаже; должна существовать возможность монтировать аппаратуру без снятия и повреждения другого оборудования, находящегося в этом же помещении; должен быть доступ для обслуживания и эксплуатации.

К началу монтажа электрического и электромеханического оборудования строительные работы в помещении, включая отделку, должны быть закончены, так как цементная пыль вредна для оборудования — разъедает обмотки, засоряет подшипники, загрязняет провода, шины, контакты, изоляторы. Если нет возможности отложить монтаж электрооборудования до окончания

строительных работ, то монтируемые или уже установленные устройства должны быть отгорожены стенкой или надежно укрыты.

### 3.3. Сушка обмоток электрических машин и трансформаторов

Решение о необходимости сушки обмоток электрических машин принимается, если сопротивление изоляции меньше минимально допустимого. для электрических машин мощностью 5 МВт и более сопротивление изоляции можно рассчитать по формуле

$$R_{из} \geq \frac{K_n U_n}{1000 + 0,01 S_n} , \quad (3.1)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение электрической машины, В;  $S_n$  – ее номинальная мощность, кВА (кВт);  $K_n$  — поправочный коэффициент, учитывающий зависимость сопротивления изоляции от ее температуры  $T_n$ :

$T_n, ^\circ\text{C}$	75	70	60	50	40	30	20	10
$K_n$	1,0	1,2	1,7	2,4	3,4	4,7	6,7	9,4

В соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) при температуре изоляции, равной температур окружающей среды, сопротивление изоляции обмоток низковольтных ( $U_n < 1000$  В) двигателей переменного тока должно быть не менее 1,0 МОм, а двигателей постоянного тока — не менее 0,5 МОм

Измерение сопротивления изоляции крупных электрических машин должно производиться при температуре не ниже  $+10^\circ\text{C}$ .

При измерении сопротивления изоляции электрических аппаратов, машин и трансформаторов малой и средней мощности поляризация диэлектрика происходит быстро (несколько секунд) поэтому также быстро устанавливаются показания мегаомметра. Для устройств большой мощности (свыше 400 кВт) поляризация может происходить в течение десятков минут, поэтому для характеристики изоляции используется коэффициент абсорбции

$$k_{аб} = R_{60''}/R_{15''} \quad (3.2)$$

где  $R_{60''}$  и  $R_{15''}$  — сопротивления изоляции через 60 и 15 с соответственно. Чем больше коэффициент абсорбции, тем выше качество изоляции. для хорошей изоляции при температуре 10... 30°C  $k_{аб}$  должен быть не менее 1,3. Обмотки роторов крупных электрических машин можно не сушить, если сопротивление изоляции при указанных температурах составляет не менее 0,5 МОм для генераторов и синхронных компенсаторов и не менее 0,2 МОм для двигателей.

Для сушки обмоток применяются следующие методы: индукционный, токовый и внешнего нагрева. В процессе сушки не должна резко изменяться температура изоляции и обмотки,

иначе в изоляции могут возникнуть большие термомеханические напряжения, приводящие к ее повреждению. Поэтому режим нагрева выбирают таким образом, чтобы скорость нарастания температуры обмоток не превышала 5... 7 °С в час.

При использовании **индукционного метода сушки** вокруг сердечника статора при вынужденном роторе или вокруг сердечника вынужденного ротора, или вокруг корпуса машины наматывается кольцевая намагничивающая обмотка, подключаемая к источнику переменного тока (рис. 3.8, 3.9, 6). Создаваемое с помощью этой обмотки переменное магнитное поле вызывает нагрев сердечника статора, или ротора, или корпуса и соответственно нагрев обмоток, за счет чего и происходит их сушка.

При использовании **метода токовой сушки** по обмоткам пропускается постоянный или переменный ток от постороннего источника. В связи с резким ухудшением охлаждения электрической машины ограничивается сила тока — не более 40—60% от ее номинального значения. К разновидностям токовой сушки относится нагрев обмоток токами короткого замыкания, как показано на рис.

3.9, г и рис. 3.10. В последнем случае ротор машины вращают с номинальной скоростью

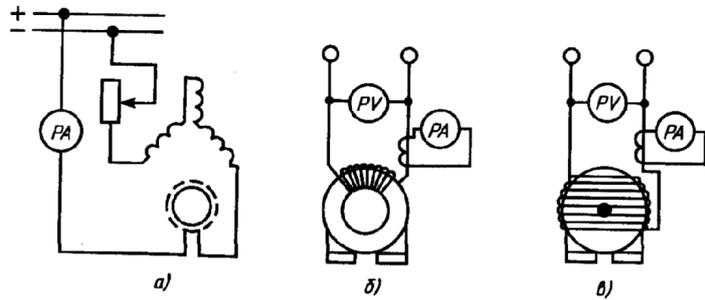


Рис. 3.8. Схемы подключения электрических машин при сушке током от постороннего источника (а) и индукционным способом (б, в)

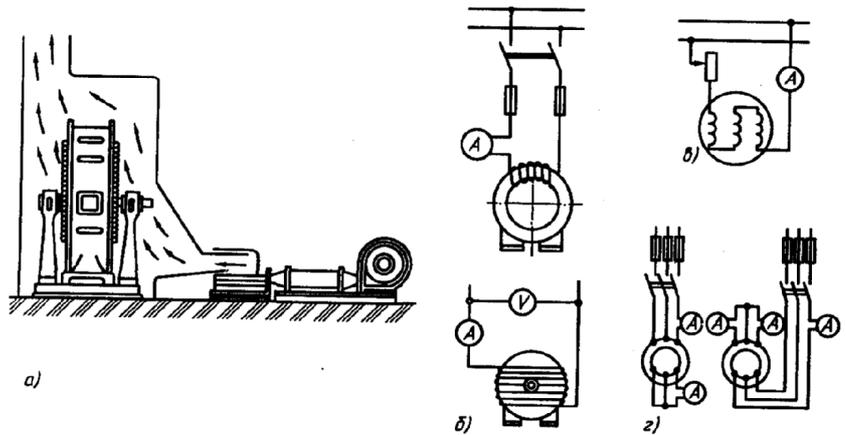


Рис. 3.9. Способы сушки электрических машин: а — непосредственным нагревом теплым воздухом; б — методом индукционных потерь; в — методом потерь в обмотках; г — токами короткого замыкания

от постороннего двигателя.

При использовании метода внешнего нагрева горячий сухой воздух направляется на металлические элементы конструкции (см. рис. 3.9, а), а не на обмотки во избежание неравномерного нагрева последних. для улучшения условий сушки у электрических машин защищенного исполнения снимают жалюзи.

Контроль параметров при сушке. При сушке обмоток контролируют их температуру. Она не должна превышать 90...95°C для изоляции класса В, 120°C — для изоляции класса Р, 100 °C — для незапеченных обмоток класса В.

В ходе сушки через каждые 1 ... 2 ч замеряют сопротивление изоляции. В процессе нагрева сначала оно может даже уменьшаться из-за распаривания изоляции, но затем все равно будет возрастать и установится на определенном уровне. Сушку считают оконченной, когда сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции остаются неизменными в течение нескольких часов при неизменной температуре обмоток. для электрических машин мощностью до 400 кВт коэффициент абсорбции обычно не контролируют.

для определения возможности включения трансформаторов сушки влажность изоляции контролируют по результатам измерений емкости изоляции с помощью приборов контроля влажности типа ПКВ. Степень увлажнения изоляции определяется по значению отношения емкости изоляции при частоте 2 Гц к емкости изоляции при частоте 50 Гц ( $C_2/C_{50}$ ) и его отклонению от некоторых нормируемых значений.

Емкость изоляции трансформаторов можно определить по времени разряда, поэтому для определения степени увлажнения изоляции используют прибор типа ЕВ (емкость — время), принцип работы которого основан на однократном заряде и разряде емкости изоляции обмоток. Этот метод позволяет определить даже незначительное увлажнение. В этом случае оценка производится значению прироста емкости ЛС за время разряда, равное 1 с, по отношению к геометрической емкости  $C$  (приводится заводом. изготовителем).

В трансформаторах большой мощности (от 80 МВА и выше для количественной оценки увлажнения твердой изоляции на

воде закладывается ее макет (контрольные образцы). Он состоит из набора пластин электроизоляционного картона толщине 0,5 . . .3,0 мм, установленного на верхней ярмовой балке, и проходит вместе с трансформатором термовакуумную обработку. По с

держанию влаги в макете судят о степени увлажнения изоляции а по содержанию влаги в образцах различной толщины — о глубине ее проникновения в изоляцию трансформатора.

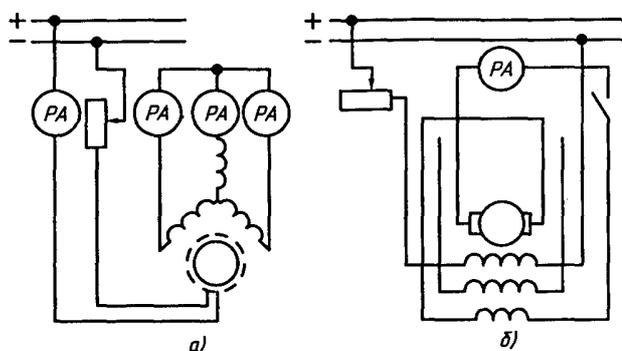


Рис. 3.10. Схемы подключения синхронных машин (а) и машин постоянного тока (б) при сушке током короткого замыкания в генераторном режиме

допустимые значения Изоляционных характеристик трансформаторов напряжением до 35 кВ и мощностью до 10 МВА в зависимости от температуры Изоляции обмоток  $T_{и}$ , приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

$T_{и}, ^\circ C$	$tg \delta, \%$	$C_2/C_{50}$	$\square C/C, \%$
10	1,2/2,5	1,1/1,2	13/Н

20	1,5/3,5	1,2/1,3	20/Н
30	2,0/5,0	1,3/1,4	30/Н
40	3,4/11	Н/1,6	Н/Н
50	6,0/20	Н/1,8	Н/Н

Пр и м е ч а н и е. В числителе указаны значения характеристик для новых трансформаторов, в знаменателе — для бывших в эксплуатации; буква Н означает, что параметр не нормируется.

Контрольная Подсушка трансформатора осуществляется в следующих случаях: при наличии Признаков увлажнения масла и (ИЛИ) Нарушении герметичности трансформатора, Превышении допустимого срока хранения трансформатора без масла или без доливки масла, нахождении активной части трансформатора в разгерметизированном виде больше допустимого времени, незначительном ухудшении состояния изоляции, обнаруженном в результате ее испытаний.

Для контрольной подсушки высоковольтных (110... 750 кВ) трансформаторов разработан метод низкотемпературной обработки изоляции, основанный на интенсивном удалении паров воды из твердой изоляции при Помощи низкотемпературной Ловушки паров в условиях глубокого вакуума. Оптимальная интенсивность испарения достигается при температуре —70 ... —80 °С на поверхности ловушки. для достижения таких температур в качестве хладагента для ловушки используется смесь сухого азота с ацетоном. Ловушка подключается к трансформатору через патрубки для залива и слива масла. для успешной сушки достаточно, чтобы температура изоляции была не ниже +20 °С, иначе необходим ее Предварительный подогрев.

Контрольная подсушка изоляции в масле может проводиться путем нагрева обмоток постоянным током или токами короткого Замыкания (первичная обмотка трансформатора соединяется с регулируемым Источником переменного тока, а вторичная Замыкается накоротко). Возможна таюке сушка токами Нулевой последовательности в этом случае происходит нагрев бака и магнитопровода за счет потерь в них от магнитных Потоков нулевой последовательности Нагрев производится при температуре верхних слоев масла не выше 70... 80°С.

**Сушка изоляции трансформатора без масла** Применяется в тех случаях, когда изоляция сильно увлажнена, на активной части трансформатора или на баке обнаружены следы воды, состояние изоляции существенно хуже допустимых значений, приведенных в табл. 3.1. Этот способ сушки позволяет ускорить процесс восстановления параметров изоляции при сохранении качества масла и изоляции обмоток. Сушка может проводиться в сушильном шкафу, специ-

альной камере и собственном баке. Наиболее качественной является сушка под вакуумом в специальном сушильном шкафу, хотя она и требует больших капитальных затрат.

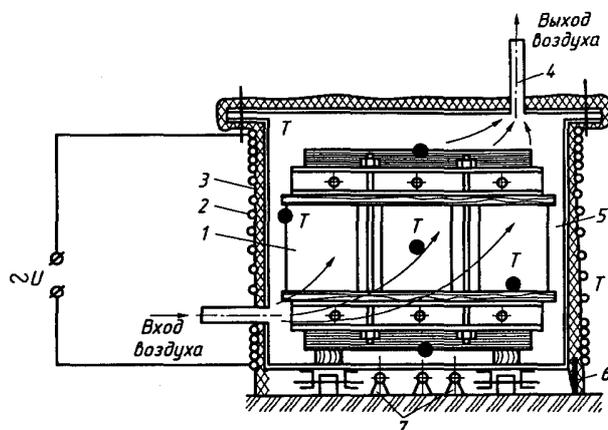


Рис. 3.11. Схема сушки трансформатора методом индукционных потерь в баке:

1 — активная часть трансформатора; 2 — намагничивающая обмотка из изолированного провода; 3 — асбест для утепления бака; 4 — вытяжная труба; 5 — бак; 6 — заземление бака; 7 — дополнительные электроды

Одним из наиболее распространенных является и индукционный метод сушки изоляции в собственном баке при слитом масле (рис. 3.11) в условиях пониженного давления. На боковой поверхности бака 5 размещается намагничивающая обмотка 2, соединенная с источником переменного тока. При протекании по обмотке переменного тока возникает переменный магнитный поток, вызывающий потери в стальном баке и, следовательно, его нагрев.

В процессе сушки контролируются температура обмоток, характеристики изоляции и количество выделяющегося конденсата, который выносятся из бака через вытяжную трубу 4. Сушка продолжается до прекращения выделения влаги в охлаждающей колонке, присоединенной к вытяжной трубе (на рис. 3.11 не показана), достижения характеристиками изоляции нормированных значений и поддержания их в течение 6... 8 часов. Температура обмоток при этом сохраняется постоянной в диапазоне 95...] - так же как и разрежение (давление в баке не более 665 Па).

При сушке активной части трансформатора в специальной камере сухим воздухом при атмосферном давлении поток воздуха создается с помощью воздуходувки, а его нагрев осуществляется с помощью электрических Печей или теплообменников с паром. Струя горячего воздуха не должна направляться непосредственно на обмотки.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ, АППАРАТУРЫ ЗАЩИТЫ, УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Используемая в сетях и на предприятиях электрическая аппаратура отличается большим многообразием. К ней можно отнести все виды выключателей, рубильников, контакторов, реле, магнитных пускателей, контроллеров, командоаппаратов, реостатов, предохранителей, а также комплектные устройства из аппаратов, измерительных приборов и др.

Для качественного и бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией необходимы: надежное согласование всех элементов энергосистемы (источника электроэнергии сети, нагрузки, устройств управления и защиты); развитая система их эксплуатации и контроля; правильно организованная периодичность профилактик, ревизий и ремонтов.

По уровню надежности электроснабжения всех потребителей электроэнергии разделяют на три категории. К *первой категории* относят электроприемники перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Питание таких электроприемников обеспечивается от двух независимых взаимно резервирующих источников. Перерыв в электроснабжении допускается лишь на время автоматического восстановления питания при отказе одного из источников. Независимым называется источник питания, на котором в послеаварийном режиме сохраняется напряжение при исчезновении его на другом источнике питания.

Из электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. Электроснабжение этой группы осуществляется от трех независимых взаимно резервирующих источников питания.

Ко второй категории относят электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей. Такие электроприемники рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв в элек-

троснабжении допустим лишь на время включения резервного питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой. Питание электроприемников второй категории допускается и по одной воздушной линии, но в этом случае необходимо обеспечить аварийный ремонт линии за время не более одних суток.

К третьей категории относят все остальные электроприемники, электроснабжение которых может выполняться от одного источника питания при условии, что его перерывы, необходимые для ремонта и замены поврежденного элемента, не превышают одних суток. Исполнение электрической аппаратуры должно соответствовать условиям окружающей среды (см. § 1.2).

Основными задачами обслуживания сетей и аппаратуры являются: обеспечение надежной работы оборудования и его режимов работы в соответствии с техническими параметрами; соблюдение установленного порядка и последовательности выполнения оперативных переключений; контроль за своевременным проведением профилактических испытаний и ремонта оборудования; надзор и уход за вспомогательным оборудованием и помещениями.

#### **4.1. Техническое обслуживание и ремонт кабельных ЛЭП**

В техническое обслуживание кабельных линий (КЛ) входят ревизии, осмотры и ремонты оборудования, а также осмотры вспомогательных сооружений. Осмотры (обходы) бывают плановыми и внеочередными (или специальными). Внеочередные осмотры производятся при появлении условий, которые могут вызвать повреждения линий, а также после их автоматических отключений, даже если их работа не нарушена. Техническое обслуживание и ремонт осуществляются на основе перспективных, годовых и месячных планов работ. Во время ревизий и осмотров проводят профилактические измерения и устраняют мелкие повреждения и неисправности.

К работам по техническому обслуживанию относятся:

плановые и внеочередные обходы и осмотры КЛ (периодичность осмотров приведена в табл. 4.1);

установка, замена и осмотр концевых воронок и соединительных муфт КЛ;

измерение сопротивления соединений проводов — болтовых, плашечных и болтовых переходных, а также мест соединения жил кабелей;

проверка колодцев КЛ;

работы и измерения, связанные с проверкой конструктивных элементов КЛ при приемке их в эксплуатацию;

надзор за работами, проводимыми вблизи линий электропередачи сторонними организациями;

контроль за знаками, обозначающими трассу КЛ;

контроль состояния и замена нумерации и предупредительных плакатов;  
 контроль за температурным режимом оболочек кабелей.

Таблица 4.1

Объект	Периодичность осмотров	Примечание
КЛ: концевые муфты кабелей напряжением свыше 1000 В	6 мес.	В земле
Трасса	3 мес.	
Кабельные колодцы	6 мес.	
Концевые муфты кабелей напряжением ниже 1000 В	1 год	
РУ: аппаратура	3 дня	Дежурный персонал
	1 мес.	Разряды, коронирование
	6 мес.	Без персонала
	3 мес.	До 1000 в
РП: аппаратура	6 мес.	В пункте распределения

Кабельные линии, особенно проложенные в земле, необходимо защищать от коррозии. Хотя кабели имеют защитные антикоррозионные покрытия, эти покрытия с течением времени разрушаются, что может привести к аварии. Особенно большие разрушения оболочек кабелей возникают в почвах с низким электрическим сопротивлением и в местах, где функционирует электрифицированный транспорт на постоянном токе. Для защиты металлических оболочек кабелей применяют катодную поляризацию, электрический дренаж и протекторную защиту.

При различных видах повреждений, а также при повреждениях, связанных с проведением профилактических испытаний повышенным напряжением, необходимо быстро ремонтировать кабельные линии во избежание нарушения нормальной схемы электроснабжения. Чаще всего происходят механические повреждения кабельных линий при производстве различных земляных работ из-за невыполнения требований правил охраны электрических сетей. Часто причиной выхода из строя кабельной линии является пробой соединительных и концевых муфт из-за их некачественного монтажа.

Изоляцию кабельных линий испытывают с помощью специальных высоковольтных выпрямительных установок. Минус от источника постоянного тока подается на жилу кабеля, плюс — на землю. Состояние кабеля определяют по току утечки. При удовлетворительном состоянии

кабеля ток утечки при подъеме напряжения за счет зарядки его емкости резко возрастает, затем быстро снижается до 10 ... 20 % от максимального. Результаты испытания кабеля считаются удовлетворительными, если не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания его установившегося значения, а сопротивление изоляции, измеренное мегаомметром после испытания, оставалось неизменным. При наличии дефектов в кабеле пробой изоляции в большинстве случаев происходит в течение первой минуты после подачи испытательного напряжения.

При пробое изоляции с жилы на металлическую оболочку (однофазное повреждение) кабели ремонтируют без их разрезания при условии, что изоляция не увлажнена сверх нормы. При повреждении жил кабеля этот участок вырезают, вставляют новый отрезок и монтируют две муфты.

Основной причиной повреждений кабельных муфт являются неисправности монтажа: дефекты пайки горловины муфты или некачественная пайка заливочных отверстий, в результате чего герметичность муфты нарушается; слишком крутой изгиб жил кабеля, из-за чего происходит разрыв бумажной изоляции и муфта теряет электрическую прочность; неправильное или недостаточное заполнение муфты заливочной массой; некачественная припайка соединительных гильз или проводника заземления, повреждения поясной изоляции у ее обреза и т.д.

При повреждении кабельной линии важно быстро и точно определить место неисправности. В этом случае часто удается ограничиться короткой вставкой кабеля, так как влага из грунта не успевает всосаться в его оболочку на значительную длину, и не нужно выполнять большой объем работ по вскрытию траншей, поскольку известно точное место повреждения.

При аварии сначала определяют характер повреждения. В кабельных линиях возможны следующие повреждения:

- пробой или нарушение изоляции, вызывающие замыкание одной жилы на землю;
- замыкание двух или трех жил на землю;
- замыкание двух или трех жил между собой в одном месте; замыкание двух или трех жил между собой в разных местах; обрыв одной, двух или трех жил без заземления;
- обрыв одной, двух или трех жил с заземлением оборванных;
- обрыв одной, двух или трех жил с заземлением необорванных;
- заплывающий пробой изоляции.

Перед началом работ по выявлению характера повреждения кабельную линию отключают с обеих сторон, проверяют на отсутствие напряжения и выполняют ее разрядку изложением заземления на каждую фазу. Большинство повреждений определяют измерением сопротивления

изоляции каждой токоведущей жилы кабельной линии по отношению к земле и между каждой парой токопроводящих жил.

Для определения места повреждения кабельной линии сначала весьма приблизительно выделяется зона повреждения, а затем в ней уточняется место для вскрытия линии. Для обнаружения зоны повреждения используют относительные методы, а точное место повреждения определяют абсолютными методами. К относительным методам относятся методы: импульсный, колебательного разряда, петли и емкостной. К абсолютным — индукционный и акустический.

**Импульсный метод** основан на посылке в поврежденную линию зондирующего электрического сигнала и измерении интервала времени между моментами его подачи в линию и возвратом отраженного импульса. Импульс отражается от места обрыва линии и по времени возврата импульса можно судить об удаленности места аварии от места приложения сигнала.

**Метод колебательного разряда** основан на измерении периода (или полупериода) собственных электрических колебаний в кабеле, возникающих в момент пробоя поврежденного кабеля при приложении к нему испытательного напряжения. Период колебаний пропорционален расстоянию до места повреждения.

**Метод петли** основан на измерениях сопротивлений жил кабеля с двух сторон с помощью моста постоянного тока. Разница в показаниях позволяет определить место повреждения.

**Емкостной метод** основан на измерении емкости частей оборванной жилы (между каждой частью жилы и оболочкой) с помощью моста переменного тока на частоте 1 кГц.

**Индукционный метод** основан на улавливании магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток звуковой частоты (800 ... 1000 Гц). Передвигая вдоль кабеля приемную рамку со стальным сердечником, в цепь которой через усилитель включены наушники, электриком находят место повреждения по максимальному уровню звукового сигнала.

**Акустический метод** основан на прослушивании с поверхности земли звуковых колебаний, вызываемых искровым разрядом в месте повреждения.

В настоящее время существует множество приборов и устройств для обнаружения повреждений кабельной линии, основанных на реализации одного или нескольких указанных методов.

#### **4.2. Анализ аварийных режимов и отказов оборудования.**

Выбор аппаратуры защиты

Анализ отказов и ненормальных режимов работы *электрических машин* позволяет выделить следующие типы аварий, часто встречающиеся на практике:

короткое замыкание (КЗ) на зажимах машины либо в обмотке статора;

заторможенный ротор при пуске двигателя (режим КЗ двигателя, особенно часто встречается при его прямом пуске);

обрыв фазы обмотки статора (часто встречается при защите обмоток плавкими предохранителями);

технологические перегрузки, возникающие при набросе нагрузки в процессе работы двигателя;

нарушение охлаждения, вызванное неисправностью системы принудительной вентиляции двигателя;

уменьшение сопротивления изоляции, происходящее в результате старения изоляции из-за циклических температурных перегрузок.

Аварийные режимы в цепи асинхронного двигателя могут вызвать либо кратковременное увеличение тока в 12... 17 раз по сравнению с номинальным, либо длительное протекание тока, в 5... 7 раз превышающего его номинальное значение.

Для защиты электрических цепей от режима КЗ широко применяются автоматические выключатели, токовые реле и предохранители. При перегрузке по току требуется другое защитное оборудование. Так, при обрыве одной из фаз асинхронного двигателя наиболее эффективными являются минимальная токовая и температурная защиты; менее эффективной, но работоспособной — тепловая защита (тепловые реле). При заторможенном роторе весьма эффективны максимальные токовые реле и температурная защита, менее эффективна — тепловая защита. При перегрузке лучшие результаты дает температурная защита. Эффективны также тепловые реле. При нарушении охлаждения двигателя только температурная защита может предотвратить аварию.

