

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

ФАКУЛЬТЕТ  
СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*учебно-методическое пособие по специальности  
СПО 35.02.08 Электрификация и автоматизация  
сельского хозяйства*

*Составитель Цецура А.В.*

Благовещенск

УДК 621.3+681.5(075)  
ББК 31.26я7+32.9я7

Эксплуатация и ремонт электротехнических изделий : учеб. - метод. пособие по спец. СПО 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства / Дальневост. гос. аграр. ун-т, ФСПО ; сост. А.В. Цецура . - Благовещенск : Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2018. – 61 с.

*Учебно-методическое пособие по междисциплинарному курсу МДК.03.01 «Эксплуатация и ремонт электротехнических изделий» предназначены для студентов очного обучения Дальневосточного ГАУ специалистов среднего звена в соответствии с ФГОС СПО 35.02.08 - Электрификация и автоматизация сельского хозяйства.*

Рецензент: Пустовой С.А., к.с.х.н., доцент кафедры электроэнергетики и электротехники

*Рекомендовано к изданию методическим советом электроэнергетического факультета (протокол № 4 от 17.12.2018 г.).*

Издательство  
Дальневосточного государственного аграрного университета  
2018

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

4

### Раздел 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕ- МОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТО- МАТИЗАЦИИ

Лекция 1. Тема: Основные положения технического об-  
служивания и ремонта электрооборудования и средств автома-  
тизации

7

Лекция 2 Тема: Контрольно-измерительные приборы и  
средства автоматизации.

Лекция 3 Тема: Поверка средств измерений

Лекция 4 Тема: Понятие о надежности электрооборудо-  
вания и средств автоматизации

Лекция 5 Тема: Принцип действия, устройство , область  
применения МПТ и понятие магнитной цепи МПТ.

ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ ПО РАЗДЕЛУ 1

ТЕМЫ ДОКЛАДОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОД-  
ГОТОВКИ

Список использованной литературы

61

## **ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с программой междисциплинарного курса МДК.03.01 «Эксплуатация и ремонт электротехнических изделий» обучающиеся изучают 4 раздела:

- Организация эксплуатации и ремонта электрооборудования и средств автоматизации;
- Эксплуатация электрооборудования и средств автоматизации;
- Эксплуатация распределительных устройств напряжением выше 1000В, пусковой, защитной, регулирующей аппаратуры и распределительных устройств напряжением до 1000В;
- Ремонт электрооборудования и средств автоматизации.

Целью овладения указанным видом профессиональной деятельности и соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения профессионального модуля должен:

### **иметь практический опыт:**

- эксплуатации и ремонта электротехнических изделий, используемых в сельскохозяйственном производстве;
- технического обслуживания и ремонта автоматизированных систем сельскохозяйственной техники;

### **уметь:**

использовать электрические машины и аппараты; использовать средства автоматики; проводить техническое обслуживание и ремонт типовых районных и потребительских трансформаторных подстанций, схем защиты высоковольтных и низковольтных линий;

осуществлять надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией светотехнических и электротехнологических установок;

осуществлять техническое обслуживание и ремонт автоматизированной системы технологических процессов, систем

автоматического управления, электрооборудования и средств автоматизации сельского хозяйства;

**знать:**

назначение, устройство, принцип работы машин постоянного тока, трансформаторов, асинхронных машин и машин специального назначения;

элементы и системы автоматики и телемеханики, методы анализа и оценки их надежности и технико-экономической эффективности;

систему эксплуатации, методы и технологию наладки, ремонта и повышения надежности электрооборудования и средств автоматизации сельскохозяйственного производства.

В результате изучения программы междисциплинарного курса студент должен освоить вид деятельности МДК.03.01 «Эксплуатация и ремонт электротехнических изделий»:

Освоение профессионального модуля направлено на развитие **общих компетенций:**

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального

и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

**Профессиональных компетенций:**

ПК 3.1. Осуществлять техническое обслуживание электрооборудования и автоматизированных систем сельскохозяйственной техники.

ПК 3.2. Диагностировать неисправности и осуществлять текущий и капитальный ремонт электрооборудования и автоматизированных систем сельскохозяйственной техники

ПК 3.3. Осуществлять надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией электрооборудования и автоматизированных систем сельскохозяйственной техники.

ПК 3.4. Участвовать в проведении испытаний электрооборудования сельхозпроизводства.

1 Лекция №1 ( 4 часа).

Тема: «Основные положения технического обслуживания и ремонта

электрооборудования и средств автоматизации»

Вопросы лекции:

1. Стратегии обслуживания электрооборудования
2. Техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты оборудования
3. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования в сельском хозяйстве
4. Формы эксплуатации электроустановок

Краткое содержание вопросов:

Стратегии обслуживания электрооборудования

Для обеспечения надежной работы электрооборудования разрабатывают и применяют на практике систему технической эксплуатации электрооборудования - система которая представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему.

Основные характеристики системы: принцип технической эксплуатации, структуры ремонтного цикла, периодичности работ, типового состава операций обслуживания и ремонта, трудоемкости и стоимости работ

Принцип технической эксплуатации — правило выбора момента контроля и восстановления свойств электрооборудования. Известны три принципа: послеотказовый, профилактический и послеосмотровый.