Уменьшение сопротивления изоляции статорной обмотки двигателя может спровоцировать как перегрузку в цепи, так и КЗ. Защита при такой аварии осуществляется специальными устройствами контроля сопротивления изоляции обмотки двигателя.

Основным аварийным режимом в *осветительных установках* является КЗ. Защита от перегрузки требуется только для осветительных установок, эксплуатируемых внутри помещений и во взрыво- и пожароопасной среде. Наиболее распространенным аппаратом защиты осветительных установок является автоматический выключатель. При включении ламп накаливания появляется кратковременный бросок тока, в 10... 20 раз превышающий номинальный ток. Примерно за 0,06 с ток снижается до номинального. Значение броска тока определяется мощностью ламп. При выборе типа защиты ламп накаливания необходимо учитывать особенности их пусковых характеристик.

В связи с широким распространением *силовой полупроводниковой техники* для ее защиты требуется применение эффективных устройств. Одним из главных недостатков силовых полупроводниковых приборов является их низкая перегрузочная способность по току, что накладывает жесткие условия на аппаратуру защиты (по быстродействию, селективности и надежности срабатывания). В настоящее время для защиты силовых полупроводниковых приборов от КЗ (как внешних, так и внутренних) применяются быстродействующие автоматические выключатели, полупроводниковые выключатели, вакуумные выключатели, импульсные дуговые коммутаторы, быстродействующие плавкие предохранители и др. Целесообразность применения той или иной защиты силовых полупроводниковых приборов определяется конкретными условиями их эксплуатации.

Особое место занимает защита *электрических цепей*. В настоящее время широко используются сети напряжением от 0,4 до 750 кВ. Основными, наиболее опасными и частыми видами повреждений в сетях являются КЗ между фазами и замыкание фазы на землю.

Основная масса потребителей получает питание от распределительных сетей напряжением 0,4; 6 и 10 кВ (в последнее время нашли широкое применение сети напряжением 0,66 кВ). для питания стационарных силовых потребителей и осветительных установок общего назначения применяются трехфазные четырехпроводные сети напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. Силовые потребители подключены к линейным напряжениям сети, а осветительные приборы — к фазным. Мощные силовые потребители, например электродвигатели мощностью 160 кВт и выше, имеют напряжения 0,66; 6 и 10 кВ.

Основными аварийными режимами в таких сетях являются: однофазное КЗ (до 60 % аварий), трехфазное КЗ (до 10 %), двухфазное КЗ на землю (до 20%), двухфазное КЗ (до 10%).

Защита электрических сетей напряжением до 1000 В осуществляется, как правило, аппаратами защиты, а сети напряжением свыше 1000 В имеют релейную защиту.

Самыми распространенными аппаратами защиты сетей являются автоматические выключатели и предохранители. Если требуется иметь защиту с высоким быстродействием, чувствительностью или селективностью, то применяют релейную защиту, выполненную на базе реле и автоматических выключателей.

Электрические сети напряжением до 1000 В внутри помещений должны иметь также защиту от перегрузки, выполненную, как правило, на базе автоматических выключателей с тепловым или комбинированным расцепителями.

Основной задачей, стоящей при выборе аппаратуры защиты потребителей и электрических сетей, является согласование характеристик устройств защиты с предельными нагрузочными характеристиками (зависимостями допустимого тока от длительности его протекания) различных потребителей и сетей (проводов и кабелей). Для каждого конкретного типа потребителей наиболее полное согласование может быть достигнуто при использовании определенного типа аппаратов защиты. В случае полного согласования вольт-амперные и временные характеристики аппарата защиты на графике проходят выше и как можно ближе к нагрузочной характеристике потребителя.

### **4.3. Эксплуатация и ремонт электрического оборудования**

Осмотр электрооборудования распределительных устройств (РУ) следует проводить регулярно, в соответствии со сроками, указанными в табл. 4.1. При осмотре РУ проверяются:

- исправность отопления и вентиляции;
- исправность освещения и сети заземления;
- наличие переносных заземлений, средств защиты и средств по оказанию первой медицинской помощи пострадавшим от несчастных случаев, а также противопожарных средств;
- уровень и температура масла в маслонаполненных аппаратах, отсутствие течи масла;
- состояние изоляции (запыленность, наличие трещин, разрядов, выпадение росы на поверхности изоляторов);
- состояние контактов, нагрев контактных соединений;
- целостность пломб счетчиков и реле;
- состояние помещения (исправность дверей и окон, отсутствие течи в кровле и междуэтажных перекрытиях, наличие и исправность замков).

При осмотрах комплектных распределительных устройств внутренней (КРУ) и наружной (КРУН) установки следят за качеством уплотнений дверей, днищ в местах прохода кабелей, отсутствием щелей в стыках шкафов, через которые могут проникать мелкие животные. Оборудование КРУ и КРУН осматривают через специальные окна, люки, сетчатые ограждения.

Внеочередные осмотры открытых РУ проводят при неблагоприятных погодных условиях — сильном тумане, мокром снеге, гололеде или усиленном загрязнении изоляции. Результаты обхода записывают в специальный журнал для принятия мер по устранению недостатков.

Контроль контактных соединений. Контактные соединения — са- МЫС уязвимые места в электрической цепи и при эксплуатации на них следует обращать особое внимание. Состояние контактных соединений шин и аппаратов определяют внешним осмотром и при помощи специ-

альных измерений. При внешнем осмотре обращают внимание на цвет поверхности контактных соединений и испарение влаги с них (при дожде или снеге), а также на наличие свечения или искрения контактов.

Качество контактных соединений определяется их переходным сопротивлением, падением напряжения и температурой.

Переходное сопротивление измеряют микроомметрами на отключенном и заземленном оборудовании и сравнивают его с сопротивлением целого участка шины (отличие должно быть не более чем в 1,2 раза). Падение напряжения на контактном соединении определяют под напряжением с помощью измерительной штанги и милливольтметра, укрепленного на ней. Температуру нагрева определяют с помощью электротермометров, термоуказателей (термопленок) одно- или многократного действия, термосвечей, тепловизоров и пирометров.

Если контактное соединение не удовлетворяет определенным требованиям, его ремонтируют. Для этого его разбирают, очищают поверхности от окислов и загрязнений и защищают от коррозии смазкой. При сборке затяжку болтовых соединений выполняют ключом с регулируемым крутящим моментом во избежание деформации шин и разрыва болтов.

Изоляторы должны проходить периодический осмотр с проверкой на целостность фарфора, арматуры, глазури. Отложения пыли и грязи на изоляторах, безопасные в сухую погоду, могут привести к возникновению разрядов и перекрытию в сырую погоду. В процессе эксплуатации изоляторы периодически очищают, протирая их вручную, используя пылесос с фигурными изоляционными щетками или обмывая струей воды под давлением. Состояние изоляции изоляторов и вводов определяют по значению тангенса угла диэлектрических потерь ( $\tan \delta$ ).

В процессе эксплуатации КРУ выполняется следующий комплекс работ:

надзор и уход за электрооборудованием, установленном в КРУ;

надзор за помещениями КРУ;

устранение неисправностей, которые могут привести к отказу в работе;

профилактические испытания и измерения;

поддержание в помещениях КРУ температурного режима.

При осмотрах КРУ обязательно проверяют резервные шкафы и выдвижные элементы. Все работы на выдвижных элементах КРУ производят после выдвижения их в ремонтное положение. Категорически запрещаются все работы, а также расчленение разъемов реле и выключателей при рабочем положении выдвижных элементов.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В процессе эксплуатации трансформаторов осуществляют их оперативное техническое обслуживание, а также планово-предупредительные ремонты. Координацию действий всех категорий эксплуатационного персонала по обслуживанию трансформаторов осуществляет руководство электроцеха или соответствующих служб, а на электросетевых предприятиях — руководство электросети или производственных служб предприятия электросети.

### **6.1. Организация обслуживания трансформаторов**

Оперативное обслуживание трансформаторов включает: управление режимом работы; проведение периодических и внеочередных осмотров; периодический контроль значений параметров, характеризующих режим работы, и анализ полученных данных; выполнение организационно-технических мероприятий по обеспечению безопасного технического обслуживания и ремонта.

*Техническое обслуживание* трансформаторов включает: профилактический контроль состояния изоляции и контактной системы, а также устройств охлаждения, регулирования и пожаротушения, выполняемый вне комплекса планово-предупредительного ремонта; работы по поддержанию надлежащего состояния изоляционного масла в трансформаторе, в баке устройства переключения под нагрузкой и во вводах, в том числе работы по восстановлению качества масла (сушка, регенерация) и его доливке; смазка и уход за доступными вращающимися и трущимися узлами, подшипниками устройств регулирования напряжения и охлаждения; периодическое опробование резервного вспомогательного оборудования, настройка, проверки и ремонты вторичных цепей и устройств защиты, автоматики, сигнализации и управления.

*Планово-предупредительные ремонты* трансформаторов включают текущий и капитальный ремонты, а также связанные с ними испытания и измерения. Периодичность (в годах) основных работ по этому виду обслуживания приведена в Приложении 7.

Работы по обслуживанию трансформаторов могут быть как плановыми, так и внеочередными. Плановые работы выполняются в соответствии с заранее определенными объемом и сроками проведения; внеплановые — вследствие отказов трансформатора или его элементов, в связи с выявлением дефекта и т. д. Обслуживание силовых трансформаторов в энергосистемах проводится предприятиями электрических станций или электрических сетей.

Все повышающие и часть понижающих подстанций эксплуатируются с постоянным дежурным персоналом. Трансформаторные пункты в городских сетях и понизительные подстан-

ции 110 кВ, а также распределительные подстанции 20... 35 кВ эксплуатируются без постоянного персонала и обслуживаются разъездными бригадами. Функции по обслуживанию силовых трансформаторов распределяются между ремонтным и оперативным персоналом, персоналом, обслуживающим системы релейной защиты, и испытателями.

*Ремонтный персонал* (в основном электрослесари по ремонту оборудования) под руководством инженерно-технических работников (мастеров, начальников групп подстанций, инженеров служб) проводит капитальные и текущие ремонты трансформаторов, а также ряд эксплуатационных работ (отбор пробы масла, обтирку изоляции, техническое обслуживание устройств охлаждения и др.) и некоторые виды испытаний (проверку изоляции обмоток трансформатора, цепей питания электродвигателей систем охлаждения и пожаротушения, измерение сопротивлений контактной системы и ряд других).

*Оперативный персонал* участвует в оперативном обслуживании трансформаторов, а выявленные им дефекты записываются в специальный журнал и учитываются при планировании эксплуатационных и ремонтных работ. Кроме того, оперативный персонал участвует в приемке оборудования из ремонта.

Устройства релейной защиты и автоматики обслуживаются специальным персоналом.

*Испытатели* проводят профилактические проверки изоляции и контактной системы трансформатора. Проверяются также выключатели, разъединители, разрядники, системы охлаждения и регулирования напряжения и др. Кроме того, персонал разрабатывает мероприятия по защите трансформаторов от перенапряжений. Некоторые виды испытаний могут проводиться ремонтным персоналом.

**Режимы работы трансформаторов.** Номинальным называется режим работы трансформатора при номинальных значениях напряжения, частоты и нагрузки, а также при оговоренных соответствующими стандартами или техническими условиями параметрах охлаждающей среды и условиях места установки. Трансформатор может длительно работать в этом режиме. Номинальные данные указываются предприятием-изготовителем на щитке, установленном на корпусе трансформатора.

Нормальным называется режим работы трансформатора, при котором его параметры отклоняются от номинальных в пределах, допустимых стандартами, техническими условиями или инструкциями.

Для масляных трансформаторов классов напряжения 110 кВ и выше при работе на любом ответвлении обмотки допускаются превышения напряжений в 1,3 раза по отношению к номи-

нальному значению в течение 20 с (предшествующая нагрузка поминальная) и в 1,15 раза в течение 20 мин (предшествующая нагрузка не более 0,5 номинальной).

Трансформаторы классов напряжения до 35 кВ включительно мощностью свыше 630 кВА и все трансформаторы классов напряжения от 110 до 1150 кВ включительно допускают продолжительную работу (при нагрузке не более номинальной), если превыше ние напряжения на любом из ответвлений любой обмотки на 10 % более номинального напряжения данного ответвления. При этом напряжение на любой обмотке не должно превышать наибольшее рабочее напряжение  $U_{\max}$ , которое зависит от класса напряжения  $U_{\text{ном}}$ :

$U_{\text{кл}}$ , кВ	3	6	10	15	20	35	110	150	220	330	500	750
$U_{\max}$ , кВ	3.5	6.9	11.5	17.5	23	40.5	125	172	252	363	525	787

допустимые продолжительные повышения напряжения для трансформаторов классов напряжения до 35 кВ включительно указаны в стандартах или технических условиях на эти трансформаторы.

Аварийным называется режим работы трансформатора, при котором параметры выходят за рамки нормального режима.

## 6.2. Оперативное обслуживание трансформаторов

**Контроль режима работы.** Периодический контроль режима работы трансформатора осуществляется путем проверки нагрузки, уровня напряжения и температуры масла с помощью измерительных приборов. Результаты измерений параметров фиксируются в суточной ведомости: на электростанциях и подстанциях с постоянным дежурным персоналом измерения производятся с периодичностью в один-два часа; на подстанциях без постоянного дежурного персонала — при каждом посещении объекта разъездным оперативным персоналом или методом телеизмерений. При возникновении перегрузки контроль ведется чаще.

дополнительно на гидроэлектростанциях и подстанциях без постоянного дежурного персонала, не оснащенных устройствами телеизмерения, не менее двух раз в год (обычно летом и зимой) должны производиться почасовые записи нагрузки для уточнений сезонных изменений режима работы трансформатора. Кроме того, осуществляется непрерывный автоматический контроль за перегрузкой.

**Визуальный контроль состояния трансформатора.** для своевременного обнаружения неисправностей трансформаторов, которые при дальнейшем их развитии могут привести к авариям, все трансформаторы подвергаются периодическому внешнему осмотру (без отключения).

Плановые осмотры главных трансформаторов электростанций и подстанций, трансформаторов собственных нужд подстанций, трансформаторов в зоне загрязнения производятся не реже одного раза в сутки на установках с постоянным дежурством оперативного персонала и не реже одного раза в месяц на установках без постоянного дежурства; остальные трансформаторы должны осматриваться не реже одного раза в неделю на установках с постоянным дежурным персоналом, одного раза в месяц на установках без постоянного дежурства и одного раза в шесть месяцев на трансформаторных пунктах.

При плановом периодическом осмотре проверяются:

состояние внешней изоляции — вводов трансформатора, а также установленных на нем разрядников и опорных изоляторов (целостность фарфора, наличие трещин, степень загрязнения поверхности);

целостность мембраны выхлопной трубы;

состояние доступных уплотнений фланцевых соединений; отсутствие течи масла;

состояние доступных для наблюдения контактных соединений.

По маслоуказателям и масломерным стеклам определяют уровень масла в баке трансформатора и расширителе, а также обращают внимание на цвет масла. Потемнение масла может свидетельствовать, например, о термическом разложении вследствие повышенного нагрева. Через смотровое стекло осматривается индикаторный силикагель в воздухоосушителях бака трансформатора и вводов. Изменение цвета от голубого до розового свидетельствует об увлажнении сорбента и необходимости перезарядки воздухоосушителя.

Показателем состояния трансформатора может служить характер издаваемого им шума (прослушивание следует вести при остановленных вентиляторах). Свидетельством возможной неисправности служат потрескивание или щелчки, которые могут быть связаны с разрядами в баке (например, из-за обрыва заземления активной части), а также периодическое изменение уровня или тона шума.

Осмотры трансформатора следует проводить в светлое время суток или при включенном освещении. В темноте выявляются дефекты, сами являющиеся источниками свечения: нагрев контактных соединений, коронные и другие виды частичных разрядов по поверхности внешней изоляции и др.

Внеочередные осмотры трансформаторов наружной установки необходимо производить при экстремальных атмосферных условиях: резкое снижение температуры окружающего воздуха, ураган, сильный снегопад, гололед. При этом проверяются уровень масла, состояние вводов, системы охлаждения.

Внеочередные осмотры проводятся также после короткого замыкания обмоток (КЗ) или при появлении сигнала газового реле. В первом случае проверяется состояние токоведущих цепей, обтекавшихся током КЗ, а также изоляторов, перенесших воздействие динамических нагрузок, во втором — состояние газового реле и его цепей. При необходимости внеочередной осмотр может производиться и с отключением трансформатора — когда необходимо более тщательное изучение элемента, состояние которого внушает сомнение, или когда доступ к проверяемому объекту невозможен без снятия напряжения.

**Устройства релейной защиты, автоматики и сигнализации.** Устройства релейной защиты, которыми снабжены силовые трансформаторы, должны реагировать на две группы событий: повреждение трансформатора и аварийные режимы работы.

К повреждениям, вызывающим срабатывание релейной защиты, относятся межфазные и однофазные замыкания в обмотках и на выводах, витковые замыкания в обмотках, частичный пробой изоляции вводов, а также повреждения, связанные с выделением газа и повышением давления в баке трансформатора и регулировочного устройства.

К аварийным режимам, на которые должны реагировать защиты трансформаторов, относятся появление сверхтоков, обусловленных внешними КЗ либо перегрузками, а также понижение уровня масла. Устройства релейной защиты устанавливаются в том же помещении, в котором находится щит управления, на специальных панелях. Для защиты трансформатора от повреждений в зависимости от мощности и характера установки применяются:

дифференциальная защита. Является основной защитой мощных силовых трансформаторов от внутренних повреждений; работает при КЗ внутри зоны, ограниченной двумя комплектами трансформаторов тока (принцип действия основан на сравнении значений и направления токов);

токовая отсечка без выдержки времени. Устанавливается на трансформаторах небольшой мощности; является самой простой быстродействующей защитой от внутренних повреждений;

защита от сверхтоков внешних КЗ (наиболее простой защитой этого вида является максимальная токовая защита);

защита от перегрузки. Выполняется с действием на сигнал и состоит из реле тока и реле времени.

Широкое распространение благодаря своей относительной простоте и чувствительности к большому числу внутренних повреждений масляного трансформатора и его переключающего устройства получила газовая защита. Внутренние повреждения трансформатора, как правило, сопровождаются разложением масла и других изоляционных материалов с образованием летучих газов. Газы поднимаются к крышке трансформатора и попадают в расширитель через газовое реле, установленное на маслопроводе, соединяющем расширитель с баком. Существует несколько типов реле, устанавливаемых на трансформаторах в зависимости от их мощности.

Рассмотрим конструкцию газового реле на примере реле типа ВЕ80/ (рис. 6.1). Основой реле является корпус 1, в верхней части которого скапливаются попавшие в реле пузырьки газа. Корпус снабжен двумя смотровыми застекленными окнами, позволяющими определить наличие газа и его приблизительный объем (по рискам на стекле). На крышке корпуса имеется кран для выпуска газа, в днище — отверстие для слива масла и шлама, закрытое вывинчивающейся пробкой. Изнутри на крышке закреплена выемная часть реле, состоящая из трех реагирующих элементов 2, 3, 4, связанных с ними постоянных магнитов и управляемых этими магнитами герметичных контактов (герконов). Цепи герконов присоединены к выводам реле и специальным кабелем введены в релейную схему газовой защиты трансформатора. Шарообразные пластмассовые пустотелые поплавки 2, 4 эксцентрично насажены на горизонтальную ось 5 и свободно вращаются на ней. Третий реагирующий элемент 3 имеет форму лопасти, также свободно вращающейся на горизонтальной оси и размещенной рядом с нижним поплавком.

При медленном выделении газа, характерном для небольших повреждений, происходит постепенное вытеснение масла из полости б реле. При достижении определенного объема газа (250 ... 300 см<sup>3</sup>) верхний поплавок опускается и связанный с ним магнит замыкает соответствующий геркон. При полном уходе масла из реле аналогичным образом срабатывает нижний поплавок (например, при значительной течи из бака). При сильном повреждении, сопровождающемся бурным выделением газов, лопасть под давлением струи масла (показана стрелкой) или газомасляной смеси отклоняется на определенный угол, воздействуя на тот же контакт, что и нижний поплавок.

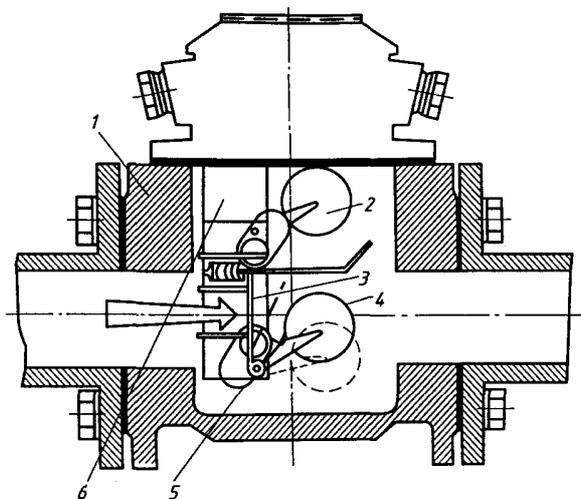


Рис. 6.1. Газовое реле

Таким образом, газовое реле способно различать степень повреждения трансформатора: геркон верхнего поплавка используется в качестве датчика сигнала, а геркон нижних элементов — для подачи команды на отключение. О причинах срабатывания газовой защиты и о характере повреждения можно судить на основании исследования скопившегося в реле газа, определяя его количество, цвет и химический состав.

### 6.3. Техническое обслуживание трансформаторов

Наиболее ответственным этапом технического обслуживания является эксплуатация трансформаторного масла, которое предназначено для изоляции находящихся под напряжением частей и узлов активной части трансформатора, для отвода тепла от нагревающихся при работе трансформатора частей, а также для предохранения твердой изоляции от быстрого увлажнения при проникновении влаги из окружающей среды. Эксплуатационные свойства масла определяются его химическим составом, который зависит главным образом от качества сырья и применяемых способов его очистки при изготовлении.

для заливки трансформатора рекомендуется применять масло определенной марки. Однако допускается при соблюдении ряда условий производить заливку трансформаторов смесью масел.

Каждая партия масла, применяемая для заливки и доливки, должна иметь сертификат предприятия-поставщика, подтверждающий соответствие масла стандарту. для масла, прибывшего вместе с трансформатором, соответствие стандарту подтверждается записью в паспор-

те трансформатора. Состояние трансформаторного масла оценивается по результатам испытаний, которые в зависимости от объема делятся на три вида:

*испытание на электрическую прочность*, включающее определение пробивного напряжения, качественное определение наличия воды, визуальное определение содержания механических примесей;

*сокращенный анализ*, включающий кроме названных выше определение кислотного числа, содержание водорастворимых кислот, температуры вспышки и цвета масла;

*испытания в объеме полного анализа*, включающие все испытания в объеме сокращенного анализа, определение , натровой пробы, стабильности против окисления, а также количественное определение влагосодержания и механических примесей.

Пробу для испытания отбирают в сухие чистые стеклянные банки вместимостью 1 л с притертыми пробками, на которых укрепляют этикетки с указанием оборудования, даты, причины отбора пробы, а также фамилии лица, отобравшего пробу. Как правило, проба отбирается из нижних слоев масла. Методика испытания масла оговорена соответствующими стандартами (ГОСТ6581\_75\*, 6370—83, 1547—84, 6356\_75\*). Качество масла, заливаемого в трансформаторы напряжением до 220 кВ, оценивается по следующим показателям:

Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более	0,02
Температура вспышки, °С, не ниже	150
tg $\alpha$ при 90 °С, %, не более	2,6
Натровая проба по ГОСТ 19296-73, балл, не более	0,4
Стабильность против окисления: Содержание летучих низкомолекулярных кислот, мг КОН на 1 г масла не более	0,005
Массовая доля осадка после окисления, %	-
Кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 г масла, не более	0,1
Температура застывания, °С, не выше	-45
Вязкость кинематическая, (м <sup>2</sup> /с)*10 <sup>-6</sup> , не более	
При 20 °С	28
При 50 °С	9
При -30 °С	1300

Пробивное напряжение масла в эксплуатации должно быть не менее 35 кВ/мм для трансформаторов классов напряжения 60... 220 кВ, не менее 25 кВ/мм — для классов напряжения 20... 35 кВ.

Периодичность испытаний масла должна быть такой, чтобы своевременно выявить недопустимое ухудшение характеристик масла, вызванное воздействием температуры, повышенных напряженностей поля, содержащегося в масле кислорода, контактирования с металлами (сталью, медью) и изоляционными деталями, а также воздействием случайных или непредусмот-

ренных явлений (нарушение технологии изготовления, присутствие посторонних примесей и др.).

Рекомендуются следующие объем и периодичность испытаний масла:

перед первым включением трансформатора в работу проводится проверка масла в объеме сокращенного анализа для трансформаторов напряжением до 35 кВ включительно и в объеме сокращенного анализа с измерением  $\epsilon$  и влагосодержания масла — ДЛЯ трансформаторов напряжением 110 кВ и выше; для трансформаторов с азотной или пленочной защитой дополнительно контролируются газосодержание масла и состав газов в надмасляном пространстве;

в приработочный период, а именно через 10 дней и через месяц для трансформаторов 110... 220 кВ, а для трансформаторов 330 кВ и выше также и через три месяца, проводятся испытания в том же объеме, как перед включением; кроме того, через трое суток после включения и далее через 14 суток, один, три и шесть месяцев у всех трансформаторов напряжением 110 кВ и выше производится хроматографический анализ газов, растворенных в масле.

При дальнейшей эксплуатации испытания масла производят в соответствии с периодичностью текущих ремонтов.

Непосредственный контакт масла трансформатора или маслонаполненного ввода с атмосферным воздухом приводит к постепенному насыщению масла кислородом и увлажнению как масла, так и твердой изоляции. В результате увлажнения масла снижается его электрическая прочность, а насыщение кислородом приводит к ускоренному развитию окислительных процессов (старению). для удаления из масла влаги используют способы центрифугирования, фильтрации и осушки масла.

Защита масла от увлажнения и старения, для защиты масла от увлажнения и старения в процессе эксплуатации трансформатора в его конструкции используется ряд специальных устройств, а именно: расширитель, воздухоосушители, адсорбционные и термосифонные фильтры, устройства азотной и пленочной защиты. Кроме того, для повышения стабильности масел применяют специальные антиокислительные и стабилизирующие присадки.

Адсорбционные масляные фильтры предназначены для непрерывной регенерации масла трансформатора в процессе его эксплуатации с циркуляционной (Ц) и дутьевой циркуляционной (дЦ) системами охлаждения, обеспечивающими принудительную циркуляцию масла через фильтр. Аналогичные фильтры на трансформаторах с естественной масляной (М) и дутьевой (д) системами охлаждения, когда циркуляция масла в фильтре обеспечивается только за счет разностей плотности нагретого и охлажденного масла, называют термосифонными (рис. 6.2). Количе-

ство сорбента в термосифонном фильтре должно составлять около 1 % массы масла в трансформаторе.

Принцип устройства пленочной защиты заключается в наиболее полном удалении влаги и газа из изоляции и масла и их полной герметизации за счет установки внутри расширителя эластичной емкости, предназначенной для компенсации температурного изменения объема масла при работе трансформатора. Эта емкость плотно прилегает к внутренней поверхности расширителя и масла (рис. 6.3) и обеспечивает герметизацию масла от окружающей среды. Одно-

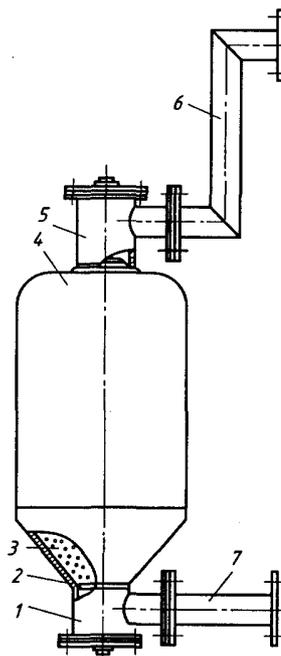


Рис. 6.2. Термосифонный фильтр:

1 — бункер для удаления сорбента; 2 — металлическая решетка с сеткой; 3 — силикагель (сорбент); 4 — корпус фильтра; 5 — бункер для подачи силикагеля; 6, 7 — трубы для подсоединения к баку

временно внутренняя полость эластичной емкости

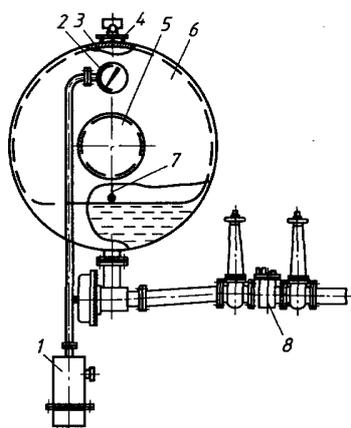


Рис. 6.3. Устройство пленочной защиты:

1 — воздухоосушитель; 2 — стрелочный маслоуказатель; 3 — эластичная емкость; 4 — соединительный патрубок; 5 — монтажный люк; 6 — расширитель; 7 — реле поплавкового типа; 8 — газовое реле

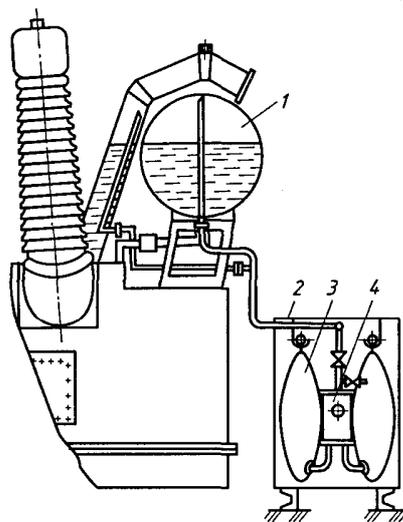


Рис. 6.4. Устройство азотной защиты:

1 — надмасляное пространство расширителя; 2 — шкаф; 3 — мягкий резервуар; 4 — азотоосушитель

соединена патрубком с окружающим воздухом через воздухоосушитель, который препятствует конденсации влаги на ее внутренней поверхности. В трансформаторах с пленочной защитой вместо предохранительной трубы устанавливают предохранительные клапаны, позволяющие обеспечить более надежную герметизацию.

Азотная защита заключается в том, что микропустоты в изоляции и масле, образующиеся в результате тщательного удаления из них воздуха, а также надмасляное пространство заполняют сухим азотом и герметизируют от окружающей среды при помощи мягких резервуаров, служащих для компенсации температурных изменений объема масла при работе трансформатора (рис. 6.4).

#### 6.4. Текущий ремонт трансформаторов

Текущие ремонты предназначены для проверки состояния ограниченного числа быстроизнашивающихся и относительно несложных в ремонте узлов и деталей с устранением обнаруженных дефектов, чтобы обеспечить безотказную работу трансформатора до следующего планового (текущего или капитального) ремонта. При текущем ремонте производятся осмотр и чистка узлов и деталей (как правило, относительно легкодоступных), в том числе загрязненной внешней изоляции, ликвидация небольших дефектов, замена неосновных узлов и деталей, а также измерения, испытания и осмотры с целью выявления и уточнения работ, подлежащих выполнению в ходе капитального ремонта.

Проводится комплекс работ по уходу за трансформаторным маслом, в который входит: спуск грязи и конденсата из расширителя; проверка маслоуказателя и доливка при необходимости масла в расширитель; проверка и смена сорбента в термосифонном (адсорбционном) фильтре и воздухоосушителях. Аналогичные работы выполняются на маслonaполненных вводах.

Производят очистку наружных поверхностей бака и крышки, проверку спускных кранов и уплотнений, целостность мембраны Выхлопной трубы, предохранительного клапана. Осматриваются охлаждающие устройства, выполняется очистка их наружных поверхностей. Проверяют и смазывают подшипники вентиляторов, электродвигателей, насосов. Осматривают и проверяют устройства регулирования под нагрузкой (привод, контактор), а также переключатель регулирования без возбуждения. Проверяют устройства релейной защиты, приборы контроля температуры и давления масла, систему азотной защиты, соответствующие вторичные цепи.

Одновременно с текущим ремонтом трансформатора проводят проверки и опробование устройств его защиты и автоматики, в том числе автоматики и сигнализации систем охлаждения и пожаротушения. В ходе текущего ремонта выполняются испытания изоляции и контактных соединений, в том числе сопротивления контактов переключателей ответвлений (на всех положениях).

Следует заметить, что сопротивление изоляции трансформаторов в эксплуатации измеряют при текущих ремонтах в тех случаях, когда специально для этого не требуется расшиновки трансформатора. Сопротивление изоляции измеряют при испытаниях, имеющих целью выяснение состояния трансформатора при появлении признаков неисправности.

Оценка состояния изоляции при текущем ремонте трансформатора производится в таком же объеме, как при вводе его в эксплуатацию. Обычно совмещают измерение характеристик изоляции трансформатора и его вводов.

## **ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН. ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

При организации электроремонтного производства следует учитывать размеры обслуживаемого района, расположение обслуживаемых объектов и масштабы их ремонтного фонда, а также возможность обеспечения электроремонтного предприятия электрической и тепловой энергией, водой, транспортом, квалифицированной рабочей силой и т. д. Помещения электроремонтных предприятий должны быть защищены от осадков и проникновения пыли.

Наряду с территориальными предприятиями электроремонта существуют ремонтные заводы и цехи по ведомственной принадлежности. При такой организации ремонта у ремонтных

предприятий снижается номенклатура ремонтируемых изделий, что позволяет создавать необходимые обменные фонды по всей номенклатуре (сокращает время замены неисправного оборудования), а также применять при ремонте специализированное оборудование (повышает качество и уменьшает стоимость ремонта).

При определении масштаба ремонтного предприятия следует иметь в виду не только объем парка обслуживаемого электрического оборудования, но и экономическую эффективность его работы. Исследования ряда авторов показали, что при увеличении числа условных ремонтных единиц (см. § 7.1) до 5 тысяч штук происходит интенсивное снижение трудоемкости и себестоимости ремонта. При увеличении числа условных ремонтных единиц от 5 до 70 тысяч штук снижение трудоемкости и себестоимости происходит со средней интенсивностью, а в интервале 70... 200 тысяч штук трудоемкость и себестоимость ремонта уменьшаются незначительно. Поэтому максимальный объем электроремонтного производства, при котором обеспечивается минимальная себестоимость ремонта, находится в пределах 160... 180 тысяч условных ремонтных единиц. При большем числе электрических машин, обслуживаемых одним ремонтным предприятием, себестоимость ремонта снижаться не будет.

Особое внимание при организации электроремонтного производства следует уделять качеству ремонта, чтобы в соответствии с задачами ремонта работоспособность электрического и электромеханического оборудования была бы полностью восстановлена. Это в свою очередь требует применения достаточно дорогого специализированного оборудования, окупающегося при достаточно высокой его загрузке. Иначе говоря, для создания эффективного электроремонтного производства необходимо иметь достаточное количество ремонтируемого на нем оборудования.

Стоимость ремонта электрического и электромеханического оборудования достигает в настоящее время до 60... 80 % стоимости нового оборудования при практическом отсутствии его дефицита. Поэтому некачественный ремонт не имеет никакого смысла. Если качественный ремонт невозможно обеспечить, то целесообразнее заменить вышедшее из строя оборудование на новое.

#### 7.1. Определение трудоемкости ремонта и численности ремонтного персонала

для планирования производства и определения годовой программы ремонтного предприятия необходимо иметь сведения о количестве, мощности, режимах и условиях работы электрического и электромеханического оборудования, которое установлено на обслуживаемых этим

предприятием производства. Следует учитывать также возможное развитие (расширение) обслуживаемых производств на срок 5... 7 лет.

Все электрические машины, находящиеся в эксплуатации, разделяются на группы в зависимости от типа (асинхронные, синхронные, постоянного тока), мощности (малой — до 1,1 кВт, средней — до 100 ... 400 кВт, большой — свыше 400 кВт), уровня напряжения (низковольтные — до 1 кВ, высоковольтные — свыше 1 кВ), конструктивного исполнения и длительности межремонтного периода. При наличии указанных сведений по номенклатуре электрических машин, подлежащих ремонту, годовая производительность электроремонтного предприятия в единицах продукции определяется по формуле

$$P_e = K_2 [(A_1/T_1 + A_2/T_2 + \dots + A_n/T_n) + (A_1/t_1 + A_2/t_2 + \dots + A_n/t_n)], \quad (7.1)$$
 где  $A_1, A_2, \dots, A_n$  — количество электрических машин в каждой группе;  $T_1, T_2, \dots, T_n$  — средняя длительность ремонтного цикла для каждой группы машин, лет (см. § 5.4);  $t_1, t_2, \dots, t_n$  — средняя длительность межремонтного периода для этих групп, лет;  $K = 1,3 \dots 1,6$  — коэффициент, учитывающий развитие обслуживаемых производств и возможные случайные отказы.

Если текущие ремонты проводятся силами Предприятия, на котором эксплуатируются электрические машины, то из формулы (7.1) следует исключить первую составляющую в круглых скобках, определяя годовую производительность только по капитальным ремонтам.

Таким образом, число проходящих ежегодно ремонт в каждой группе электрических машин можно найти соответственно по формулам

$$a_1 = A_1/T_1 + A_1/t_1; \quad a_2 = A_2/T_2 + A_2/t_2; \quad a_n = A_n/T_n + A_n/t_n. \quad (7.2)$$

Годовая трудоемкость работ по ремонту обслуживаемого парка электрических машин (чел\*час) определяется по формуле

$$T_p = (A_1/T_1)M_1 + (A_1/t_1)m_1 + (A_2/T_2)M_2 + (A_2/t_2)m_2 + \dots + (A_n/T_n)M_n + (A_n/t_n)m_n \quad (7.3)$$

где  $M$  и  $t_1$  — среднее нормативное время соответственно капитального и текущего ремонта для каждой группы электрических машин.

Нормативное время ремонта зависит от типа электрической машины (I — коллекторная; II — синхронная; III — с фазным ротором) и ее конструктивного исполнения, частоты вращения, напряжения и вида ремонта. для низковольтных асинхронных двигателей (менее 1000 В) с

короткозамкнутой обмоткой ротора мощностью до 630 кВт и частотой вращения 1500 об/мин на ремонтных заводах электротехнической промышленности используются нормы трудоемкости ремонта, приведенные в табл. 7.1.

Мощность, кВт	Нормы трудоемкости ремонта, чел*ч		Мощность, кВт	Нормы трудоемкости ремонта, чел*ч	
	капитальный	текущий		капитальный	текущий
До 0,8	11	2	56...75	69	15
0,8...1,5	12	2	76...100	85	18
1,6...3,0	13	3	101...125	110	22
3,1...5,5	15	3	126...160	130	27
5,6...10,0	20	4	161...200	140	30
11...17	27	6	201...250	155	33
18...22	32	7	251...320	175	36
23...30	40	8	321...400	195	40
31...40	47	10	401...500	225	44
41...55	55	12	501...630	260	52

для расчета норм трудоемкости ремонта других электрических машин вводятся дополнительные коэффициенты трудоемкости:

$K_n$ , — для скоростей, отличных от 1500 об/мин;  $K$  — для напряжения питания свыше 1000 В;  $K_t$ , — для других типов машин. Ниже приведены значения этих коэффициентов:

п, об/мин	3000	1500	1000	750	600	500
$K_n$	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5
Тип машины	I	I	II	II	III	III
$K_t$	1,8		1,2		1,3	
Напряжение, В	От 1000 до 3300			Свыше 3300 до 6600		
$K_u$	1,7			2,1		

Таким образом, трудоемкость капитального  $M$  и текущего  $t$  ремонтов электрической машины мощностью] можно определить по формулам

$$M_j = M_{j\text{баз}} K_n K_t K_u, \quad (7.4)$$

$$t_j = t_{j\text{баз}} K_n K_t K_u, \quad (7.5)$$

где  $M_{\text{баз}}$ ,  $m_{\text{баз}}$  — трудоемкость соответственно капитального и текущего ремонтов базового асинхронного двигателя мощности] (см. табл. 7.1).

Для крупных высоковольтных электрических двигателей и генераторов нормы трудоемкости ремонта определяются предприятиями-изготовителями.

Пример. Определить трудоемкость капитального и текущего ремонтов синхронного двигателя мощностью 500 кВт, напряжением 3,3 кВ, имеющего номинальную скорость 600 об/мин.

$$M_{500} = M_{\text{баз}} K_n K_t K_u = 225 * 1,4 * 1,2 * 1,7 = 643 \text{ чел*ч,}$$

$$m_{500} = m_{\text{баз}} K_n K_t K_u = 44 * 1,4 * 1,2 * 1,7 = 126 \text{ чел*ч.}$$

Рассчитан по формулам (7.3) ... (7.5) трудоемкость ремонта всего парка обслуживаемых двигателей, определяют число производственных рабочих IV, необходимых для выполнения годовой программы T:

$$N = T_p / \Phi, \quad (7.6)$$

где  $\Phi$  — годовой фонд времени одного рабочего, равный при 41-часовой рабочей неделе 1860 ч (отпуск 15 дней), 1840 ч (отпуск 18 дней), 1820 ч (отпуск 24 дня).

Рассмотренная методика является весьма трудоемкой и требует большого объема не всегда доступной информации, что ведет к ошибкам при расчетах. Поэтому на практике часто пользуются укрупненной методикой расчета, суть которой состоит в следующем.

Вводится понятие условной единицы ремонта, за которую принимают трудоемкость ремонта одного асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора мощностью 5 кВт, напряжением 220/380 В, со скоростью 1500 об/мин, имеющем степень защиты IP23. При отсутствии точных данных по структуре электродвигателей их количество определяется по числу установленных на предприятии станков. для перехода к условным ремонтным единицам 1? (к условным двигателям мощностью 5 кВт) количество станков  $n$  умножают на коэффициент

$$R = n K_{\text{тип}}, \quad (7.7)$$

где = 2,8 ... 3,2 (для автомобильных заводов); 3,5 ... 4,5 (для заводов тяжелого машиностроения); 3,0 ... 3,2 (для подшипниковых заводов и заводов электротехнической промышленности); 3,0 ... 3,5 (для станкоинструментальных заводов); 3,3 ... 4,3 (для заводов строительного, дорожного и коммунального машиностроения).

Суммируя число условных ремонтных единиц на обслуживаемых предприятиях, получают их суммарное число 1?. далее по методике, изложенной в § 5.4, определяют продолжи-

тельность ремонтного цикла и межремонтного периода в зависимости от характера производства и по формулам (7.3) и (7.6) — годовую трудоемкость и число производственных рабочих ремонтного предприятия.

Если известна средняя мощность установленных на предприятии двигателей и она отличается от 5 кВт, то приведение к условным ремонтным единицам осуществляют с помощью коэффициентов приведения:

Средняя мощность, кВт	1	3	5	7	10	15	20	30	40	55	75	100
Коэффициент приведения	0,69	0,78	1	1,19	1,25	1,5	1,8	2,1	2,2	2,3	3,7	4,6

Рассчитанную по такой укрупненной методике трудоемкость ремонта обычно увеличивают на 30 % для учета имеющихся на предприятии электрических двигателей, установленных на вспомогательном оборудовании.

По известному количеству основных рабочих  $N$  определяют число вспомогательных рабочих  $N_{всп}$ , инженерно-технических работников  $N_{итр}$ , служащих и младшего обслуживающего персонала  $N_{сл}$ :

$$\begin{aligned} N_{всп} &= aN; & N_{итр} &= b(N + N_{всп}); \\ N_{сл} &= c(N + N_{всп}), \end{aligned} \quad (7.8)$$

где  $a = 0,15 \dots 0,18$ ;  $b = 0,08 \dots 0,12$ ;  $c = 0,025 \dots 0,04$ .

Примерное распределение основных рабочих электроремонтного предприятия по профессиям определяется трудоемкостью соответствующей группы работ по ремонту. В табл. 7.2 представлен расчет трудоемкости капитального ремонта асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 30 кВт, 1500 об/мин.

Таблица 7.2

Виды работ	Трудоемкость	
	Чел*ч	%
Очистка двигателя	0,4	1,0
Разборка, снятие подшипников, мойка узлов и деталей, дефектировка	4,0	10,0
Механическая обработка и сварочные работы	5,6	14,0

Таблица 7.2

Виды работ	Трудоемкость	
	Чел*ч	%
Удаление обмотки статора, чистка пазов статора	3,0	7,5
Восстановление посадочных мест, напрессовка подшипников	1,0	2,5
Балансировка ротора	1,0	2,5
Изготовление и укладка обмотки, формовка и бандажировка лобовых частей пайка и изолировка схемы	18,0	45,0
Пропитка и сушка обмотки	2,0	5,0
Сборка двигателя	3,7	9,25
Нанесение гальванических покрытий, окраска двигателя	1,3	3,25
Итого:	40	100

В соответствии с приведенной трудоемкостью отдельных видов работ распределение основных рабочих по профессиям выглядит примерно следующим образом: электрообмотчики — 40 %, электрослесари — 37 %, электромонтеры испытательной станции — 3 %, станочники — 5 %, пропитчики — 4%, остальные — 11 %.

### **7.2. Структура цеха по ремонту электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры**

Структура электроремонтного предприятия и состав его оборудования определяются в основном номенклатурой и объемом ремонтируемого оборудования. Поскольку форма организации ремонта электрических машин, трансформаторов и другого электротехнического оборудования является цеховой, то далее будем рассматривать именно эту форму организации ремонта. Следует отметить, что ремонтный цех может быть как самостоятельной производственной единицей, так и являться одним из цехов крупного отраслевого предприятия. В последнем случае на предприятии создается дополнительно центральная электротехническая лаборатория.

В ремонтном цехе производятся следующие работы:

капитальный ремонт электрических машин, включая их реконструкцию и модернизацию;

средний и текущий ремонт;  
ремонт и изготовление пускорегулирующей аппаратуры;  
изготовление запасных частей для электрических машин и аппаратов;  
изготовление электромонтажных узлов и заготовок;  
ремонт и изготовление технологической оснастки ДЛР ремонта.

Все работы, проводимые в этом цехе, можно разбить на восемь основных видов: предремонтные, разборочно-дефектировочные, изоляционно-обмоточные, слесарномеханические, комплектующие, сборочные, отделочные и послеремонтные. Соответственно в состав этого цеха должны входить следующие отделения и участки:

склады поступающей и готовой продукции (территориально они могут быть объединены в один склад);

испытательный участок;

участок разборки, мойки и дефектации машин и аппаратов; ремонтно-механический участок;

кузнечно-сварочный участок;

отделение ремонта контактных колец, коллекторов и щеточных аппаратов электрических машин и восстановление контактов электрических аппаратов;

обмоточное отделение;

участок восстановления обмоточных проводов (в ряде случаев здесь осуществляется и изготовление нового обмоточного провода);

пропиточно-сушильный участок с отделением окраски;

участок комплектации и сборки электрических машин и аппаратов;

испытательная станция.

Кроме указанных участков, в цехе могут быть участки гальванопластики и столярная мастерская. Типовая схема ремонта представлена на рис. 7.1. Отметим, что ремонт электрических аппаратов может быть выделен в отдельное производство (отделение).

Испытательный участок. Здесь проводят предремонтные испытания для выявления неисправностей электрических машин, поступивших в ремонт. Помимо внешнего осмотра здесь измеряют активные сопротивления и сопротивление изоляции обмоток, проверяют целостность подшипников (при работе машины на холостом ходу), правильность и плотность прилегания щеток к коллектору и контактным кольцам, проверяют уровень вибрации.

Участок должен быть оснащен подъемно-транспортным и электроизмерительным оборудованием, а также испытательными стендами.

*Участок разборки, мойки и дефектации.* Здесь производят очистку машин перед разборкой, разбирают ее на отдельные узлы и детали и производят их дефектацию (определяют их состояние и степень износа, объем необходимого ремонта), передают неисправные детали и узлы для ремонта на соответствующие участки, а исправные — на участок комплектации. По итогам дефектации составляется дефектная ведомость и определяются необходимый объем ремонта и потребность в комплектующих изделиях.

Участок должен быть оснащен подъемно-транспортным и моечным оборудованием, механическими и электрическими инструментами для разборки машин, станками для удаления обмотки, печью для выжигания (нагрева) изоляции, приспособлениями для выведения ротора из статора.

Ремонтно-механический и кузнечно-сварочный участки. Здесь ремонтируют изношенные и изготавливают новые конструктивные детали электрических машин и аппаратов — валы, корпуса подшипников скольжения, крышки подшипников и др. Здесь же ремонтируют и изготавливают новые токоведущие части, такие как контактные кольца, коллекторы, щеточные механизмы, контакты. На этом участке производят ремонт и перешихтовку магнитопроводов (сердечников), а также механическую обработку и восстановление резьбовых соединений. Кроме того, на этом участке изготавливают необходимую для ремонта технологическую оснастку.

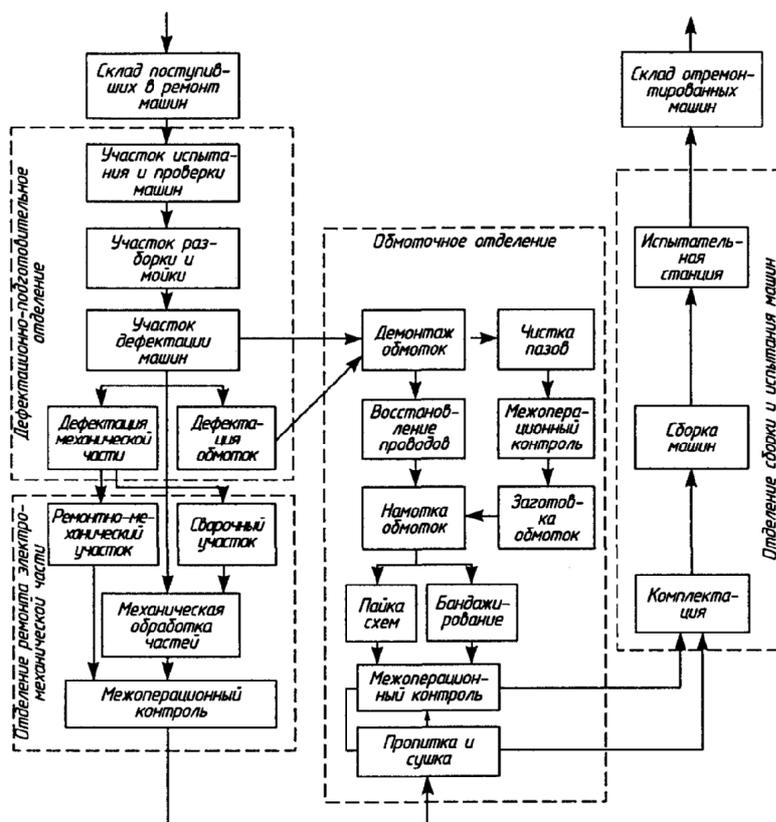


Рис. 7.1. Типовая структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

Участки оснащены соответствующим парком универсальных станков для механической обработки деталей, подъемно-транспортным оборудованием, прессами и Ножницами ДЛЯ резки металла, универсальным сварочным и слесарным оборудованием.

*Обмоточное отделение.* Здесь ремонтируют старые и изготавливают новые обмотки электрических машин и аппаратов, восстанавливают поврежденный обмоточный провод, осуществляют укладку, пропитку и сушку обмоток, производят сборку рабочей схемы соединения обмоток и осуществляют контроль изоляции обмоток в процессе ее изготовления и укладки.

*Участок пропитки и сушки* должен иметь хорошую вытяжную вентиляцию. Подъемно-транспортное оборудование рассчитывается на узлы, имеющие максимальную массу (как правило, это статоры наиболее крупных машин).

*В отделении окраски* проводят отделочные работы и окраску машин и аппаратов после сборки и испытаний. Там устанавливаются станки для очистки и изолировки проводов, намотки обмоток, резки и формовки изоляции, пресса для формовки катушек из прямоугольного провода, специальные станки для бандажировки обмоток. Отделение оснащено инструментом для пайки и сварки проводов, необходимым пропиточным оборудованием и сушильными шкафами.

*Участок комплектации и сборки.* Сюда направляются исправные чистые узлы и детали с участка разборки и дефектации, отремонтированные узлы и детали из остальных отделений, а также недостающие комплектующие детали (крепеж, подшипники качения и т. п.). Полный машинокомплект поступает на сборку, где осуществляются поузловая и общая сборка электрических машин и аппаратов. Здесь производится и балансировка роторов электрических машин.

Участок оснащен практически тем же оборудованием, что и участок разборки (за исключением моечного оборудования и оборудования для удаления обмоток). Кроме того, здесь установлены балансировочные станки.

*Испытательная станция.* Здесь проводятся послеремонтные испытания электрических машин и аппаратов по соответствующим программам, а также испытания новых конструкций, узлов и деталей, изготовленных в процессе реконструкции или модернизации.

Станция оснащена подъемно-транспортным оборудованием и испытательными стендами, включая стенды для высоковольтных испытаний, а также соответствующим защитным оборудованием. Территория станции имеет ограждение для предотвращения доступа на нее постороннего персонала предприятия.

### **7.3. Структура цеха по ремонту трансформаторов**

Трансформаторы считаются самыми надежными элементами электрической системы. По сравнению с другими видами электрического и электромеханического оборудования они отличаются более высокой надежностью в эксплуатации. Однако это утверждение справедливо только при соблюдении всех правил хранения, транспортировки, монтажа и эксплуатации, а также при условии качественного проведения ремонтов.

В цехе по ремонту трансформаторов проводятся следующие работы:

капитальные ремонты трансформаторов, включая реконструкцию и модернизацию;

средние и текущие ремонты;

изготовление запасных частей для трансформаторов;

ремонт маслonaполненных электрических аппаратов.

Аналогично ремонту электрических машин все работы, проводимые в этом цехе, можно разбить на восемь основных видов:

предремонтные, разборочно-дефектировочные, обмоточные, слесарно-механические, комплектовочные, сборочные, отделочные и послеремонтные. Соответственно в состав этого цеха должны входить следующие отделения и участки:

склады неисправных и отремонтированных трансформаторов;

испытательный участок;

участок осмотра, разборки и дефектировки трансформаторов и маслонаполненных аппаратов;

участок чистки и мойки баков;

сварочно-механический участок, на котором проводится и ремонт систем регулирования напряжения;

отделение подготовки масла (масляное хозяйство);

участок ремонта магнитопроводов (сердечников), оборудованный стационарной установкой для лакирования пластин (для специализированных предприятий с большим объемом работ);

отделение по ремонту и изготовлению обмоток; сушильно-пропиточное отделение;

склад комплектующих изделий и инструментов; сборочный участок;

участок заливки трансформаторов маслом; испытательная станция;

участок окраски баков.

Типовая схема ремонта трансформаторов представлена на рис. 7.2. Подробное описание работ, проводимых на каждом участке, приведено в разделе iУ. Поскольку поступающие в ремонт трансформаторы весьма разнообразны по мощности, габаритным размерам, напряжению и конструктивному исполнению, в большинстве случаев используется индивидуальный метод ремонта, с использованием технологий заводов-изготовителей трансформаторов.

Особенностью цеха по ремонту трансформаторов является наличие масляного хозяйства, а также необходимость выполнения значительного объема работ по подготовке масла. При ремонте масло либо восстанавливают, либо заменяют на новое, для чего нужно иметь достаточное количество масла и емкостей для его хранения, в цеху должны быть проложены маслопроводы и установлена маслоочистительная аппаратура. Трансформаторное масло является горючим материалом, поэтому особое внимание необходимо уделять пожарной безопасности цеха, особенно участкам, на которых проводится работа с маслом.

В отличие от других электротехнических изделий любой ремонт трансформатора, связанный со вскрытием бака и разборкой трансформатора, является капитальным. Это объясняется тем, что после вскрытия трансформатора независимо от масштаба ремонта необходимо выполнить большой объем обязательных работ, таких как обработка масла, замена сорбентов и уплотнений, сушка активной части, контрольные испытания и ряд других. Эти работы занимают много времени и требуют значительных материальных затрат.

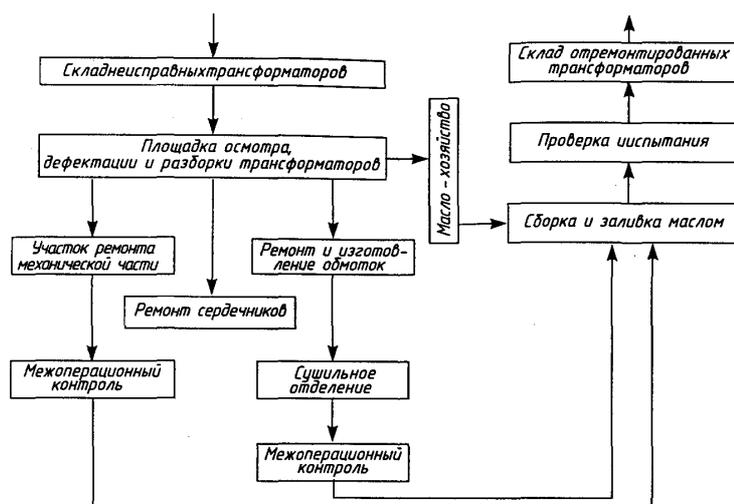


Рис. 7.2. Типовая структурно-технологическая схема ремонта трансформаторов

#### 7.4. Структура центральной электротехнической лаборатории

Если ремонтные цехи входят в состав крупного отраслевого предприятия (машиностроительный, металлургический, электро-технический завод и т. п.), то в их составе или независимо от них должна быть предусмотрена центральная электротехническая лаборатория, сотрудники которой проводят текущее обслуживание электрического и электромеханического оборудования, а также участвуют в проведении его ремонта. В составе этой лаборатории обычно предусматриваются следующие подразделения.

Лаборатория электрических измерений, в которой осуществляются ремонт и поверка практически всех используемых электроизмерительных приборов, а также их проверка на месте установки. Сотрудники этой лаборатории проводят контроль за эксплуатацией электроизмерительных приборов на месте установки.

Лаборатория электротехнических испытаний, в которой проводятся послеремонтные и эксплуатационные испытания трансформаторов и высоковольтных двигателей, реакторов и вентиляльных разрядников, профилактические испытания изоляции высоковольтных выключателей, разъединителей и других коммутационных аппаратов, комплексных распределительных устройств и высоковольтных кабельных линий. Здесь же проводятся испытания всех устройств защиты электротехнических установок, измерение сопротивления заземляющих устройств и

контроль за качеством трансформаторного масла, жидких негорючих диэлектриков и других изоляционных материалов.

Лаборатория электрического привода, в которой исследуются режимы работы электроприводов и проверяется действие их защит. Сотрудники этой лаборатории принимают участие в пусконаладочных работах и разрабатывают и осуществляют мероприятия по внедрению на предприятии новой техники, замене морально устаревшего оборудования и его модернизации. Кроме того, они проводят наладку оборудования после ремонтов.

Лаборатория промышленной электроники, в которой осуществляется ремонт и наладка электронного оборудования, используемого на предприятии, включая контроль за работой силовых полупроводниковых устройств и систем управления. Здесь же могут проводиться работы по контролю и наладке систем дистанционного управления, сигнализации и измерений, а также по разработке оптимальных режимов контроля и управления.

Лаборатория релейной защиты и автоматики, в которой осуществляется проверка всех видов устройств релейной защиты и сетевой автоматики, установленных на подстанциях и в распределительной сети предприятия. Здесь разрабатываются программы по вводу новых объектов электроснабжения и ремонту действующих электрических установок, изготавливаются и ремонтируются комплектные устройства, используемые для проверок работы оборудования. В этой лаборатории испытываются новые защитные устройства и проходят поверку установленные на предприятии электроизмерительные приборы и счетчики.

Пусконаладочная лаборатория, в которой осуществляется контроль за результатами наладки нового или отремонтированного электрического и электромеханического оборудования, если она проводится сторонними организациями, или самостоятельная наладка этого Оборудования, если участие сторонних организаций в наладке не предусмотрено.

Лаборатория режимов электроснабжения, в которой собираются и анализируются данные по работе систем электроснабжения, освещения и электропривода, а также определяются и контролируются рациональные режимы питания цехов предприятия и отдельных крупных энергетических объектов. В этой лаборатории разрабатывают и осуществляют мероприятия по минимизации потерь электрической энергии и оптимальной работе устройств компенсации реактивной мощности.

На предприятиях электротехнического профиля, как правило, создается *лаборатория надежности*, в которой собираются и обрабатываются данные по отказам электрического и электромеханического оборудования, а также выявляются причины этих отказов.

Кроме рассмотренных задач центральная электротехническая лаборатория контролирует график нагрузки, осуществляет надзор за правильной и безопасной эксплуатацией всех высоковольтных установок предприятия, участвует в составлении и реализации договора электроснабжения с местной электроэнергетической системой.

*Контрольные вопросы*

1. От чего зависит трудоемкость ремонтов электротехнического оборудования?
2. Как рассчитать численность работников электроремонтного предприятия?
3. Назовите основные виды работ, проводимых при ремонте электрических машин.
4. Назовите основные виды работ, проводимых при ремонте трансформаторов.
5. Каковы основные задачи центральной электротехнической лаборатории?

## **СОДЕРЖАНИЕ РЕМОНТОВ. РАЗБОРКА И ДЕФЕКТАДИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

В зависимости от массы и размеров, а также от характера ремонта электрические машины либо ремонтируются на месте, либо направляются на ремонтное предприятие. Взаимные обязательства заказчика и ремонтного предприятия регламентируются в технических условиях ремонта.

Приемка в ремонт производится по акту, в котором кроме паспортных данных машины и предполагаемого объема ремонта указываются технические требования, которым должна удовлетворять машина после осуществления ремонта: мощность, напряжение, частота вращения, энергетические показатели и др. В ремонт принимаются только комплектные электрические машины, имеющие все основные узлы и детали, включая старые обмотки. Все соединительные и установочные детали должны быть демонтированы заказчиком. Как правило, не ремонтируются машины с разбитыми корпусами и подшипниковыми щитами и со значительным (более 25 %) повреждением магнитопроводов.

### **8.1. Содержание ремонтов**

**Технические условия ремонта.** Ремонт должен выполняться качественно, чтобы после него был обеспечен необходимый уровень эксплуатационной надежности, а технические показатели соответствовали стандартам и нормам. Отремонтированная машина снабжается всеми необходимыми деталями, включая при необходимости соединительные и установочные, камеры подшипников качения заполняются смазкой. Поверхности корпуса и подшипниковых щитов окрашиваются, концы валов покрываются консервационной смазкой.

После проведения послеремонтных испытаний ремонтное предприятие должно гарантировать безотказную работу машины в течение одного года при соблюдении условий транспортировки, хранения и эксплуатации.

Выходные концы обмоток маркируются в соответствии со стандартом, а к корпусу машины крепится новый щиток с указанием предприятия, проводившего ремонт, даты выпуска из ремонта и технических данных машины в соответствии со стандартами.

На ремонтных предприятиях существуют технологические карты ремонта электрических машин, составленные в виде таблиц, с перечислением номеров и содержанием всех технологических операций, технических условий и указаний по содержанию ремонта. Там же приводятся

данные об оснастке и оборудовании, необходимом для ремонта, и нормы времени на проведение отдельных операций.

**Текущий ремонт.** Этот вид ремонта применяется для машин, находящихся в эксплуатации или резерве, в сроки, обусловленные графиком ПНР. Текущий ремонт проводится на месте установки электрической машины с ее остановкой и отключением силами обслуживающего электротехнического персонала. Если для проведения текущего ремонта требуются специальные сложные приспособления и значительное время, то он проводится силами персонала электроремонтного или специализированного предприятия.

В процессе ремонта выполняются следующие работы: чистка наружных поверхностей машины; проверка состояния подшипников качения, их промывка и замена (в случае увеличенных радиальных зазоров); проверка работы смазочных колец и системы принудительной смазки в подшипниках скольжения; осмотр и чистка вентиляционных каналов, обмоток статора и ротора, коллекторов и контактных колец; проверка состояния крепления лобовых частей обмоток и бандажей; устранение местных повреждений изоляции и выявленных при осмотре дефектов; сушка обмоток и покрытие их при необходимости покровными эмалями; шлифовка контактных колец и коллекторов (при необходимости их продоразивание); проверка и регулировка щеточного механизма и систем защиты; сборка машины и проверка ее работы на холостом ходу и под нагрузкой; проведение приемо-сдаточных испытаний и сдача в эксплуатацию с соответствующей отметкой в технической документации.

**Капитальный ремонт.** Этот вид ремонта применяется для машин, находящихся в эксплуатации, в сроки, обусловленные графиком ППР или по результатам профилактических (послеосмотровых) испытаний. Капитальный ремонт проводится для восстановления работоспособности и полного восстановления ресурса электрической машины с восстановлением или заменой всех изношенных или поврежденных узлов и заменой обмоток. Ремонт машины нецелесообразен, если имеются значительные повреждения механических узлов, которые невозможно устранить силами ремонтного предприятия.

В процессе капитального ремонта, как правило, выполняются следующие работы:

текущий ремонт; проверка воздушного зазора между статором и ротором (если конструкция машины позволяет это осуществить); проверка осевого разбега ротора и зазоров между шейкой вала и вкладышем подшипника скольжения (при необходимости проводится перезаливка вкладыша);

полная разборка машины и мойка всех механических узлов и деталей; продувка и чистка коллектора, контактных колец, щеточного механизма и неповрежденных изоляционных деталей; дефектация узлов и деталей;

ремонт корпуса, подшипниковых щитов, магнитопроводов (заварка трещин, восстановление резьбовых отверстий, восстановление посадочных мест в корпусе и щитах), удаление замыканий между отдельными листами сердечников статора и ротора, устранение распушения листов, восстановление прессовки, ремонт выгоревших участков с установлением протезов); ремонт вала (исправление торцовых отверстий, устранение прогиба, восстановление посадочных отверстий и шпоночных канавок);

извлечение старых обмоток; изготовление и укладка новых обмоток из круглого провода; ремонт или изготовление новых обмоток из прямоугольного провода и их укладка; сборка и пайка (сварка) электрических схем; пропитка и сушка обмоток; нанесение на лобовые части покровных эмалей;

сборка и отделка машины, проведение приемо-сдаточных испытаний.

При капитальном ремонте производят замену подшипников качения, выработавших свой ресурс (вне зависимости от их состояния). Вопрос применения подшипников, свой ресурс не выработавших, решается после их дефектации. При этом следует помнить, что ущерб от возможного отказа подшипника и связанного с этим отказа (остановки) двигателя существенно больше стоимости самого подшипника.

Обмотки из круглого провода и низковольтные обмотки из прямоугольного провода при ремонте, как правило, повторно не используются, поскольку извлечь такой провод без повреждения практически невозможно. После извлечения они передаются на переплавку. Высоковольтные обмотки из прямоугольного провода могут использоваться повторно после замены витковой и корпусной изоляции.

## **8.2. Предремонтные испытания**

Эти испытания проводятся с целью определения характера дефектов поступивших во внеплановый ремонт электрических машин. Кроме того, на практике встречаются случаи, когда исправная машина по ошибке обслуживающего персонала отправляется в капитальный ремонт. Для машин малой мощности можно принять следующую последовательность испытаний:

определение состояния машины путем внешнего осмотра;

определение (измерение) сопротивления изоляции обмоток; определение сопротивления обмоток постоянному току;

проверка легкости вращения вала машины от руки;

проверка работы на холостом ходу.

При положительных результатах этих проверок машину подвергают приемо-сдаточным испытаниям и, если она их выдерживает, отправляют обратно в эксплуатацию.

Крупные электрические машины перед плановым капитальным ремонтом испытывают на месте установки. Объем испытаний устанавливается в зависимости от конструкции машины, а также требований и условий ее эксплуатации. В процессе испытаний измеряются вибрации на холостом ходу и при различных нагрузках; определяют температуру отдельных узлов машины (обмотки, магнитопровода, подшипников); определяют температуру воздуха и воды на входе и выходе из воздухоохладителя определяют подшипниковые токи и др. После останова машины измеряют сопротивление изоляции, величину воздушного зазора, биение контактных колец и коллектора. Особое внимание при этом уделяют неразбираемым при ремонте узлам. Полученные данные сравнивают с данными испытаний, полученными при предыдущем ремонте.

до вывода в ремонт крупных электрических машин в соответствии с нормами ПТЭ необходимо: составить ведомость объема работ и смету, которые уточняются после вскрытия и осмотра машины; составить график ремонтных работ; заготовить необходимые материалы и запасные части; составить и утвердить техническую документацию на реконструкцию или модернизацию и подготовить необходимые для этого материалы; укомплектовать и привести в исправное состояние необходимый инструмент и подъемно-транспортные механизмы; подготовить рабочие места и спланировать ремонтные площадки для производства ремонтных работ; укомплектовать и проинструктировать ремонтные бригады.

Ремонтные площадки предназначены для перегрузки и размещения сборочных деталей, ремонтных приспособлений и оснастки, а также для выполнения ремонтных операций. Они должны быть электрифицированы и находиться в зоне действия грузоподъемного механизма.

Если при ремонте необходимо снимать машину с фундамента и отсоединять ее от приводного механизма, то такой ремонт целесообразно выполнять в условиях специальной ремонтной мастерской (ремонтного предприятия).

## **ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ. КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРОВ БЕЗ РАЗБОРКИ АКТИВНОЙ ЧАСТИ**

В отличие от электрических машин любой ремонт масляных трансформаторов, связанный с вскрытием бака, является капитальным. К капитальным относится и ремонт по типовой номенклатуре, называемый ревизией. Следует отметить, что трансформаторы большой мощности ремонтируются только по специальной для каждого трансформатора технологии, которая в настоящей книге не рассматривается.

### **11.1. Классификация ремонтов трансформаторов**

*По объему* ремонтных работ различают ремонты: текущий (эксплуатационный) ремонт, капитальный без замены обмоток, капитальный с заменой обмоток, но без ремонта магнитной системы, капитальный с заменой обмоток и частичным или полным ремонтом магнитной системы. Ремонт по типовой номенклатуре называется ревизией. При этом ремонте активную часть трансформатора вынимают из бака (или поднимают съемную часть бака) и без разборки активной части (расшихтовка магнитопровода и съем обмоток) производят ее ревизию. Выполняют также целый ряд других обязательных работ, в которые входят обработка масла, замена сорбентов, уплотнений, в некоторых случаях — сушка активной части, контрольные испытания.

*По назначению* ремонты могут быть планово-предупредительные (профилактические) и послеаварийные, как и при ремонте электрических машин. Периодичность их проведения зависит от результатов профилактических испытаний и наличия дефектов, выявленных в процессе эксплуатации и при внешнем осмотре трансформатора (см. § 6.1).

Кроме того, предусматривается вскрывать главные трансформаторы электростанций и подстанций, через которые передается основная часть вырабатываемой электроэнергии, и трансформаторы собственных нужд подстанций через восемь лет после включения в эксплуатацию (независимо от сроков и объемов ремонтов, приведенных в Приложении 7). Вскрываются и осматриваются трансформаторы также после длительной транспортировки к месту установки.

Капитальные ремонты, входящие в объем планово-предупредительных, выполняются за сравнительно непродолжительное время.

Сроки выполнения послеаварийного ремонта определяются рядом обстоятельств: возможностью замены трансформатора, наличием резерва, категорией потребителей, которых трансформатор снабжает электроэнергией, и т. п. Выполнение капитального ремонта с заменой

обмоток и изоляции, переизолировкой электротехнической стали требует значительных материальных, трудовых затрат и времени.

По характеру выполняемых работ выделяют следующие основные виды ремонтов: восстановительный, реконструкция и модернизация. При восстановительном ремонте параметры трансформатора и конструкция узлов и деталей не изменяются. При реконструкции параметры трансформатора сохраняются, а конструкция ряда узлов изменяется. В процессе модернизации изменяют параметры трансформатора и, как правило, отдельные части конструкции.

Большое значение при проведении плановых капитальных ремонтов придается условиям вскрытия активной части (см. § 3.5). В этом случае срок ремонта невелик и, если изоляция трансформатора не увлажнена, сушка активной части в объем ремонта не входит.

В настоящее время для исключения увлажнения изоляции при разгерметизации и спине масла используется технология, позволяющая удлинить время нахождения активной части вне масла до 100 ч. Технология заключается в подаче в бак трансформатора осушенного воздуха с относительной влажностью не выше 20 %. Для получения сухого воздуха используют специальную установку, снабженную цеолитовыми адсорберами и подогревателем воздуха. Установка может быть использована для подсушки изоляции.

Силовые трансформаторы в зависимости от мощности и класса напряжения разделяются на группы (габариты) от I до VIII. Каждая группа включает трансформаторы, достаточно близкие по массогабаритным показателям (табл. 11.1).

При капитальном ремонте трансформаторов мощностью более 32 мВА и классов напряжения свыше 110 кВ (VI — VIII габаритов) затраты, связанные с транспортировкой, могут намного превосходить стоимость ремонта. Только конкретное технико-экономическое обоснование позволяет решить вопрос о методе ремонта в каждом случае.

Однако чаще всего крупные трансформаторы ремонтируются непосредственно на подстанциях, имеющих башни с грузоподъемными устройствами, а на электрических станциях — в машинных залах, оборудованных мостовым краном нужной грузоподъемности. Ремонт выполняется специализированным ремонтным предприятием, персонал которого выезжает к месту установки трансформатора. Однако такие работы, как перемотка и изготовление обмоток, ремонт главной изоляции, переизолировка пластин магнитной системы и целый ряд других, проводятся в специализированных мастерских.

Капитальные ремонты трансформаторов I— III и частично IV габаритов производятся, как правило, на специализированных ремонтных предприятиях. Хотя в большинстве случаев используется индивидуальный метод ремонта, современные ремонтные предприятия организу-

ют его выполнение в условиях, максимально приближенных к заводским по уровню организации и используемому оборудованию.

Цеолиты группа минералов, получаемых в основном синтетическим методом. они обладают исключительно высокими адсорбционными свойствами, обусловленными высокой пористостью кристаллов и определенными размерами входных окон и каналов, которые действуют как сита, просеивающие молекулы, входящие в состав очищаемого вещества.

Таблица 11.1

Габарит	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$S_n$ , кВА	$\leq 100$	100... 1000	1000... 6300	$> 6300$	$\leq 32000$	32000... 80000	80000... 200000	$> 200000$
$U_{вн}$ , кВ	$\leq 35$				$\leq 110$	$\leq 330$		$> 500$

### 12.5. Сушка, чистка и дегазация трансформаторного масла

Заливаемое в трансформатор масло должно удовлетворять установленным стандартами и инструкциями нормам. В процессе длительной эксплуатации его характеристики ухудшаются, поэтому при ремонте трансформаторов масло подвергают обработке: удаляют механические примеси, влагу («сушат») и растворенные газы, путем регенерации восстанавливают повышенную кислотность масла, для этих целей применяют различную маслоочистительную аппаратуру, оборудование и адсорбенты.

Центрифугирование масла. для удаления из масла влаги и механических примесей применяют центрифуги. На рис. 12.16 показан общий вид центрифуги. Барабан, помещенный в герметически закрытый корпус 1, состоит из большого количества конусообразных тарелок с отверстиями. Тарелки расположены параллельно одна над другой на общем вертикальном валу на расстоянии друг от друга, равном нескольким десятым долям миллиметра. Назначение тарелок — разделить жидкость на ряд тонких слоев и тем самым увеличить интенсивность очистки.

для входа масла в центрифуге имеется центральное входное отверстие. Кроме того, имеются три выходных рукава: верхний для слива масла при внезапной остановке центрифуги или чрезмерном загрязнении барабана, средний для выхода очищенного

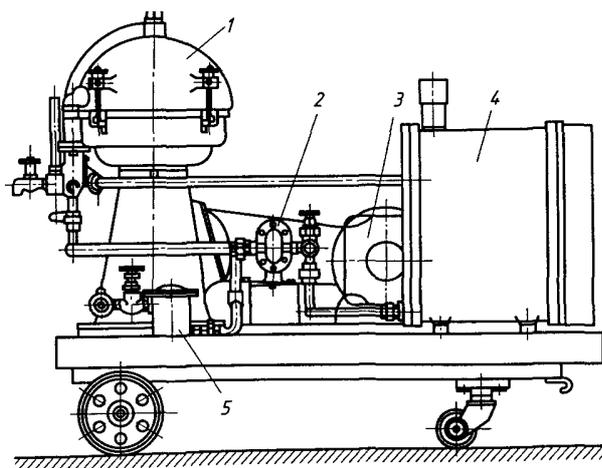


Рис. 12.16. Общий вид центрифуги для очистки масла

масла и нижний для слива отделенной воды. Масло нагнетается в центрифугу и выкачивается из нее двумя шестеренчатыми насосами 2. Так как наиболее интенсивное удаление влаги из масла происходит при температуре 50... 55 °С, центрифуга снабжена электрическим подогревателем 4.

для задержания крупных механических примесей и предотвращения попадания их в аппарат на входном патрубке маслопровода имеется фильтр 5 из тонкой металлической сетки. Центрифуга приводится во вращение мотор-редуктором 3 через ременную передачу. Производительность центрифуги равна 1500 л/ч при скорости барабана 6800 об/мин.

Если в масле много воды, то путем соответствующей перестановки тарелок центрифугу перестраивают на режим удаления воды. для очистки масла с небольшим содержанием воды центрифуга должна работать в нормальном режиме, т. е. в режиме удаления влаги и механических примесей. Чтобы при центрифугировании уменьшить количество растворенного в масле воздуха, применяют центрифуги, в которых масло при очистке находится под вакуумом.

Фильтрация масла. Фильтрацией называется способ очистки масла продавливанием его через пористую среду, имеющую большое количество мельчайших отверстий, в которых задерживаются вода и механические примеси. В качестве фильтрующего материала применяют специальную фильтровальную бумагу, картон или специальную ткань (бельтинг). Аппарат, который служит для фильтрации масла, называется фильтр-прессом (рис. 12.17). Он состоит из ряда чугунных рам, пластин и заложеной между ними фильтровальной бумаги. Пластины и рамы чередуются между собой. Весь комплект вместе с фильтровальной бумагой зажат двумя массивными плитами и винтом.

Рамы, пластины и бумага имеют в нижних углах по два отверстия: А — для входа грязного масла и Б — для выхода очищенного масла (рис. 12.18). Пластины с обеих сторон имеют

продольные и поперечные каналы, не достигающие до краев, благодаря которым их поверхность покрыта большим количеством усеченных пирамид. Внутри рам 3 образуются камеры 1 для неочищенного масла. Камеры щелями 2 в углах рам сообщаются с общим сквозным отверстием 4, в которое нагнетается грязное масло. Просочившись сквозь фильтровальную бумагу 5 камер, очищенное масло поступает к решеткам пластин 6 и по имеющимся в них канавкам попадает в сквозное отверстие 7 и далее на выход из пресса. Параллельное включение камер создает большую фильтрующую поверхность и увеличивает производительность пресса.

В фильтр-пресс масло нагнетается насосом под давлением (4... 6) 10 Па. Повышение давления масла в процессе работы фильтр-пресса показывает, что фильтровальная бумага засорилась и ее необходимо заменить. Для грубой очистки масла до его поступления в фильтр-пресс служит специальный сетчатый фильтр, размещенный на входном патрубке. Для отбора проб очищенного масла на выходном патрубке имеется кран.

**Сушка масла в цеолитовых установках.** Для сушки трансформаторного масла широко применяют цеолитовые установки. Сушка осуществляется путем однократного фильтрования масла через слой молекулярных сит — искусственных цеолитов типа ТаА. Обычно цеолитовая установка (рис. 12.19) состоит из трех-четырех параллельно работающих адсорберов 6, содержащих по 50 кг цеолитов каждый. Адсорбер представляет собой полый металлический цилиндр, полностью заполненный цеолитами. Для большей поверхности контакта цеолитов с маслом размер адсорбера подбирают так, чтобы отношение высоты засыпки гранулированных цеолитов к его диаметру было не менее 4:1. В нижней части адсорбера имеется доннышко из металлической сетки, которое служит опорой для молекулярных сит. Верхняя горловина адсорбера закрыта съемной металлической сеткой. Масло через него перекачивается насосом.

Для подогрева масла имеется электронагреватель 3. Он представляет собой металлический бачок со штуцерами для присоединения

маслопроводов, снабженный манометром 4, термосигнализатором

и электронагревательными элементами (обычно типа ТЭН-12). Установка имеет два фильтра 5, один из которых установлен на входе

в адсорбер и служит для очистки масла от механических примесей,

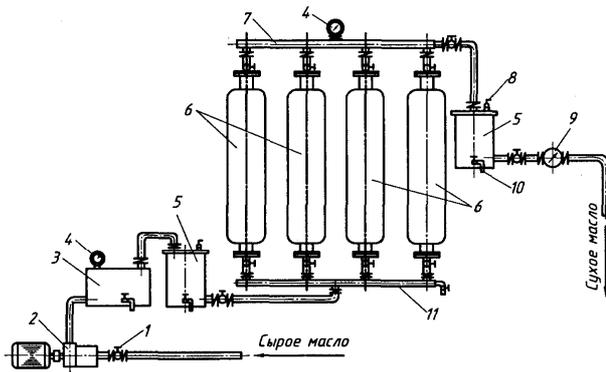


Рис. 12.19. Цеолитовая установка для сушки масла:  
 1 — вентиль; 2 — насос; 3 — электронагреватель масла; 4 — манометры; 5 — фильтры;  
 6 — адсорберы; 7 — верхний коллектор; 8 — кран для спуска воздуха; 9 — объемный  
 счетчик; 10 — кран для отбора проб и слива масла; 11 — нижний коллектор

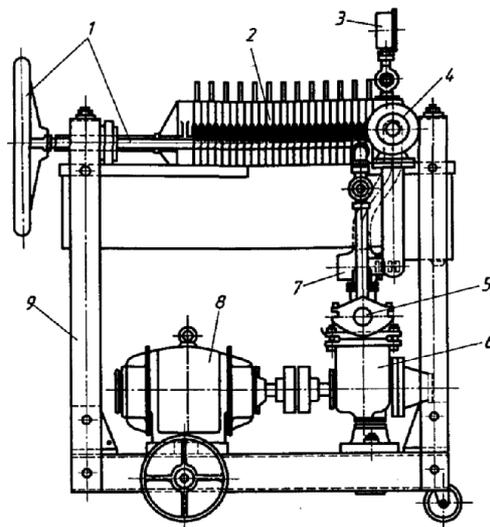


Рис. 12.17. Фильтр-пресс:  
 1 — штурвал с нажимным винтом; 2 — набор из рам, пластин и фильтровального  
 материала; 3 — манометр; 4 — патрубок с фланцем для выхода масла; 5 — патруб-  
 ок с фланцем для входа масла; 6 — насос; 7 — фильтр грубой очистки; 8 —  
 электродвигатель; 9 — станина

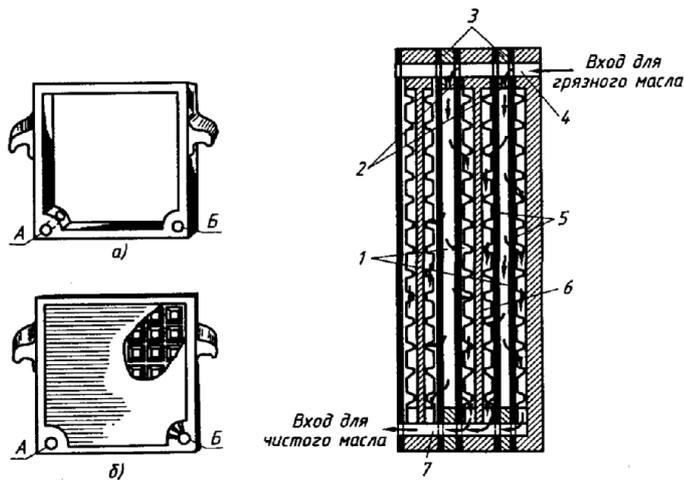


Рис. 12.18. Детали фильтр-пресса (а — рама; б — пластина) и схема его  
 работы (в):  
 А — отверстие для входа грязного масла; Б — отверстие для выхода очищенного  
 масла

а другой — на выходе сухого масла из адсорбера и служит для задержки гранул и крошек цеолитов, если происходит повреждение металлической сетки в верхней горловине адсорбера.

для сушки трансформаторного масла требуется примерно 0,1 ... 0,15% синтетических цеолитов от массы обрабатываемого масла. За один цикл фильтрования пробивное напряжение трансформаторного масла повышается с 10... 12 кВ до 58... 60 кВ. Сушку масла производят при температуре 20... 30 °C и скорости фильтрации 1,1 ... 1,3 т/ч. Практически на сушку 50 т масла через установку со 100 кг цеолитов требуется около 48 ч. Кислотное число и натровая проба масла после фильтрования остаются без изменений.

Цеолиты жадно поглощают влагу из воздуха, поэтому после окончания работы адсорберы должны оставаться заполненными маслом. Хранят цеолиты во влагонепроницаемой таре. Адсорбционные свойства цеолитов многократно восстанавливаются продувкой адсорбера с отработанными гранулами горячим воздухом (температура 300 ... 400 °C длительность продувки 4... 5 ч). Чтобы предохранить цеолиты от увлажнения, после прокаливания их заливают сухим трансформаторным маслом и плотно закрывают крышкой.

Регенерация кислых масел. Существует ряд химических способов глубокой регенерации масел, основным из которых является кислотощелочноземельный. При этом способе очистки масло обрабатывают серной кислотой, которая уплотняет и связывает все нестойкие соединения масла в кислый гудрон. Гудрон удаляют путем отстоя, а остатки серной кислоты и органических кислот нейтрализуют обработкой масла щелочью. Затем масло промывают дистиллированной водой, сушат и для полной нейтрализации обрабатывают отбеливающей землей. После окончательного фильтрования получают восстановленное масло.

для неглубокой регенерации масла в ремонтной практике применяют силикагель. достоинством силикагеля является возможность его многократного использования. для восстановления свойств его прокаливают при температуре 300 ... 500 °C. в нестационарных ремонтных условиях силикагелем обычно регенерируют слабоокисленные масла, не требующие глубокой химической очистки. для этого масло многократно прогоняют через адсорбер — бачок, наполненный просушенным силикагелем. Циркуляцию масла, как правило, осуществляют при помощи насоса центрифуги юги фильтрпресса, который включают на выходной части адсорбера. Как и при других видах очистки, масло при регенерации подогревают.

дегазация трансформаторного масла. Присутствие в масле кислорода вызывает его окисление и ухудшает диэлектрические свойства, связанные с возникновением электрических разрядов и ионизации под действием электрического поля. Обычно при атмосферном давлении масло содержит около 10 % воздуха (по объему), причем растворимость воздуха растет с повышением

температуры масла. Отметим, что в воздухе, растворенном в трансформаторном масле, соотношение входящих в него газов изменяется. В атмосферном воздухе содержится 78 % азота и 21 % кислорода, а в воздухе, растворенном в масле, — 69,8 % азота и 30,2 % кислорода. Определение содержания воздуха в масле производится в лаборатории при помощи специального прибора. Перед дегазацией масло осушают до влагосодержания не более 0,001 % (10 г воды на 1 м<sup>3</sup> масла).

Для дегазации и вакуумирования масла имеются специальные дегазационные установки. дегазатор, как правило, состоит из двух металлических баков, заполненных кольцами Рашига, которые служат для увеличения поверхности растекания масла. На крышках баков имеются распылители. Масло, проходя через распылители, равномерно распределяется по всему объему баков. Вакуум в баках создается вакуумным насосом, обычно типа ВН-6. Стекая тонкими слоями по поверхности колец, масло дегазируется до остаточного содержания газа 0,04 % (по объему). Из дегазатора масло поступает в бак трансформатора, находящийся под таким же вакуумом, как и дегазатор. При ремонтах применяют как стационарные, так и передвижные дегазационные установки. При переводе трансформаторов на азотную или пленочную защиту требуется вакуумирование, дегазация и доведение влагосодержания масла до указанной ранее нормы.

Трансформатор заполняется дегазированным маслом до высоты 150 ... 200 мм от крышки. Свободное пространство над зеркалом масла заполняется сухим азотом. Подпитку азотом производят по мере его растворения в масле до полного насыщения масла азотом.

## **12.6. Испытания трансформаторов после капитального ремонта**

Объем и нормы испытаний. После завершения ремонтных работ трансформатор подвергается испытаниям с целью проверки качества и отсутствия дефектов, а также с целью проверки характеристик трансформатора на соответствие требованиям стандартов, технических условий или других регламентирующих документов. Программа испытаний после капитального ремонта с разборкой активной части трансформатора полностью соответствует программе приемосдаточных испытаний в заводских условиях. В программу приемосдаточных испытаний входят:

- проверка коэффициента трансформации и группы соединения обмоток;
- испытание пробы масла или жидкого негорючего диэлектрика из бака трансформатора (для определения пробивного напряжения и тангенса угла диэлектрических потерь);
- испытание изоляции напряжением промышленной частоты, приложенным от внешнего источника;

- испытание изоляции напряжением повышенной частоты, индуцированным в самом трансформаторе;
- проверка потерь и тока холостого хода;
- проверка потерь и напряжения короткого замыкания;
- испытания прочности бака;
- испытания на трансформаторе устройства переключения ответвлений.

В процессе эксплуатации, при монтаже и ремонте трансформатора проводится также ряд других испытаний и измерений (см. гл. 3).

Измерения сопротивления изоляции обмоток являются обязательными после любого вида ремонта. Определение коэффициента абсорбции, измерение 1б изоляции и емкостных характеристик проводят после ремонта с заменой обмоток или при подозрении на загрязненность и увлажнение изоляции. Проверка коэффициента трансформации на всех ступенях переключения напряжения и группы соединения обмоток, а также испытание главной изоляции (вместе с вводами) являются обязательными после ремонта трансформатора с заменой обмоток. Испытание продольной изоляции обмоток является желательным после ремонта с заменой обмоток.

После ремонта с заменой обмоток измеряют потери и ток холостого хода при номинальном напряжении, а также напряжение и потери короткого замыкания при номинальном токе. допускается превышение расчетных (или заводских) значений тока холостого хода не более чем на 30%; потерь — на 15% (для трансформаторов прошлых лет выпуска — до 22 %). допустимые отклонения параметров короткого замыкания — не более 10 %. После ремонта без замены обмоток (если производилась подпрессовка ярем магнитной системы) потери холостого хода допускается измерять при пониженном напряжении.

Измерение электрического сопротивления обмоток постоянному току производится в случае, если результаты операционного испытания при изготовлении обмоток превышают нормируемые (различие сопротивлений на одноименных ответвлениях разных фаз не более 2 %). Проверка работы переключающего устройства является обязательной после любого ремонта этого устройства или ремонта, связанного с разборкой привода переключающего устройства, и проводится согласно инструкции завода-изготовителя.

Испытания пробы масла из бака для измерения электрической прочности и сокращенного химического анализа, а также бака трансформатора на плотность избыточным давлением являются обязательными после любого капитального ремонта. Проверка состояния индикаторного силикагеля воздухоосушителя производится после текущего ремонта, а испытание трансформа-

тора включением толчком на номинальное напряжение (3... 5-кратное включение) — после любого кап.ремонта.

Рассмотрим подробнее некоторые виды испытаний.

**Испытание трансформаторного масла.** Масло подвергают испытанию на электрическую прочность (на пробой), на диэлектрические потери и химический анализ. Испытание трансформаторного масла на пробой производят в аппарате, представленном на рис. 12.20. В чистую сухую стеклянную посуду вместимостью не менее 0,5 л отбирают пробу масла из нижнего или специально предусмотренного крана в баке трансформатора. Затем масло заливают в стандартный разрядник маслопробойного аппарата, представляющий собой специальный фарфоровый сосуд 1, в который вмонтированы два плоских электрода 2 и латунные токоведущие стержни 3. К ним подводится высокое напряжение от встроенного в аппарат повышающего регулируемого трансформатора.

Чтобы удалить из масла воздушные включения, перед пробоем ему дают отстояться в разряднике в течение 20 мин. Затем при помощи кабеля 8 с вилкой и рукоятки 9 маслопробойный аппарат включают в сеть переменного тока. Плавным движением рукоятки 4 повышают напряжение на электродах до пробоя. Одновременно наблюдают за стрелкой киловольтметра 5, показывающего напряжение, при котором происходит пробой.

Всего делают шесть пробоев с интервалами 10 мин. Первый пробой не учитывают. Среднее арифметическое пробивного напряжения

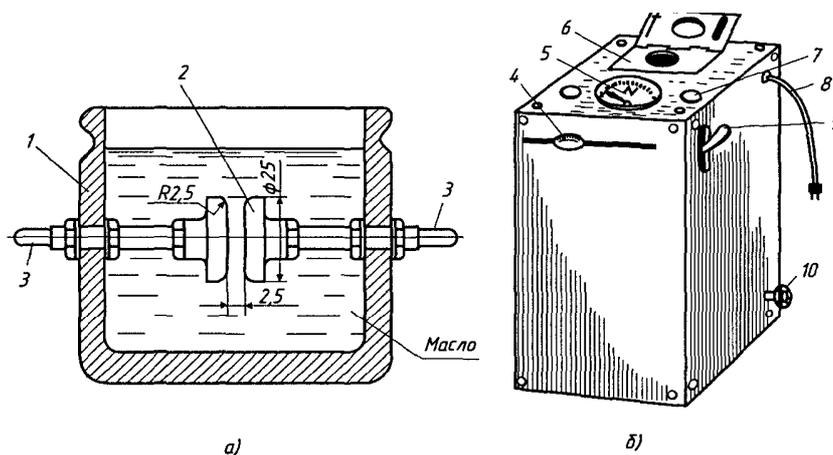


Рис. 12.20. Аппарат для определения пробивного напряжения масла:  
*a* — стандартный разрядник; *б* — внешний вид (*1* — фарфоровый сосуд; *2* — плоский электрод; *3* — токоведущий стержень; *4* — рукоятка регулируемого трансформатора; *5* — киловольтметр; *6* — отверстие с крышкой для разрядника; *7* — сигнальная лампа; *8* — кабель для включения в сеть; *9* — рукоятка автомата включения; *10* — клемма заземления)

остальных пяти пробоев принимают за пробивное напряжение масла. Пробивное напряжение должно соответствовать нормам (табл. 12.1), которые зависят от номинального напряжения трансформатора и вида масла.

Таблица 12.1

Вид масла	Нормы пробивного напряжения трансформаторного масла при номинальном напряжении трансформатора, кВ			
	До 15	15...35	60...220	330 и выше
Свежее сухое после заливки в аппарат	25	30	40	50
Эксплуатационное	20	25	35	45

Отбирать пробы масла из трансформаторов, находящихся вне помещения, нужно, по возможности, летом в сухую погоду, зимой в морозную. При внесении пробы в помещение в зимнее время не следует вскрывать посуду, пока масло не нагреется до комнатной температуры, иначе в посуде произойдет конденсация паров, что снизит электрическую прочность масла. Пробу отбирают очень тщательно, так чтобы в масло не попали механические примеси и влага. Прежде чем заполнить посуду для пробы, сливают 2... 3 л масла и несколько раз ополаскивают ее. Заполненную посуду плотно закрывают притертой пробкой и лишь после этого масло отправляют на испытание.

**Испытание трансформаторного масла на диэлектрические потери** заключается в определении . для эксплуатационного масла должен быть не более 1 % при температуре 20 °С и не более 7 % при 70 °С ; для свежего сухого масла при 20 °С — 0,2 ... 0,4 % (в зависимости от сорта масла), при 70 °С — 1,5...2,5%.

Химический анализ масла заключается в проверке соответствия его химических характеристик стандартным. Изменение той или иной характеристики масла свидетельствует о техническом состоянии трансформатора. Например, повышение кислотного числа, окисление или снижение температуры вспышки паров масла свидетельствует о его разложении в результате местного перегрева внутри трансформатора.

Химический анализ бывает полный и сокращенный. Обычно при ремонтах делают сокращенный химический анализ масла, в объем которого входят: определение кислотного числа, температуры вспышки паров, реакции водной вытяжки, содержания взвешенного угля и механических примесей; проверка прозрачности масла. Стандартом не допускается присутствие в масле механических примесей, водорастворимых кислот и щелочей.

Кислотное число показывает, какое количество миллиграммов едкого калия необходимо для нейтрализации кислот, содержащихся в 1 г масла при его подкислении. для свежего сухого масла кислотное число должно быть не более 0,05, для эксплуатационного — не более 0,25.

Температура вспышки паров масла должна быть не ниже 135 °С. допускается ее снижение не более чем на 5 °С от первоначальной. При полном химическом анализе масла производят, кроме того, проверку вязкости, стабильности, плотности, температуры застывания и др. Масло трансформаторов с азотной или пленочной защитой проверяют на влагосодержание и газосодержание. Влагосодержание по объему должно быть не более 0,001 %, газосодержание — 0,1 %.

Испытание электрической прочности изоляции состоит из комплекса следующих испытаний:

определение пробивного напряжения масла или другого жидкого диэлектрика, которым заполнен трансформатор;

измерение сопротивления изоляции обмоток;

испытание внутренней изоляции напряжением промышленной частоты, приложенным от внешнего источника (в течение одной минуты);

испытание повышенным напряжением, индуктированным в самом трансформаторе.

Испытательные напряжения превышают номинальные и зависят от условий эксплуатации. Трансформаторы, предназначенные для эксплуатации в электроустановках, подвергающихся воздействию грозových перенапряжений при обычных мерах грозозащиты, испытываются по нормам для нормальной изоляции, а трансформаторы, предназначенные для эксплуатации в электроустановках, не подверженных воздействию грозových перенапряжений, или при специальных мерах грозозащиты — по нормам для облегченной изоляции. Изоляция трансформатора до проведения испытаний подвергается обработке в соответствии с установленным технологическим процессом.

При испытании изоляции напряжением промышленной частоты, приложенным от внешнего источника, проверяется электрическая прочность главной изоляции (каждой обмотки по отношению к другим обмоткам, включая отводы и выводы, а также по отношению к баку и другим заземленным частям трансформатора).

Испытывают поочередно изоляцию каждой обмотки. Испытания проводят по схеме рис. 12.2 1. При этом испытательное напряжение прикладывается между испытываемой обмоткой, замкнутой накоротко, и заземленным баком. Все остальные вводы других обмоток соединяют между собой и заземляют вместе с баком и магнитной системой. Напряжение к первичной обмотке повышающего трансформатора подводят от генератора переменного тока с регулируемым возбуждением или от регулировочного автотрансформатора. Испытательное напряжение поднимают плавно и выдерживают в течение 1 мин. Возрастание тока и снижение напряжения, фиксируемые приборами, обычно указывают на наличие дефекта в изоляции испытываемого

трансформатора. Повреждение в испытываемом трансформаторе проявляется в виде потрескивания и разрядов.

Трансформатор считают выдержавшим испытания, если в процессе испытания не наблюдалось полного разряда (по звуку), разряда на защитном шаровом промежутке, выделения газа и дыма или изменения показаний приборов. Если при испытании отмечены разряды в баке, сопровождающиеся изменением режима в испытательной установке или появлением дыма, активная часть подлежит осмотру, а при необходимости разборке для выяснения и устранения причины разрядов или пробоя.

Продольная изоляция обмотки (изоляция между витками, катушками, слоями, фазами) испытывается повышенным напряжением, индуктированным в самом трансформаторе. Испытания проводят путем приложения к одной из обмоток двойного номинального напряжения этой обмотки при повышенной частоте (но не более 400 Гц). Повышение частоты необходимо во избежание чрезмерного увеличения индукции и намагничивающего тока. Испытания проводят по схеме опыта холостого хода напряжением частоты не менее  $2/$  при продолжительности испытания 1 мин. (При более высоких частотах длительность уменьшается, но она не должна быть менее 15 с.)

Основным дефектом, который выявляется при таком испытании, является замыкание между витками или слоями обмотки, а также между отводами. Если имеются признаки дефекта, то важно до разборки трансформатора путем измерений токов и напряжений по фазам установить дефектную фазу. Затем эта фаза подвергается тщательному осмотру. Дефектное место обмотки можно определить индукционным методом или измерением электрического сопротивления.

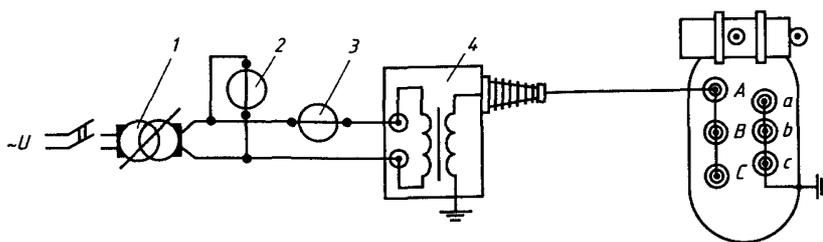


Рис. 12.21. Схема испытания изоляции обмотки ВН приложенным напряжением:  
1 — регулировочный трансформатор; 2 — вольтметр; 3 — амперметр; 4 — испытательный трансформатор

*Индукционный метод* для нахождения короткозамкнутого витка основан на наличии электромагнитного поля вокруг короткозамкнутого витка, созданного в нем индуктированным током короткого замыкания. Поле вокруг остальных витков отсутствует. Наличие и положение короткозамкнутого витка обнаруживают особой катушкой, называемой искателем, к которой подключен чувствительный прибор. Измерительный аппарат состоит из искателя и указателя.

Искатель представляет собой многовитковую катушку, насаженную на магнитопровод, состоящий из нескольких пластин электротехнической стали, и присоединенного к ней указательного прибора (рис. 12.22).

Напряжение в проверяемой обмотке индуцируется «питателем», который выполняется аналогично представленному на рис. 12.22, а искателю или представляет собой длинный стержень с намотанными по всей длине нитками. Обмотка питателя подключается к сети (36, 127 или 220 В). Если проверяемая обмотка насажена на стержень магнитной системы, возбуждение осуществляется обычным путем (при подаче небольшого напряжения, безопасного для персонала). Перемещая искатель сначала вдоль обмотки, а затем в радиальном направлении, устанавливают место замыкания по наибольшему отклонению прибора.

**Оценка состояния изоляции.** для оценки состояния изоляции трансформатора в процессе монтажа перед пуском, после ремонта и в процессе эксплуатации проводятся следующие испытания:

измерение сопротивления изоляции обмоток через 60 с после приложения постоянного напряжения ( $R_{60^{\circ}}$ );

определение отношения значений сопротивлений изоляции, измеренных через 60 и 15 с после приложения к ним постоянного напряжения (определение коэффициента абсорбции  $K_{абс} = R_{60^{\circ}} / R_{15^{\circ}}$ );

измерение угла диэлектрических потерь  $\epsilon$  изоляции обмоток при приложении к ним переменного напряжения;

измерение изоляционных характеристик масла: пробивного напряжения, угла диэлектрических потерь и влагосодержания масла;

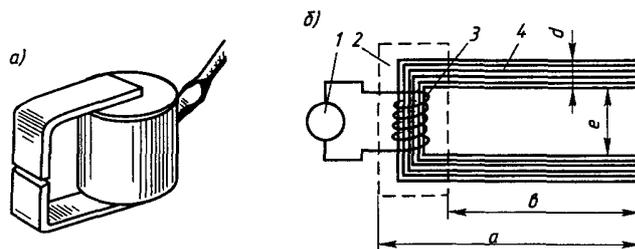


Рис. 12.22. Общий вид (а) и принципиальная схема (б) устройства для обнаружения короткозамкнутого витка:

1 — указательный прибор; 2 — защитный кожух; 3 — катушка; 4 — сердечник

определение влагосодержания установленных внутри бака трансформатора образцов твердой изоляции;

определение отношения емкостей изоляции обмоток, измеренных при приложении напряжений частоты 2 и 50 Гц ( $C_2/C_{50}$ );

измерение прироста абсорбционной емкости ( $\square C/C$ ).

Оценка состояния изоляции производится на основании комплекса испытаний. допустимые значения изоляционных характеристик для трансформаторов классов напряжения до 35 кВ и номинальной мощностью до 10 МВА приведены в табл. 3.1. Значения сопротивления изоляции  $R_{60^\circ}$  и отношения  $R_{60^\circ}/R_{15^\circ}$  позволяют выявить грубые дефекты в изоляции перед включением трансформатора под напряжение, возникшие, например, в результате местных загрязнений, увлажнения или повреждения изоляции. В сочетании с другими показателями эти характеристики позволяют оценить степень увлажнения изоляции.

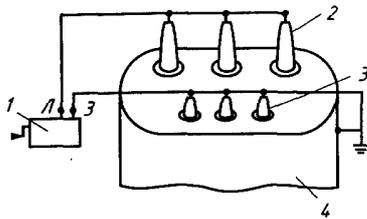


Рис. 12.23. Схема измерения сопротивления изоляции обмоток:  
1 — мегаомметр; 2 — вводы ВН; 3 — вводы НН; 4 — бак трансформатора

Измерение сопротивления изоляции обмоток производится при температуре не ниже  $+10^\circ\text{C}$  мегаомметром класса 1000 В в трансформаторах класса напряжения до 35 кВ и мощностью до 16 МВА, и класса 2500 В с пределами измерения 0... 10000 МОм — во всех остальных. При этом за температуру изоляции в масляных трансформаторах принимают температуру масла в верхних слоях, в сухих — температуру окружающего воздуха.

Измерения сопротивления изоляции для двухобмоточного трансформатора проводятся по следующей схеме: первое измерение между обмоткой ВИ и баком при заземленной обмотке ПН (сокращенная запись схемы измерения ВИ—бак, ИН); второе: ИН— бак, ВИ; третье — ВН+НИ—бак (рис. 12.23).

#### Контрольные вопросы

1. Какую документацию следует вести при ремонте трансформаторов?
2. Назовите критерии оценки состояния изоляции обмоток и отводов трансформаторов.
3. Укажите последовательность работ при демонтаже активной части трансформатора.
4. Перечислите основные работы по ремонту обмоток.
5. В какой последовательности производят полный ремонт магнитной системы?

б. Как производится сушка и очистка трансформаторного масла? Какие устройства и материалы при этом используются?

## РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ

### 14.1. Ремонт рубильников и переключателей

Рубильники и ручные переключатели — простейшие коммутационные аппараты. **Рубильники** — это неавтоматические выключатели с ручным приводом на два положения (включено, отключено); **переключатели** — аппараты, предназначенные для последовательного подключения к двум различным цепям.

Рубильники бывают с дугогасительными камерами и без них. Рубильники и переключатели изготавливают одно-, двух- и трехполюсными на номинальные напряжения до 500 В и силы тока 100 ... 600 А с центральной рукояткой Р и П (трехполюсные) или РО и ПО (однополюсные). Все детали рубильников смонтированы на изоляционной плите. Во избежание возникновения дуги такими рубильниками не разрешается отключать нагрузку под током.

Рубильники и переключатели с рычажным приводом применяют в щитах двустороннего обслуживания. Привод может быть центральным, (РПЦ, ППЦ) или боковым (РПБ, ППБ). Такие рубильники имеют дугогасительные решетки.

Переключатели бывают пакетными и кулачковыми и используются для сложных переключений одновременно в нескольких электрических цепях. По исполнению различают переключатели с фиксацией одного или несколько положений, с самовозвратом в нулевое положение. Число контактов в них может быть от 2 до 32.

Объем и содержание технического обслуживания и ремонта рубильников и переключателей приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Содержание ТО и ремонтов	Способ выполнения
Устранение дефектов у контактных ножей и губок	Осмотреть и очистить от грязи и пыли. Оплавленные контактные поверхности зачистить наждачной бумагой или напильником с целью удаления наплывов. При сильном оплавлении и износе заменить ножи и губки на новые.
Проверка крепежных деталей, шарнирных соединений и пружин	Подтянуть все крепежные детали. Произвести смазку всех шарнирных соединений техническим вазелином, несколько ослабив их крепление, с тем, чтобы вазелин проник вовнутрь, а затем подтянуть. Шарнирные

	токопроводящие соединения должны иметь тарельчатые шайбы, которые обеспечивают надежный контакт в соединении. Проверить состояние пружин и пружинных скоб, ослабленные заменить новыми.
Проверка и регулировка плотности вхождения контактов	Добиться такого положения, чтобы ножи входили в губки без ударов и перекосов, но с некоторым усилием, а контактные поверхности в плоских контактах плотно прилегали друг к другу. Плотность нажатия контактов проверить щупом толщиной 0,05 мм, который должен входить между ножом и губкой на глубину не более 6 мм. Глубину вхождения ножей в губки у рубильников с рычажным приводом отрегулировать, изменяя длину дуги от рукоятки к рубильнику. Вся контактная часть ножа должна войти в губки, не доходя до контактной площадки 2...4 мм.
Регулирование одновременности включения и отключения всех ножей.	Неодновременность выхода ножей из контактных губок не должна превышать 3 мм. Осуществить регулировку у рубильников и переключателей с числом полюсов два и более.
Проверка качества	Качество ремонта и регулировки проверить 10...15-кратным включением и отключением рубильников и переключателей.

#### 14.2. Ремонт предохранителей

Предохранители представляют собой простейшие электрические аппараты, служащие для защиты электрических цепей и электроустановок от недопустимых токов нагрузки или токов короткого замыкания. Предохранители на напряжение менее 1000 В характеризуются номинальными токами плавкой вставки и самого предохранителя (рис. 14.3, 14.4). Эти приборы предназначены для выявления и однократного отключения электрической цепи при КЗ или перегрузке. Они включаются последовательно с защищаемым элементом электрической установки.

Низковольтные предохранители состоят из корпуса, плавкой вставки, контактной части, дугогасительного устройства или дугогасительной среды. Номинальным током плавкой вставки называют ток рассчитанный для ее длительной работы, а номинальным током предохранителя — наибольший ток из номинальных токов плавких вставок, допускаемых к применению в данном предохранителе (табл. 14.2). В одном предохранителе могут находиться плавкие вставки на различные допустимые номинальные токи.

Плавкие вставки предохранителей изготавливают из меди, цинка, свинца и серебра. Цинк и свинец обладают большим удельным сопротивлением, поэтому вставки из них имеют большое сечение. Применяемые в предохранителях без наполнителей, они имеют большие выдержки времени при перегрузках. Медь и серебро обладают малым удельным сопротивлением, это способствует быстрому срабатыванию плавких вставок и приводит к очень высоким температурам нагрева корпуса предохранителя.

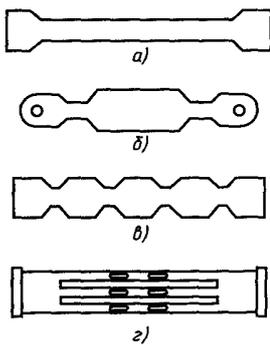


Рис. 14.3. Варианты исполнения плавких вставок:  
*a* — постоянного сечения; *б* — переменного сечения (фигурные вставки) на напряжение преимущественно не выше 220 В; *в* — переменного сечения на напряжения выше 380 В; *г* — для предохранителя с наполнителем

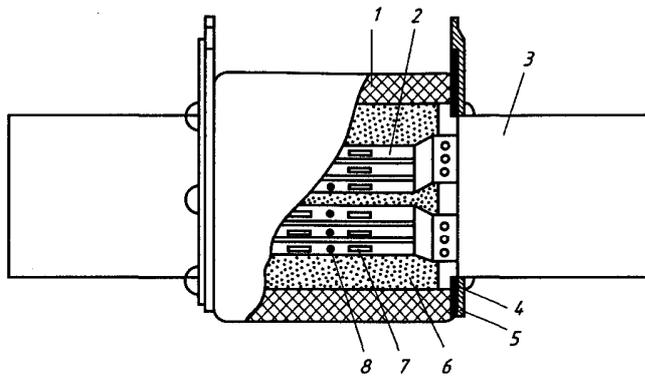


Рис. 14.4. Предохранитель ПН-2:  
 1 — фарфоровая трубка; 2 — плавкая вставка; 3 — контактные ножи; 4 — крышка;  
 5 — прокладка; 6 — кварцевый песок; 7 — прорези; 8 — шарики олова

Таблица 14.2

Тип предохранителя	Номинальный ток, А	
	предохранителя	плавкой вставки
ПР-2	15, 60, 100, 200, 350	6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 260, 300
ПН-2	100, 250, 400, 600	30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200, 300

Для снижения температуры плавления вставок из тугоплавкого металла в режиме, соответствующем наименьшему плавящему току, применяют плавкие вставки с «металлургическим эффектом». На концы таких вставок, выполненных из меди или серебра, напаивают шарики из легкоплавкого металла. Когда вставки нагреваются до температуры, значительно превышающей температуру плавления шарика, они расплавляются и как бы растворяют тугоплавкий металл в том месте, где наложен шарик. Вставка перегорает при меньшей температуре, но за больший отрезок времени.

В предохранителях современных конструкций используют различные способы гашения дуги. Наиболее распространено гашение дуги газами, выделяющимися под действием высокой температуры из твердого дугогасящего материала (фибра, оргстекло, винипласт). Потоки газов охлаждают ее. другим способом гашения дуги является помещение плавкой вставки в мелкозернистый наполнитель (кварцевый песок, тальк). В этом случае дуга горит в контакте с его мельчайшими частицами, что обеспечивает интенсивный теплоотвод от нее и способствует ее гашению.

Предохранители с плавкой вставкой изготавливают разборными (серия ПР) и насыпными (серия ПН). Предохранители с закрытыми разборными патронами без наполнителя ПР-2 выполняют на напряжения 220 и 500 В, номинальные токи патронов 15... 1000 А и предельные токи отключения 1200 ... 2000 А. для гашения дуги в них использована фибровая трубка корпуса. Плавкие вставки изготовлены из цинка в виде пластинки с вырезами. При КЗ более узкий участок плавится раньше, чем ток короткого замыкания достигнет максимального значения, поэтому говорят, что ток КЗ ограничивается. Такие предохранители называют токоограничивающими.

Достоинством предохранителя ПР-2 является простота его перезарядки, недостатком — большие размеры. Плавкие вставки этих предохранителей представляют собой одну или несколько медных ленточек толщиной 0,15 ... 0,35 мм и шириной до 4 мм, на которые напаяны оловянные шарики. для уменьшения перенапряжений вставки имеют прорези. Наполнителем является кварцевый песок. Вместо кварца можно использовать мел с асбестовым волокном, гипс

и борную кислоту. Насыпные предохранители, так же как и предохранители ПР, обладают токоограничивающим свойством.

Ремонт низковольтных плавких предохранителей ПР-2 и ПН-2 напряжением до 1000 В в основном сводится к замене плавких вставок, также чистке и проверке контактных ножей.

Назначение и принцип действия предохранителей высокого напряжения и низкого напряжения не отличаются. Однако конструкции высоковольтных предохранителей имеют свою специфику. В сетях с напряжением до 35 кВ включительно применяют предохранители с кварцевым наполнителем серий ПК и ПсН.

Конструкция высоковольтных предохранителей несколько сложнее, чем у низковольтных. Патрон (рис. 14.5) предохранителей ПК представляет собой полую фарфоровую или стеклянную трубку 3. Концы трубки армированы латунными колпачками 2. Полость патрона заполняют сухим и чистым кварцевым песком 4. В зависимости от номинального тока плавкие вставки 5 выполняют из нескольких медных (посеребренных) проволочек одинакового сечения или из нескольких свитых проволочек разного сечения, свободно размещаемых в трубке.

Предохранители для внутренней установки снабжают указателями срабатывания. Патрон предохранителя ПК вставляется в щечки контактов, укрепленных на опорных изоляторах. Предохранители ПК (рис. 14.6) на напряжение более 3 кВ должны выполняться с токоограничением, поэтому плавкие вставки имеют ступенчатое сечение. Суммарное время срабатывания предохранителей при больших кратностях токов не превышает 0,08 с.

для защиты трансформаторов напряжения выпускаются предохранители ИКТ. Плавкие вставки этих предохранителей изготовлены из константана. Разновидностями предохранителей ПК являются ПКУ (усиленный), ПКН (для наружной установки) и ПКЭ (экскаваторный).

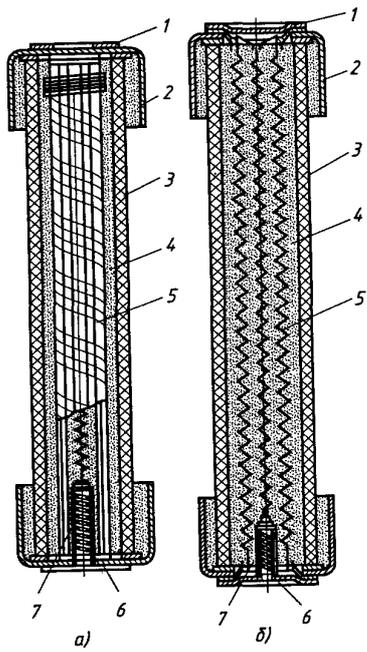


Рис. 14.5. Патроны предохранителей ПК с плавкими вставками на керамическом сердечнике (а) и свитыми в спираль (б):  
 1 — крышка; 2 — латунный колпачок; 3 — фарфоровая трубка; 4 — кварцевый песок; 5 — плавкие вставки; 6 — указатель срабатывания; 7 — пружина

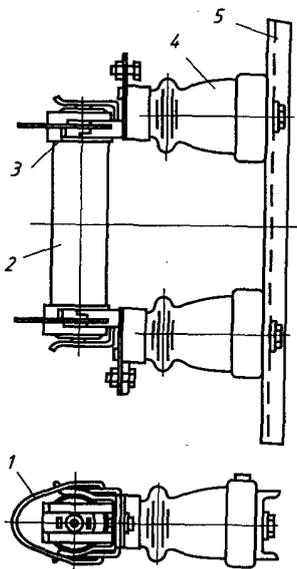


Рис. 14.6. Предохранитель ПК:  
 1 — замок; 2 — патрон; 3 — контакт; 4 — опорный изолятор; 5 — цоколь

Предохранители с автогазовым гашением дуги ИСП выполняют на напряжения 10 кВ и выше и используют в открытых распределительных устройствах (РУ). Ниже приведены значения напряжения и номинального тока для предохранителей ПК и ПСН:

Тип предохранителя .....	ПК	ПСН
Напряжение, кВ .....	3; 6; 10; 35	10; 35 и выше
Номинальный ток, А .....	400; 300; 200; 40	до 20 000

Наибольшая отключающая мощность предохранителей ПСН на 10 кВ составляет 200 МВА, а ПСН на 35 кВ до 500 МВА. В этих предохранителях быстрое гашение дуги обеспечивается продольным дутьем. Патрон ПСН представляет собой трубку, изготовленную из газогенерирующего материала (винипласта).

### 14.3. Ремонт реостатов и резисторов

Аппарат, состоящий из неиндуктивного (омического) сопротивления и коммутирующего устройства, с помощью которого можно регулировать это сопротивление, называют реостатом. Если сопротивление нерегулируемое, то такой аппарат называют резистором. В зависимости от назначения различают реостаты:

пусковые (для пуска электродвигателей);

пускорегулировочные (для пуска и регулирования частоты вращения электродвигателей);

возбуждения (для регулирования напряжения генераторов). Одним из основных элементов, определяющих конструктивное исполнение реостата, является материал, из которого выполнены его сопротивления (резисторы). Различают реостаты металлические, жидкостные и угольные.

В реостате электрическая энергия превращается в тепло, которое отводится от резисторов путем их охлаждения. По способу охлаждения резисторов реостаты могут быть с воздушным, масляным или водяным охлаждением.

В электроустановках промышленных предприятий применяются преимущественно реостаты с металлическими резисторами с воздушным или масляным охлаждением, что объясняется простотой их конструкции, возможностью применения в различных условиях работы, а также большой эксплуатационной надежностью. Подавляющее большинство пусковых и пускорегулировочных металлических реостатов общепромышленного назначения выполнены со ступенчатым включением резисторов. В табл. 14.3 приведены операции по ремонту реостатов и способы их выполнения.

Ремонтные операции	Способ выполнения
Внешний осмотр, разборка	Осмотреть, удалить пыль и грязь со всех

	внутренних деталей аппарата, проверить состояние зажимных контактов и контактных соединений
Проверка поврежденных резисторов	При необходимости частично отремонтировать с помощью электродуговой сварки или заменить новыми. Отклонение значений сопротивлений на любом контакте реостата не должно отличаться более чем на 10 %.
Замена или восстановление контактов	Закопченные контакты промыть бензином и протереть ветошью, слегка обгоревшие – опилить напильником, снимая наименьшее количество металла и сохраняя геометрическую форму контактов, сильно оплавленные заменяют новыми
Проверка изношенных частей электроизоляционных деталей	Неисправные электроизоляционные детали – втулки, изоляторы, шайбы, прокладки – заменить новыми
Сборка схемы соединений и регулировка	Элементы собрать согласно схеме реостата. Проверить непрерывность электрической цепи обмоток элементов сопротивлений, правильность схемы соединения, плавность хода контактирующей щетки.

#### **14.4. Ремонт автоматических выключателей, контакторов и магнитных пускателей**

Автоматический воздушный выключатель (автомат) — это аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей или отключения электроустановки при возникновении в них токов перегрузки и короткого замыкания, а также при недопустимом снижении или полном исчезновении напряжения. Воздушным называют выключатель потому, что электрическая дуга, возникающая между его контактами в момент отключения, гасится в среде окружающего воздуха. Основными частями выключателей (рис. 14.7) являются контактная система, дугогасительное устройство и механизм свободного расцепления.

Коммутационный электромагнитный аппарат, предназначенный для дистанционных включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы, называют контактором. В электроустановках промышленных предприятий широко распространены электромагнитные контакторы, которые являются основными силовыми аппаратами современных схем автоматизированного привода. Их выпускают для работы в электрических установках переменного и постоянного тока. В электроустановках трехфазного переменного тока применяют трехполюсные контакторы, состоящие из электромагнитной, контактной и дугогасительной систем (рис. 14.8).

Комбинированный аппарат дистанционного управления, состоящий из контактора, дополненного тепловым реле, и сочетающий функции аппаратов управления и защиты, называют магнитным пускателем. В качестве аппарата управления он применяется, например, для пуска, остановки и изменения (реверсирования) направления вращения электродвигателя, а в качестве аппарата защиты — отключает электродвигатель или электроустановку при недопустимых перегрузках и коротких замыканиях, а также при определенном снижении или полном исчезновении напряжения (нулевая защита).

Особое место среди коммутационной аппаратуры занимают выключатели на напряжения выше 1000 В. Они являются основными аппаратами в электрических установках, служат для включения и отключения электрических цепей в любых режимах работы, наиболее сложными из которых является отключение токов КЗ и включение выключателя на существующее КЗ. Возникающую при размыкании контактов дугу можно погасить, используя трансформаторное масло, газы, газовое дутье, вакуум, а также специальные дугогасительные устройства.

При гашении дуги в масле контакты выключателя помещают в камеру, наполненную трансформаторным маслом. Гашение дуги в газах высокого давления происходит в компактных дугогасительных камерах с помощью сжатого воздуха или элегаза (шестифтористая сера  $SF_6$ ) обладающего высокой электрической прочностью и дугогасящей способностью. При газовом автодутье для охлаждения дуги используют направленное движение газов вдоль или поперек нее. Иногда применяют дутье холодным воздухом из специальных баллонов (воздушные выключатели). При гашении дуги в вакууме контакты выключателя размещают в вакуумной камере. Кроме того, в этих аппаратах применяют такие же способы гашения дуги, как и в аппаратах до 1000 В (гашение в щелях и магнитное дутье).

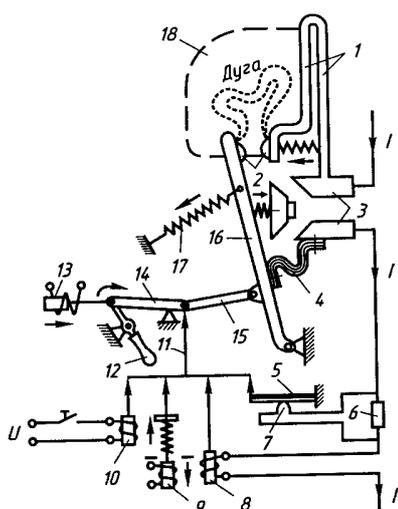


Рис. 14.7. Устройство автоматического выключателя:

1 — шинки; 2, 3 — дугогасительные и главные контакты; 4 — гибкая связь; 5 — биметаллический расцепитель; 6 — резистор; 7 — нагреватель; 8, 9, 10 — максимальный, минимальный и независимый расцепители; 11 — механическая связь с расцепителем; 12 — рукоятка ручного включения; 13 — электромагнитный привод; 14, 15 — рычаги механизма свободного расцепления; 16 — контактный рычаг; 17 — отключающая пружина; 18 — дугогасительная камера

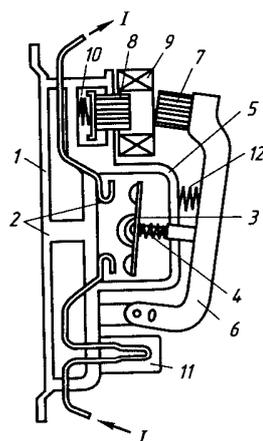


Рис. 14.8. Контактор переменного тока КТ-6000

Таблица П. 7.1 Продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода для электрических машин

Условия работы электрических машин	$T_{\text{таб}}$ , лет	$t_{\text{таб}}$ , мес
Сухие помещения ( $K_c = 0,25$ )	12	12
Горячие, гальванические и химические цеха ( $K_c = 0,45$ )	4	6
Загрязненные цеха – деревообработки, сухой шлифовки и т.п. ( $K_c = 0,25$ )	6	8
Длительные циклы непрерывной работы с большой нагрузкой – приводы насосов, компрессоров и т.д. ( $K_c = 0,75$ )	9	9

Таблица П7.2 Продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода электрооборудования, работающего в нормальных условиях

Наименование электрооборудования	$T_{\text{таб}}$ , лет	$t_{\text{таб}}$ , мес
Силовые трансформаторы и автотрансформаторы	14	24
Электросварочные трансформаторы	6	12
Электродуховые трансформаторы	6	6
Высокочастотные установки	5	3
Грузовые электромагниты	6	2
Электродуховые (в зависимости от типа)	3	1...2
Полупроводниковые преобразовательные устройства:		
Неуправляемые	9	6
Управляемые	6	6
Силовые распределительные шкафы	3	3
Внутрицеховые и осветительные шкафы	3	3
Светильник в комплекте с пускорегулирующим устройством	3	3

Масляные и воздушные выключатели	6	12
Комплексные распределительные устройства (КРУ)	6	12
Кабельные силовые сети (в зависимости от режима работы)	6...15	4...12
Воздушные сети на деревянных опорах	6	12
Воздушные сети на металлических опорах	9	12
Пусковые и регулировочные реостаты	3	12

Таблица П 7.3 Продолжительность межремонтного цикла  $T_{\text{табл}}$  и межремонтного периода  $t_{\text{табл}}$  для отдельных видов электрооборудования при двухсменной работе

Условия работы электрических машин	$T_{\text{табл}}$ , лет	$t_{\text{табл}}$ , мес
Автоматические выключатели на силу тока до 1000 А с рычажным и электромагнитным приводом	6	12
Контакты переменного и постоянного тока на силу тока до 600	7	6
Магнитные пускатели для электродвигателей мощностью до 75 кВт	5	6
Переключатели на силу тока до 600 А	6	12
Распределительные силовые пункты	10	12
Токопроводы на напряжение 0,4 кВ и силу тока до 600 А	15	-

Таблица П7.4 Периодичность текущих и капитальных ремонтов трансформаторов

Категория трансформатора	Текущий ремонт с испытаниями, лет			Капитальный ремонт с испытаниями, лет	
	Трансформатор без РПН	Трансформатор с РПН	Система охлаждения Д, ДЦ, Ц	Первый после включения	Последующие
Главные трансформаторы станций и подстанций	2	1	1	12*	По мере необходимости в зависимости от результатов испытания и состояния трансформатора
Трансформаторы собственных нужд электростанций:					
Основные	2	1	1	12**	
Резервные	2	1	1		
Трансформаторы в зоне загрязнения	По местным инструкциям	1	1	По мере необходимости	
Остальные трансформаторы	4	1	1		

\* Внеочередной ремонт устройства РПН – после определенного числа операций (по указанию завода изготовителя)

\*\* Для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше и мощностью 80 МВА и более; для остальных – по мере необходимости.

Таблица П7.3

**Продолжительность межремонтного цикла  $T_{\text{табл}}$  и межремонтного периода  $t_{\text{табл}}$  для отдельных видов электрооборудования при двухсменной работе**

Вид электрооборудования	$T_{\text{табл}}$ , лет	$t_{\text{табл}}$ , мес.
Автоматические выключатели на силу тока до 1000 А с рычажным и электромагнитным приводами	6	12
Контакты переменного и постоянного тока на силу тока до 600 А	7	6
Магнитные пускатели для электродвигателей мощностью до 75 кВт	5	6
Переключатели на силу тока до 600 А	6	12
Распределительные силовые пункты	10	12
Токопроводы на напряжение 0,4 кВ и силу тока до 600 А	15	—

Таблица П7.4

**Периодичность текущих и капитальных ремонтов трансформаторов**

Категория трансформатора	Текущий ремонт с испытаниями, лет			Капитальный ремонт с испытаниями, лет	
	Трансформатор без РПН	Трансформатор с РПН	Система охлаждения Д, ДЦ, Ц	первый после включения	последующие
Главные трансформаторы электростанций и подстанций	2	1	1	12*	По мере необходимости в зависимости от результатов испытания и состояния трансформатора
Трансформаторы собственных нужд электростанций:				12**	
основные	2	1	1		
резервные	2	1	1		
Трансформаторы в зоне загрязнения	По местным инструкциям	1	1	По мере необходимости	
Остальные трансформаторы	4	1	1		

\* Внеочередной ремонт устройства РПН — после определенного числа операций (по указанию завода изготовителя).

\*\* Для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше и мощностью 80 МВА и более; для остальных — по мере необходимости.

### 3. Методические рекомендации по проведению лабораторных работ

(тематика и вопросы, формы проведения), самостоятельной работы студентов.

#### *Перечень лабораторных работ (14 часов)*

- 1) Техническое обслуживание силовых трансформаторов. Осмотр КТП 2 х ТМ 250/10 кВ - (2 часа)
- 2) Приемосдаточные испытания силового трансформатора мощностью 63кВА, 250 кВА напряжением 10/0,4 кВ - (2 часа)
- 3) Техническое обслуживание РУ- 10 (6) кВ. Осмотр РУ- 10 (6) кВ - (2 часа)
- 4) Изучение возможности работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме - (2 часа)
- 5) Эксплуатация машин постоянного тока - (2 часа)
- 6) Изучение возможности работы АД при напряжении, отличном от номинального - (2 часа)
- 7) Расчет обмоток статора АД при отсутствии паспортных данных. Расчеты при перемотке обмоток статора АД на новую частоту вращения - (2 часа).

#### *План проведения лабораторных работ*

Лабораторные работы проводятся параллельно с теоретическим курсом лекций и предназначены для его усвоения с практическим применением знаний изучения технической эксплуатации электрооборудования (технический осмотр, испытание, режим работы и пр.)

#### *Ход лабораторной работы*

- 1) Тема лабораторной работы, цель и задачи, план проведения лабораторной работы.

Здесь:

- приводится тема лабораторной работы;
- рассматривается ряд вопросов, необходимых студентам для лабораторной работы;
- приводится общий план проведения лабораторной работы;
- ставятся цели и ряд задач;
- производится знакомство студентов с дополнительной информацией (методические указания по лабораторной работе, справочники (объемы и нормы...), каталоги, учебная литература, конспекты лекций и пр.);

- 2) Проведение лабораторной работы

- изучаются инструкции по проведению лабораторной работы (методические указания, техника безопасности, нормативная документация);

- преподавателем приводятся рекомендации по тематике лабораторного занятия и поставленной проблеме;
- проведение лабораторной работы (изучение методических рекомендаций, испытание, замеры и т.д.);

Студенты должны изучить методические рекомендации, провести испытание (замеры) подвести итог, сделать вывод.

#### **4. Методические рекомендации по проведению деловых игр.**

Для усвоения теоретических материалов (в качестве дополнительных вопросов, при защите лабораторной работы - индивидуально, либо перед лабораторной работой для группы) по дисциплине «Эксплуатация систем электроснабжения» на лабораторных занятиях приводятся проблемные (аварийные) ситуации, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации электрического (электромеханического) оборудования. Для определения тактики действий студенту предлагаются такие ситуации в виде деловой игры.

Схема деловой игры.

##### **1. Преподавателем:**

- предлагается проблемная (аварийная) ситуация возникающая в реальных условиях на производстве;
- формируется цель, связанная с ликвидацией проблемной (аварийной) ситуации;
- рассматривается технический объект, его элементы, технические характеристики, устройство и принцип работы;
- предлагается форма деловой игры.

##### **2. Студентами:**

- формируются задачи для достижения поставленной цели;
- выдвигаются варианты решения поставленных задач, это могут быть технические решения, связанные с действиями персонала на производстве, поиск новых технических решений, связанных с изобретательской или рационализаторской деятельностью и пр.;
- анализируются, критикуются, дополняются все предлагаемые варианты поиска технического решения и идеи;
- в процессе обсуждения выбирается правильный вариант, подводится итог.

Примерный перечень проблемных (аварийных) ситуаций

1. При производстве ремонта трансформатора произошла утечка масла (совтола). Каковы должны быть предусмотрены меры для предотвращения и ликвидации последствий данной си-

туации?

2. Во время осмотра обнаружено просачивание масла через армировочную замазку вводных изоляторов трансформатора. Возможно ли проведение ремонта в заводских условиях и, если возможно, как произвести ремонт?

3. Во время осмотра обнаружен скол части вводного изолятора трансформатора. Как произвести ремонт?

4. При осмотре обнаружен чрезмерный перегрев корпуса электродвигателя (или ненормальный шум; гул, треск, характерный для электрического разряда). Каковы возможные причины и меры по устранению этого нарушения?

5. В процессе испытаний после ремонта электродвигателя обнаружено снижение коэффициента мощности относительно паспортного значения. Каковы возможные причины, способы доказательства и устранения этих причин?

6. При включении асинхронного электродвигателя выявилось, что двигатель “гудит”, но ротор не вращается. С помощью индикаторной лампы дежурный электрик установил, что напряжение на всех трех фазах электродвигателя имеется. Так, установлено отсутствие механического торможения. Каковы возможные причины отсутствия в данном случае вращающего момента и что необходимо осуществить для выявления неисправности.

7. Можно ли магнитный контактор переменного тока включить в цепь постоянного тока при паспортных значениях напряжения и тока? Проанализируйте также обратную ситуацию.

8. При осмотре трансформатора обнаружен газ в газовом реле. Возможно ли по качественным характеристикам газа, устанавливаемым визуальным образом, определить характер внутреннего повреждения трансформатора?

9. Как учитывается температура окружающей среды при заливке масла в трансформатор, чтобы уровень масла в зимний и летний периоды находился в допустимых пределах?

10. В одном из элегазовых выключателей, установленного в ячейке типа КРУ, отходящего присоединения РУ-10 кВ, исчезло давление газа. Предложите способы вывода из работы поврежденного выключателя и быстрого восстановления электроснабжения потребителей, подключенных к данному присоединению.

11. В ячейках типа КРУ возможны следующие основные неисправности:

- несовпадение штепсельных контактов первичных цепей корпуса шкафа и выдвижного элемента;
- слабое нажатие ламелей на нож;
- при вкатывании выдвижного элемента недостаточный заход ламелей на нож, либо же-

сткий удар ножей в ламели»

- при вкатывании выдвижного элемента требуется значительное усилие на рукоятке механизма;

- при вкатывании выдвижного элемента в шкаф не открывается шторочный механизм;

- при включении заземляющего разъединителя ламели не попадают на ножи;

- отсутствие цепи в разъединяющих контактах вторичной коммутации;

- не горят лампы сигнализации положения выключателя;

- не включается выключатель.

Укажите возможные причины данных неисправностей, способы их выявления и устранения.

12. Укажите, какие блокировки безопасности применяются в РУ подстанций. Приведите примеры возможных последствий отсутствия блокировок безопасности.

13. При осмотре оборудования подстанции обнаружено:

а) на одном из присоединений, отходящем или вводном, резко снизился уровень масла в колбе масляного выключателя;

б) на одном из отходящих присоединений произошел разрыв колбы масляного выключателя и выброс масла; масло загорелось;

14. На подстанции произошло:

а) отключение одной из секций шин 6-10 кВ, АВР сработало неуспешно;

б) отключение одной линии 110 кВ (220 кВ);

в) отключение двух линий 110 кВ (220 кВ);

г) отключение аккумуляторной батареи;

д) отключение трансформатора собственных нужд;

е) короткое замыкание на одной из секций сборных шин 6-10 кВ;

ж) замыкание на землю в сети 6-10 кВ.

3. На подстанции возник пожар:

а) в кабельном туннеле;

б) в щитовом помещении;

в) в распределительном устройстве 110 или 6 (10) кВ;

г) на силовом трансформаторе;

д) в камере выключателя отходящего присоединения.

4. Во время производства оперативных переключений на подстанции:

а) в ОРУ (ЗРУ) 35-220 кВ произошло разрушение опорного изолятора;

б) масляный выключатель не включается от ключа управления;

в) разъединитель не отключается.

15. На подстанции произошло аварийное отключение:

а) силового трансформатора под действием релейной защиты (газовой, дифференциальной, отсечки);

б) одного из вводов 6 (10) кВ от действия МТЗ:

в) отходящего присоединения от действия МТЗ.

16. Действия персонала при срабатывании сигнализации о замыкании на:

а) "землю" на секции шин 6 (10) кВ;

б) отыскании "земли" в цепи аккумуляторной батареи;

г) отключении рабочего освещения;

д) выходе из строя одной или нескольких банок конденсаторной батареи;

ж) срабатывании сигнализации о снижении уровня масла в трансформаторе.

17. Значения напряжений короткого замыкания трансформаторов, установленных на подстанции, различаются более чем на 10% (например, на 15 или 20 %). Возможно ли включение этих трансформаторов на параллельную работу?

8. При производстве оперативных переключений в цепях с переключателем и разъединителями после отключения выключателя блокировка на разъединителе не позволяет произвести размыкание его контактов. Каковы возможные причины этой ситуации и дальнейшие действия дежурного персонала?

## **5. График самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине «Эксплуатация систем электроснабжения» (по каждой теме).**

Таблица 1 – Перечень тем самостоятельной работы студентов по курсу «Эксплуатация систем электроснабжения»

№	Содержание	Объем (42 ч)	Форма контроля	Сроки
<b>I Задания для подготовки к лабораторным работам (16 ч)</b>				
1	Техническое обслуживание трансформаторов. Осмотр КТП 2 x 250/10 кВ	2 ч	защита	1,2 неделя
2	Приемосдаточные испытания силового трансформатора мощностью 63кВА, 250кВА напряжением 10/0,4 кВ	2 ч	защита	1,2 неделя
3	Техническая эксплуатация РУ-10 кВ. Осмотр РУ-10 кВ	2 ч	защита	1,2 неделя
4	Изучение возможности работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме	2 ч	защита	5,6 неделя

5	Эксплуатация машин постоянного тока	2 ч	защита	5,6 неделя
6	Изучение возможности работы АД при напряжении, отличном от номинального	2 ч	защита	3,4 неделя
7	Расчет обмоток статора АД при отсутствии паспортных данных.	2 ч	проверка	3,4 неделя
8	Расчеты при перемотке обмоток статора АД на новую частоту вращения	2 ч	проверка	7,8 неделя
<b>II Самостоятельная работа с литературой научно-технического направления (22 ч)</b>				
1	Работа с литературой научно-технического направления, нормативной литературой	10 ч	опрос	В течение семестра
2	Работа с периодической литературой, фурналами научно-технического направления	8 ч	опрос	В течение семестра
3	Работа с учебно-методическими пособиями по дисциплине «Эксплуатация систем электроснабжения»	4 ч	опрос	В течение семестра
<b>III Подготовка к сдаче зачета (4ч)</b>				

## **6. Методические указания к лабораторным работам**

### *Перечень лабораторных работ*

1. Техническое обслуживание силовых трансформаторов. Осмотр КТП 2 x ТМ 250/10 кВ
2. Приемосдаточные испытания силового трансформатора мощностью 63 кВА, 250 кВА напряжением 10/0,4 кВ
3. Техническое обслуживание РУ- 10 (6) кВ. Осмотр ячеек РУ- 10 (6) кВ - (2 ч.)
4. Изучение возможности работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме
5. Эксплуатация машин постоянного тока
6. Изучение возможности работы АД при напряжении, отличном от номинального
7. Расчет обмоток статора АД при отсутствии паспортных данных. Расчеты при перемотке обмоток статора АД на новую частоту вращения

### Общий план проведения лабораторной работы.

1. Цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения. Повторение теоретического курса лекции по теме лабораторной работы.
3. Изучение дополнительной информации на основе справочных и каталожных данных по теме лабораторной работы.
4. Выполнение лабораторной работы (проведение испытания, эксперимента, замеров и пр.).
6. Анализ выполнения работы и полученных результатов.

7. Вывод по выполненной лабораторной работе, подведение итогов.

8. Оформление отчета по лабораторной работе, ответ на контрольные вопросы, защита отчета.

Все лабораторные работы проводятся в соответствии с правилами техники безопасности при работе в зале ТВН, а также на лабораторном стенде в 508 ауд.

Для каждой лабораторной работы студентам выдаются методические пособия. Ниже приведены методические инструкции для лабораторных работ №1 и №2.

### ***ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1***

#### **ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Цель работы – изучение технической эксплуатации, объем и норм испытаний, проведение осмотра трансформатора 250 кВА 10/0,4.

План работы

1. Изучение общих вопросов проведения технического обслуживания и осмотр силовых трансформаторов.
2. Изучение общих вопросов проведения ремонтов силовых трансформаторов
3. Контрольные вопросы
4. Правила оформления и защиты отчетов

#### **1. Общие вопросы проведения ТО и осмотр силовых трансформаторов**

Осмотры трансформатора следует проводить в светлое время суток или при включенном освещении. В темноте выявляются дефекты, сами являющиеся источниками свечения: нагрев контактных соединений, коронные и другие виды частичных разрядов по поверхности внешней изоляции и др.

Внеочередные осмотры трансформаторов наружной установки необходимо производить при экстремальных атмосферных условиях: резкое снижение температуры окружающего воздуха, ураган, сильный снегопад, гололед. При этом проверяются уровень масла, состояние вводов, системы охлаждения.

Внеочередные осмотры проводятся также после короткого замыкания обмоток (КЗ) или при появлении сигнала газового реле. В первом случае проверяется состояние токоведущих цепей, обтекавшихся током КЗ, а также изоляторов, перенесших воздействие динамических нагрузок, во втором — состояние газового реле и его цепей. При необходимости внеочередной осмотр может производиться и с отключением трансформатора — когда необходимо более тща-

тельное изучение элемента, состояние которого внушает сомнение, или когда доступ к проверяемому объекту невозможен без снятия напряжения.

При осмотре силовых трансформаторов проверяют показания термометров и моновакууметров; состояние кожухов трансформатора; отсутствие течи масла; наличие масла в маслонаполненных вводах соответствие уровня масла в расширителе температурной отметке; состояние изоляторов, маслоохладяющих и маслосборных устройств, ошиновки и кабелей; отсутствие нагрева контактных соединений; исправность пробивных предохранителей и сигнализации; состояние сети заземления трансформаторного помещения.

Осмотры без отключения трансформаторов производят:

1 раз в сутки в установках с постоянным дежурным персоналом;

не реже 1 раза в месяц - в установках без постоянного дежурного персонала;

не реже 1 раза в 6 месяцев - на трансформаторных пунктах.

Внеочередные осмотры производят при резком изменении температуры наружного воздуха и при каждом отключении трансформатора от действия токовой и дифференциальной защиты.

Трансформатор выводят из работы при обнаружении: потрескивания внутри трансформатора и неравномерного шума; ненормального и постоянно возрастающего нагрева трансформаторов при нормальных нагрузке и охлаждении; выброса масла из расширителя или разрыва диафрагм из выхлопной трубы; течи масла с понижением его ниже уровня масломерного стекла; при необходимости немедленной замены масла по результатам лабораторных анализов.

Устройства релейной защиты, которыми снабжены силовые трансформаторы, должны реагировать на две группы событий: повреждение трансформатора и аварийные режимы работы.

К повреждениям, вызывающим срабатывание релейной защиты, относятся межфазные и однофазные замыкания в обмотках и на выводах, витковые замыкания в обмотках, частичный пробой изоляции вводов, а также повреждения, связанные с выделением газа и повышением давления в баке трансформатора и регулировочного устройства.

К аварийным режимам, на которые должны реагировать защиты трансформаторов, относятся появление сверхтоков, обусловленных внешними КЗ либо перегрузками, а также понижение уровня масла. Устройства релейной защиты устанавливаются в том же помещении, в котором находится щит управления, на специальных панелях. Для защиты трансформатора от повреждений в зависимости от мощности и характера установки применяются:

дифференциальная защита. Является основной защитой мощных силовых трансформаторов от внутренних повреждений; работает при КЗ внутри зоны, ограниченной двумя комплектами трансформаторов тока (принцип действия основан на сравнении значений и направления токов);

токовая отсечка без выдержки времени. Устанавливается на трансформаторах небольшой мощности; является самой простой быстродействующей защитой от внутренних повреждений;

защита от сверхтоков внешних КЗ (наиболее простой защитой этого вида является максимальная токовая защита);

защита от перегрузки. Выполняется с действием на сигнал и состоит из реле тока и реле времени.

Широкое распространение благодаря своей относительной простоте и чувствительности к большому числу внутренних повреждений масляного трансформатора и его переключающего устройства получила газовая защита. Внутренние повреждения трансформатора, как правило, сопровождаются разложением масла и других изоляционных материалов с образованием летучих газов. Газы поднимаются к крышке трансформатора и попадают в расширитель через газовое реле, установленное на маслопроводе, соединяющем расширитель с баком. Существует несколько типов реле, устанавливаемых на трансформаторах в зависимости от их мощности.

Наиболее ответственным этапом технического обслуживания является эксплуатация трансформаторного масла, которое предназначено для изоляции находящихся под напряжением частей и узлов активной части трансформатора, для отвода тепла от нагревающихся при работе трансформатора частей, а также для предохранения твердой изоляции от быстрого увлажнения при проникновении влаги из окружающей среды. Эксплуатационные свойства масла определяются его химическим составом, который зависит главным образом от качества сырья и применяемых способов его очистки при изготовлении.

для заливки трансформатора рекомендуется применять масло определенной марки. Однако допускается при соблюдении ряда условий производить заливку трансформаторов смесью масел.

Каждая партия масла, применяемая для заливки и доливки, должна иметь сертификат предприятия-поставщика, подтверждающий соответствие масла стандарту. Для масла, прибывшего вместе с трансформатором, соответствие стандарту подтверждается записью в паспорте трансформатора. Состояние трансформаторного масла оценивается по результатам испытаний, которые в зависимости от объема делятся на три вида:

*испытание на электрическую прочность*, включающее определение пробивного напряжения, качественное определение наличия воды, визуальное определение содержания механических примесей;

*сокращенный анализ*, включающий кроме названных выше определение кислотного числа, содержание водорастворимых кислот, температуры вспышки и цвета масла;

*испытания в объеме полного анализа*, включающие все испытания в объеме сокращенного анализа, определение, натровой пробы, стабильности против окисления, а также количественное определение влагосодержания и механических примесей.

Пробу для испытания отбирают в сухие чистые стеклянные банки вместимостью 1 л с притертыми пробками, на которых укрепляют этикетки с указанием оборудования, даты, причины отбора пробы, а также фамилии лица, отобравшего пробу. Как правило, проба отбирается из нижних слоев масла. Методика испытания масла оговорена соответствующими стандартами (ГОСТ6581\_75\*, 6370—83, 1547—84, 6356\_75\*).

Качество масла, заливаемого в трансформаторы напряжением до 220 кВ, оценивается по следующим показателям:

Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более	0,02
Температура вспышки, °С, не ниже	150
tg $\alpha$ при 90 °С, %, не более	2,6
Натровая проба по ГОСТ 19296-73, балл, не более	0,4
Стабильность против окисления: Содержание летучих низкомолекулярных кислот, мг КОН на 1 г масла не более	0,005
Массовая доля осадка после окисления, %	-
Кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 г масла, не более	0,1
Температура застывания, °С, не выше	-45
Вязкость кинематическая, (м <sup>2</sup> /с)*10 <sup>-6</sup> , не более	
При 20 °С	28
При 50 °С	9
При -30 °С	1300

Пробивное напряжение масла в эксплуатации должно быть не менее 35 кВ/мм для трансформаторов классов напряжения 60... 220 кВ, не менее 25 кВ/мм — для классов напряжения 20... 35 кВ.

Периодичность испытаний масла должна быть такой, чтобы своевременно выявить недопустимое ухудшение характеристик масла, вызванное воздействием температуры, повышенных напряженностей поля, содержащегося в масле кислорода, контактирования с металлами (сталью, медью) и изоляционными деталями, а также воздействием случайных или непредусмотр-

ренных явлений (нарушение технологии изготовления, присутствие посторонних примесей и др.).

У трансформаторов 160 кВА и более масло подвергают непрерывной регенерации, осуществляемой в термосифонных фильтрах или путем периодического присоединения абсорбера.

Находящее в эксплуатации изоляционное масло подвергают лабораторным испытаниям в следующие сроки:

не реже 1 раза в 3 года для трансформаторов, работающих с термосифонными фильтрами (сокращенный анализ);

после кап. ремонтов трансформаторов;

1 раз в год для трансформаторов, работающих без термосифонных фильтров (сокращенный анализ).

Температура верхних слоев масла при номинальной нагрузке трансформаторов и максимальной температуре окр. среды (30 °С- воздуха, 25 °С- воды) не должна превышать, °С:

70 – в трансформаторах с принудительной циркуляцией масла и воды;

75 - в трансформаторах с принудительной циркуляцией масла и воздуха;

95 - в трансформаторах с естественной циркуляцией воздуха и масла или принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла.

Анализ масла позволяет обнаружить внутренние повреждения трансформатора, которые развиваются медленно (напр.: пожар в стали, наличие прямого контакта в переключателе от- ветвления, по цвету можно судить о качестве очистки, его старении, попадания в него продуктов горения изоляции, воды и пр.), а также судить о причинах нарушения работы и своевременно принять меры, предотвращающие аварию.

## **2 Общие вопросы проведения ремонтов силовых трансформаторов**

*Текущие ремонты* предназначены для проверки состояния ограниченного числа быстроизнашивающихся и относительно несложных в ремонте узлов и деталей с устранением обнаруженных дефектов, чтобы обеспечить безотказную работу трансформатора до следующего планового (текущего или капитального) ремонта.

При текущем ремонте производятся осмотр и чистка узлов и деталей (как правило, относительно легкодоступных), в том числе загрязненной внешней изоляции, ликвидация небольших дефектов, замена неосновных узлов и деталей, а также измерения, испытания и осмотры с целью выявления и уточнения работ, подлежащих выполнению в ходе капитального ремонта.

Проводится комплекс работ по уходу за трансформаторным маслом, в который входит: спуск грязи и конденсата из расширителя; проверка маслоуказателя и доливка при необходимо-

сти масла в расширитель; проверка и смена сорбента в термосифонном (адсорбционном) фильтре и воздухоосушителях. Аналогичные работы выполняются на маслonaполненных вводах.

Производят очистку наружных поверхностей бака и крышки, проверку спускных кранов и уплотнений, целостность мембраны выхлопной трубы, предохранительного клапана. Осматриваются охлаждающие устройства, выполняется очистка их наружных поверхностей. Проверяют и смазывают подшипники вентиляторов, электродвигателей, насосов. Осматривают и проверяют устройства регулирования под нагрузкой (привод, контактор), а также переключатель регулирования без возбуждения. Проверяют устройства релейной защиты, приборы контроля температуры и давления масла, систему азотной защиты, соответствующие вторичные цепи.

Одновременно с текущим ремонтом трансформатора проводят проверки и опробование устройств его защиты и автоматики, в том числе автоматики и сигнализации систем охлаждения и пожаротушения. В ходе текущего ремонта выполняются испытания изоляции и контактных соединений, в том числе сопротивления контактов переключателей ответвлений (на всех положениях).

Следует заметить, что сопротивление изоляции трансформаторов в эксплуатации измеряют при текущих ремонтах в тех случаях, когда специально для этого не требуется расшиновки трансформатора. Сопротивление изоляции измеряют при испытаниях, имеющих целью выяснение состояния трансформатора при появлении признаков неисправности.

Оценка состояния изоляции при текущем ремонте трансформатора производится в таком же объеме, как при вводе его в эксплуатацию. Обычно совмещают измерение характеристик изоляции трансформатора и его вводов.

В объем *капитальных ремонтов* входят все работы, предусмотренные текущим ремонтом, а также проводят вскрытие трансформатора, подъем сердечника его осмотр, ремонт обмоток, магнитопровода, проверка состояния контактных соединений, проверка переключающих устройств, проверка состояния бака, расширителя и трубопроводов, ремонт вводов, ремонт контрольно-измерительных приборов, очистку масла, сушку изоляции, затем сборку трансформатора и его испытание.

### **3. Контрольные вопросы**

1. Какое устройство называется трансформатором?
2. На что обращают внимание при визуальном осмотре трансформатора?
3. Перечислите состав работ по техническому обслуживанию трансформатора
4. Назовите цели и объемы текущего ремонта.
5. Назовите цели и объемы капитального ремонта

6. Приведите классификацию испытаний трансформаторного масла, а также сроки, объем и методику этих испытаний

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

### **ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Цель работы – изучение объемов и норм испытаний, проведение испытания изоляции трансформаторов ТМ 250 кВА и ТМЗ 25 кВА 10/0,4 с помощью омметра.

План работы

1. Изучение общих вопросов проведения технического обслуживания и осмотр силовых трансформаторов.
2. Изучение методов испытания силовых трансформаторов
3. Проведение измерения сопротивления изоляции трансформатора 250 и 25 кВА 10/0,4
4. Контрольные вопросы

#### **1. Общие вопросы проведения ТО и осмотра силовых трансформаторов**

Осмотры трансформатора следует проводить в светлое время суток или при включенном освещении. В темноте выявляются дефекты, сами являющиеся источниками свечения: нагрев контактных соединений, коронные и другие виды частичных разрядов по поверхности внешней изоляции и др.

Внеочередные осмотры трансформаторов наружной установки необходимо производить при экстремальных атмосферных условиях: резкое снижение температуры окружающего воздуха, ураган, сильный снегопад, гололед. При этом проверяются уровень масла, состояние вводов, системы охлаждения.

Внеочередные осмотры проводятся также после короткого замыкания обмоток (КЗ) или при появлении сигнала газового реле. В первом случае проверяется состояние токоведущих цепей, обтекавшихся током КЗ, а также изоляторов, перенесших воздействие динамических нагрузок, во втором — состояние газового реле и его цепей. При необходимости внеочередной осмотр может производиться и с отключением трансформатора — когда необходимо более тщательное изучение элемента, состояние которого внушает сомнение, или когда доступ к проверяемому объекту невозможен без снятия напряжения.

При осмотре силовых трансформаторов проверяют показания термометров и моновакууметров; состояние кожухов трансформатора; отсутствие течи масла; наличие масла в маслонаполненных вводах соответствие уровня масла в расширителе температурной отметке; состояние изоляторов, маслоохлаждающих и маслооборных устройств, ошиновки и кабелей; отсутствие

нагрева контактных соединений; исправность пробивных предохранителей и сигнализации; состояние сети заземления трансформаторного помещения.

Осмотры без отключения трансформаторов производят:

1 раз в сутки в установках с постоянным дежурным персоналом;

не реже 1 раза в месяц - в установках без постоянного дежурного персонала;

не реже 1 раза в 6 месяцев - на трансформаторных пунктах.

Внеочередные осмотры производят при резком изменении температуры наружного воздуха и при каждом отключении трансформатора от действия токовой и дифференциальной защиты.

Трансформатор выводят из работы при обнаружении: потрескивания внутри трансформатора и неравномерного шума; ненормального и постоянно возрастающего нагрева трансформаторов при нормальных нагрузке и охлаждении; выброса масла из расширителя или разрыва диафрагм из выхлопной трубы; течи масла с понижением его ниже уровня масломерного стекла.

Устройства релейной защиты, которыми снабжены силовые трансформаторы, должны реагировать на две группы событий: повреждение трансформатора и аварийные режимы работы.

К повреждениям, вызывающим срабатывание релейной защиты, относятся межфазные и однофазные замыкания в обмотках и на выводах, витковые замыкания в обмотках, частичный пробой изоляции вводов, а также повреждения, связанные с выделением газа и повышением давления в баке трансформатора и регулировочного устройства.

## **2.Методы испытания силовых трансформаторов**

После завершения ремонтных работ трансформатор подвергается испытаниям с целью проверки качества и отсутствия дефектов, а также с целью проверки характеристик трансформатора на соответствие требованиям стандартов, технических условий или других регламентирующих документов. Программа испытаний после капитального ремонта с разборкой активной части трансформатора полностью соответствует программе приемо-сдаточных испытаний в заводских условиях.

В программу приемо-сдаточных испытаний входят:

- проверка коэффициента трансформации и группы соединения обмоток;
- испытание пробы масла или жидкого негорючего диэлектрика из бака трансформатора (для определения пробивного напряжения и тангенса угла диэлектрических потерь);
- испытание изоляции напряжением промышленной частоты, приложенным от внешнего источника;

- испытание изоляции напряжением повышенной частоты, индуцированным в самом трансформаторе;
- проверка потерь и тока холостого хода;
- проверка потерь и напряжения короткого замыкания;
- испытания прочности бака;
- испытания на трансформаторе устройства переключения ответвлений.

В процессе эксплуатации, при монтаже и ремонте трансформатора проводится также ряд других испытаний и измерений

Измерения сопротивления изоляции обмоток являются обязательными после любого вида ремонта.

Определение коэффициента абсорбции, измерение 1б изоляции и емкостных характеристик проводят после ремонта с заменой обмоток или при подозрении на загрязненность и увлажнение изоляции. Проверка коэффициента трансформации на всех ступенях переключения напряжения и группы соединения обмоток, а также испытание главной изоляции (вместе с вводами) являются обязательными после ремонта трансформатора с заменой обмоток. Испытание продольной изоляции обмоток является желательным после ремонта с заменой обмоток.

После ремонта с заменой обмоток измеряют потери и ток холостого хода при номинальном напряжении, а также напряжение и потери короткого замыкания при номинальном токе. допускается превышение расчетных (или заводских) значений тока холостого хода не более чем на 30%; потерь — на 15% (для трансформаторов прошлых лет выпуска — до 22 %). допустимые отклонения параметров короткого замыкания — не более 10 %. После ремонта без замены обмоток (если производилась подпрессовка ярем магнитной системы) потери холостого хода допускается измерять при пониженном напряжении.

Измерение электрического сопротивления обмоток постоянному току производится в случае, если результаты операционного испытания при изготовлении обмоток превышают нормируемые (различие сопротивлений на одноименных ответвлениях разных фаз не более 2 %).

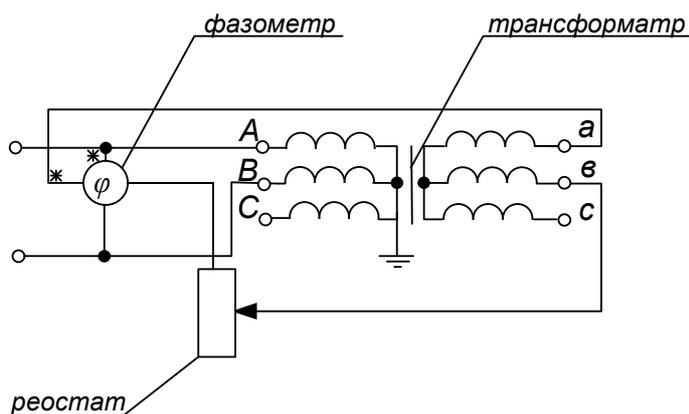
У трансформаторов сопротивление обмоток постоянному току измеряют методом падения напряжения (с помощью амперметра и вольтметра) или мостовым. Измерения производят при установившейся температуре, которая указывается в протоколе испытаний. Сила тока в обмотках должна быть не более 20 % номинальной. Сопротивление измеряют при напряжении до 15 В и силе тока 10 А. источниками тока служат аккумуляторные батареи. Приборы должны иметь класс точности не ниже 0,5.

Коэффициента трансформации измеряют методом двух вольтметров, один из которых присоединяется к обмотке низшего напряжения, а другой- высшего. Проверку группы соединения производят одним из следующих методов:

- двумя вольтметрами,
- постоянным током (полярметром),
- фазометром (прямым методом).

Прямой метод: применяется однофазный фазометр, у которого последовательную обмотку присоединяют через реостат к зажимам одной из обмоток трансформатора, а параллельную обмотку- к одноименным зажимам другой обмотки. К

одной из обмоток подводят пониженное напряжение, достаточное для работы фазометра. Фазометр показывает угол сдвига между первичным и вторичным напряжением, т.е группу соединения обмоток.



Испытание изоляции стяжных болтов и ярмовых балок у трансформаторов мощностью до 630 кВА включительно осуществляют мегомметром на 1000 В, а у трансформаторов мощностью до 1000 кВА и выше – от испытательного трансформатора мощностью не мене 1 кВА. испытание проводят приложенным напряжением 2000 В переменного тока.

Силу тока и потери  $\alpha$  осуществляют приложением номинального напряжения номинальной частоты к обмотке низшего напряжения при разомкнутых остальных обмотках. Ток  $\alpha$  определяется как среднее арифметическое значение токов трех фаз. Потери  $\alpha$  измеряются с помощью системы двух ваттметров. В процессе эксплуатации потери  $\alpha$  измеряют на пониженное напряжение (5-10% номинального). Измеренные на пониженное напряжение потери  $\alpha$  приводят к номинальному напряжению:

$$P_0 = P_0' (U_{ном}/U')^n,$$

Где  $P_0$  и  $P_0'$  - потери хх при номинальном напряжении  $U_{ном}$  и пониженном напряжении  $U'$ ,  $n$  – показатель степени, зависящий от марки электротехнической стали.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова периодичность осмотров трансформаторов, находящихся в эксплуатации?

1. Как определяются потери холостого хода?
2. Каковы методы испытания трансформатора?
3. Как измеряют сопротивление изоляции трансформатора?
4. Что входит в программу приемо-сдаточных испытаний?
5. Какие методы проверки группы соединения трансформатора вы знаете?

### **7. Перечень вопросов для самостоятельной работы**

*Вопросы, выносимые на самостоятельную работу по курсу «Эксплуатация систем электроснабжения»*

1. Каковы основные этапы и цели технической эксплуатации?
2. В каком виде транспортируются к месту установки (хранения) трансформаторы, электрические машины и аппараты?
3. Назовите климатические исполнения оборудования. Воздействие каких факторов внешней среды оно учитывает?
4. Какие категории размещения оборудования вы знаете и в чем их отличие друг от друга?
5. Назовите существующие в настоящее время системы технического обслуживания. Чем они отличаются?
6. Назовите виды износов оборудования и причины их возникновения.
7. Приведите классификации ремонтов. Каковы достоинства и недостатки различных форм организации ремонта?
8. Чем характеризуются три области «кривой жизни технического изделия»?
9. От чего зависит трудоемкость ремонтов электротехнического оборудования?
10. Как рассчитать численность работников электроремонтного предприятия?
11. Назовите основные виды работ, проводимых при ремонте электрических машин.
12. Назовите основные виды работ, проводимых при ремонте трансформаторов.
13. Каковы основные задачи центральной электротехнической лаборатории?
14. Какую документацию следует вести при ремонте трансформаторов?
15. Назовите критерии оценки состояния изоляции обмоток и отводов трансформаторов.
16. Укажите последовательность работ при демонтаже активной части трансформатора.

17. Перечислите основные работы по ремонту обмоток.
18. В какой последовательности производят полный ремонт магнитной системы?
19. Как производится сушка и очистка трансформаторного масла? Какие устройства и материалы при этом используются?
20. Каковы особенности монтажа ЛЭП напряжением до 1 кВ?
21. Как обслуживаются ВЛ до 10 кВ?
22. Перечислите основные ремонтные операции, выполняемые на ВЛ до 10 кВ?
23. Каковы преимущества прокладки кабелей в траншее?
24. В каких случаях прокладывают кабели в галереях и эстакадах?
25. Как заземляют кабельные конструкции?
26. Как разделяют концы кабелей с бумажной изоляцией?
27. Как соединяют кабели напряжением до 10 кВ?
28. Как монтируют муфты внутренней установки на кабелях напряжением до 10кВ?
29. Как обнаружить и определить место повреждения кабельной линии?
30. Каковы особенности монтажа открытых электропроводок?
31. Как выполняют тросовые электропроводки?
32. В чем преимущество схемы «блок-трансформатор - магистраль»?
33. Какова последовательность операций по монтажу электропроводки в коробах, на лотках и в трубах?
34. Как соединяют полиэтиленовые трубы между собой?
35. Как конструктивно выполняют цеховые осветительные сети?
36. Какие работы производят при обслуживании цеховых электрических сетей?
37. Какие схемы применяют для электроосвещения?
38. Какими способами осуществляют замену ламп?
39. Какова периодичность ведомственных поверок электроизмерительных приборов?
40. какими методами контролируют температуру электроустановок?

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

*Перечень программных продуктов, используемых в ходе преподавания дисциплины.*

ПО «Модель электрической системы», ПО «Модель комплексной нагрузки», ПО «Релейная защита».

Программное обеспечение позволяет использовать возможности лабораторного стенда ЭЭ2 - НЗ - С - К, установленного в аудитории 508, в том числе для проведения лабораторных работ по дисциплине «Эксплуатация систем электроснабжения». Лабораторный стенд позволяет осуществлять сборку электрических схем соответствующих тематике лабораторной работы, моделировать различного рода ситуации, например, аварийные, в том числе с изменением основных эксплуатационных характеристик. ПО обеспечивает цифровую обработку результатов проведенных экспериментов и их вывод на дисплей ПК.

Перечень лабораторных работ на лабораторном стенде:

1. Изучение схем соединения измерительных трансформаторов.
2. Изучение возможности работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме.
3. Изучение возможности работы АД при напряжении, отличном от номинального. Защита АД при пониженном напряжении.

*1.8.2. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания дисциплины.*

1. Схемы реальных электрических сетей и распределительных устройств подстанций ОАО «ДРСК» (электронный вариант).
2. Программно-вычислительный комплекс АМУР РС по расчету и анализу режимных характеристик распределительных сетей.
3. Учебные лабораторные комплексы «Модель комплексной электрической нагрузки», «Модель электрической системы», «Релейная защита».
4. Типовые технологические карты ремонта оборудования и ЛЭП.
5. Плакаты и слайды на медиапроекторе.

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

*Общие методические указания*

Для оценки знаний студентов в течение всего семестра ведется контроль по прослушанному курсу лекций, проведенным практическим занятиям и самостоятельной работе студентов для дисциплины «Электрооборудование систем электроснабжения» по следующей схеме:

1. Оценка качества усвоенного студентами материала к первой контрольной точки.
2. Оценка качества усвоенного студентами материала ко второй контрольной точке.
3. Оценка качества знаний по окончании семестра. Сдача зачета.

*Перечень материалов по контролю качества образования.*

1. Комплект вопросов устного опроса по контролю качества (перечень вопросов формируется в соответствии с тематикой прослушанных студентами лекций, см. пункт 1.3.1.).
2. Комплект вопросов блиц опросов (проводится на лабораторных работах во время защиты отчетов, либо вначале лекции по тематике ранее прослушанной студентами лекции, см. пункт 1.3.1.).
3. Перечень тем рефератов по дисциплине (приводится ниже пункт 1.9.2.).
4. Перечень вопросов для самостоятельной проработки представлен в пункте 1.7.
5. Перечень контрольных вопросов выносимых на зачет. Перечень представлен в пункте 1.16.
6. Перечень лабораторных работ (пункт 1.6.)

*Перечень тем рефератов*

1. Порядок подготовки и проведения электромонтажных работ.
2. Организация технического обслуживания и ремонта электроустановок и контроль их состояния.
3. Обслуживание электроизмерительных приборов
4. Цеховые электрические сети.
5. Технология монтажа и ремонта открытых электропроводок.
6. Выполнение сетей шинопроводами.
7. Техническое обслуживание цеховых электрических сетей напряжением до 1000 В.
8. Источники электроснабжения, осветительные электроустановки.
9. Технология монтажа кабельных линий.
10. Технология монтажа воздушных линий
11. Анализ аварийных режимов работы и отказ оборудования. Выбор аппаратуры защиты.
12. Техническое обслуживание электрических аппаратов.
13. Техническое обслуживание электрических машин.
14. Планирование ремонтов электрических машин.
15. Организация и структура электроремонтного производства.
16. Технология ремонта трансформаторов и электрических аппаратов.
17. Испытание трансформаторов после капитального ремонта.
18. Текущий ремонт электрических аппаратов.

**10. Комплект контрольных вопросов к зачету**

1. Структура и задачи электромонтажных организаций;
2. Эксплуатация внутренних электропроводок и токопроводов (периодичность и содержание осмотров, ремонты, эксплуатационные нормы);
3. Основные материалы, применяемые при электромонтажных операциях;
4. Эксплуатация сетей освещения (периодичность и содержание осмотров, ремонты, эксплуатационные нормы);
5. Индустриализация при электромонтажных операциях;
6. Эксплуатация ВЛ: виды осмотров, содержание осмотра каждого вида, документация, эксплуатационные нормы;
7. Виды сварки, применяемые при электромонтажных операциях;
8. Эксплуатация деревянных опор;
9. Технология выполнения опрессовки, область применения данного вида контактного соединения, нормы выполнения;
10. Эксплуатация железобетонных опор;
11. Технология выполнения пайки, область применения данного вида контактного соединения;
12. Эксплуатация металлических опор;
13. Опишите последовательность монтажа внутренних скрытых проводок;
14. Эксплуатация заземляющих устройств ВЛ и подстанций;
15. Опишите последовательность монтажа внутренних открытых электропроводок по стенам цеха;
16. Приемосдаточные испытания при вводе в эксплуатацию ВЛ;
17. Проводки в лотках и коробах: область применения, количество проводников, способы крепления и расстояния между ними;
18. Приемосдаточные испытания при вводе в эксплуатацию внутренних электропроводок.
19. Проводки в пластмассовых трубах: область применения, порядок монтажа, определение сечения труб для прокладки проводников;
20. Приемосдаточные испытания КЛ;
21. Проводки в металлических трубах: область применения, порядок монтажа;
22. Виды дефектов кабелей, определение характера повреждения КЛ;
23. Прокладка кабелей в траншеях: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;

24. Определение места повреждения в кабеле импульсным способом;
25. Прокладка кабелей в каналах, блоках: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;
26. Приемосдаточные испытания силовых трансформаторов: виды испытаний в зависимости от номинального напряжения и мощности, нормы испытаний; схемы испытаний
27. Прокладка кабелей в кабельных сооружениях: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;
28. Приемосдаточные испытания масляных выключателей: виды испытаний, нормы испытаний; схемы испытаний.
29. Прокладка кабелей на эстакадах и галереях: область применения, достоинства и недостатки, порядок монтажа;
30. Эксплуатация аккумуляторных батарей: порядок и содержание осмотра, техника безопасности при работе в аккумуляторных, требования к помещениям аккумуляторных;
31. Подготовительные операции при монтаже ВЛ;
32. Эксплуатация разъединителей, короткозамыкателей, отделителей;
33. Порядок монтажа ВЛ;
34. Эксплуатация силовых трансформаторов: периодичность осмотров и ремонтов, содержание осмотра, эксплуатационные нормы;
35. Порядок монтажа КТП, КРУ, КСО;
36. Способы подзаряда аккумуляторных батарей;
37. Порядок монтажа распределительных шкафов, пунктов, щитов;
38. Определение места повреждения методом колебательного разряда и акустическим.
39. Порядок монтажа кабельных эпоксидных муфт;
40. Определение места повреждения в КЛ индукционным методом и методом накладной рамки;
41. Порядок монтажа сухих концевых заделок кабеля;
42. Эксплуатация трансформаторного масла;
43. Порядок монтажа свинцовых кабельных муфт;
44. Эксплуатация измерительных трансформаторов и приборов РЗ иА;
45. Персонал и эксплуатация. Эмоциональная напряженность деятельности
46. персонала энергосистем.
47. Стрессовые ситуации.
48. Производственное обучение и повышение квалификации персонала.

49. Охрана труда персонала энергосистем.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»**

### **а) основная литература:**

1. Васин, Владимир Петрович. Актуальные проблемы эксплуатации электрических станций [Текст] : учеб. пособие / В. П. Васин, 2003. - 160 с.
2. Сибикин, Юрий Дмитриевич. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий [Текст] / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин, 2005. - 400 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст], 2003. - 390 с.; 2005. – 263 с.; 2007. - 315 с.

### **б) дополнительная литература:**

8. Пособие для изучения Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (электрическое оборудование) [Текст] : производственно-практическое издание / Под общ. ред. Ф.Л. Когана, 2000, 2002. - 356 с.
9. Пособие для изучения Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (электрическое оборудование) [Текст] / Под общ. ред. Ф.Л. Когана, 2004. - 351 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей в вопросах и ответах [Текст] / авт.- сост. В. В. Красник, 2004. - 132 с.
11. Межотраслевые типовые инструкции по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст], 2006. - 160 с.
12. Мандрыкин, Сергей Андреевич. Эксплуатация и ремонт электрооборудования станций и сетей [Текст] : учеб. / С. А. Мандрыкин, А. А. Филатов, 1983. - 344 с.
13. Мусаэлян, Эрик Суренович. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций [Текст] : учеб.: доп. Мин. энергетики и электрификации СССР / Э. С. Мусаэлян, 1979. - 464 с.
14. Основы эксплуатации электрооборудования станций и подстанций [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140204 - Электрические станции / АмГУ, Эн.ф., 2007. - 34 с.

### **в) периодические издания:**

4. «Электричество».
5. «Электрические станции».
6. «Энергетик».
7. «Промышленная энергетика».
8. «Электротехника».
9. «Электрика».
10. «Энергохозяйство за рубежом».
11. «Electrical Power and Energy Systems».
12. «IEEE Transactions. Power systems».
13. «Energy Policy».
14. «Вестник ИГЭУ».
15. «Вестник Московского энергетического института».
16. «Известия вузов. Электромеханика».
17. «Известия РАН. Энергетика».
18. «Новости электротехники»

19. «Амурский дилижанс».
20. «Вестник Амурского государственного университета».
21. «Энергетика. Сводный том».
22. «Электротехника. Сводный том»

г) **программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

<b>№</b>	<b>Наименование ресурса</b>	<b>Краткая характеристика</b>
1	<a href="http://www.iqlib.ru/">http://www.iqlib.ru/</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.