Послеотказовый принцип—это обслуживание по необходимости, когда восстановительные работы осуществляют лишь после выхода из строя электрооборудования; плановые профилактические мероприятия не проводят. Оправдан при одном из сле-

дующих условий:

- интенсивность отказов не увеличивается со сроком службы электрооборудования;
- затраты на аварийный ремонт и технологический ущерб не превосходят затрат на профилактические работы (при любом характере изменения интенсивности отказов);
- расчетная оптимальная периодичность профилактических работ больше срока службы электрооборудования.

Профилактический принцип состоит в том, что независимо от технического состояния электрооборудования проводят профилактические мероприятия в плановые сроки; при выходе из строя элементов или устройств в целом осуществляют их восстановление (замену). Профилактические мероприятия могут быть *календарными* или *регламентными*. В первом случае профилактики выполняют через строго определенные календарные периоды независимо от режима использования электрооборудования. Во втором — после регламентированной наработки, учитывающей загрузку, суточную, сезонную и годовую занятость электрооборудования.

Имеет более широкую область применения благодаря следующим его преимуществам:

- за счет периодических профилактик, выполняемых через определенное, правильно установленное время использования, суммарный объем работ по технической эксплуатации снижается до некоторого наименьшего значения, достаточного для поддержания технического состояния электрооборудования на требуемом уровне;
- за счет плановых систематических профилактик каждой единицы электрооборудования наименьший уровень работ по технической эксплуатации неизменного парка электрооборудования остается практически постоянным;
- весь ряд профилактических работ, выполняемых в течение срока службы электрооборудования, состоит из последовательно повторяющихся однотипных циклов работ.

Целесообразность применения календарной или регламентной системы профилактики можно определить по интенсивности отказов электрооборудования при работе  $\lambda_P$  и простое (хранении)  $\lambda_x$ , а также по продолжительности периодов работы  $T_P$  и простоя  $T_x$  в течение года.

Если  $\lambda_P T_P > \lambda_x T_x$ , то целесообразно применять регламентную техническую эксплуатацию, если  $\lambda_P T_P \leq \lambda_x T_x$  — календарную.

Послеосмотровый принцип — это обслуживание по состоянию электрооборудования, при котором в плановом порядке проводят лишь диагностические проверки (осмотры), а необходимые профилактические (восстановительные) работы назначают с учетом фактического состояния оборудования.

Послеосмотровый принцип сохраняет качества профилактического и имеет дополнительные преимущества. При его осуществлении более точно учитывается состояние электрооборудования и поэтому предотвращается прогрессирующий износ, что позволяет сократить число ремонтов, гарантировать безотказную работу в ответственные периоды и т. п. Однако применение после осмотровой технической эксплуатации осложнено из-за дефицита средств диагностики и прогнозирования состояния электрооборудования.

2. Техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты оборудования

**Структура ремонтного цикла** — это совокупность и последовательность работ, выполняемых, при технической эксплуатации электрооборудования. В соответствии с ГОСТ 18322—78 основными эксплуатационными работами служат: *техническое обслуживание, текущий ремонт и капитальный ремонт.*

*Техническое обслуживание (ТО)* — это комплекс операций для поддержания исправности или работоспособности электрооборудования при его использовании по назначению, хранении и транспортировании. ТО обеспечивает исправность (работоспособность) за счет своевременного устранения причин или мелких неисправностей, которые могут вызвать отказ. ТО

проводят на месте установки электрооборудования без нарушения технологического производственного процесса.

*Текущий ремонт* (ТР)—это ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности изделия и состоящий в замене или восстановлении отдельных его частей. Назначение ТР вытекает из известного положения о неравнопрочности элементов любого электрооборудования. За счет своевременной замены недолговечных элементов (частичное восстановление) ТР обеспечивает поддержание работоспособности всего изделия. ТР выполняют на месте установки электрооборудования или в ремонтной мастерской.

*Капитальный ремонт* (КР) — это ремонт, выполняемый для восстановления исправности изделия и полного или близкого к полному восстановлению ресурса любых его частей, включая базовые. Такие работы выполняют специализированные электроремонтные предприятия.

Кроме перечисленных работ, электротехническая служба любого хозяйства выполняет *оперативно-дежурное обслуживание, консервацию и расконсервацию* электрооборудования при его хранении, контрольные измерения и профилактические испытания.

*Оперативно-дежурное обслуживание* обеспечивает быстрое (оперативное) устранение отказов электрооборудования, а также проведение любых отключений, переключений и изменений электрических схем, вызванных производственной необходимостью.

Правилами технической эксплуатации электроустановок предусмотрено в нерабочие периоды продолжительностью более месяца хранить электрооборудование на складе. В условиях сельского хозяйства разрешено оставлять электрооборудование на объектах (машинах), но перед длительным простоем оно должно быть законсервировано. После такого хранения осуществляют расконсервацию электрооборудования и его вновь включают в работу.

Периодичность проведения работ. При послеотказовой тех-

нической эксплуатации восстановительные работы выполняют по мере необходимости. При профилактических работах периодичность определяют исходя из принятого критерия эффективности эксплуатации, например приведенных затрат на единицу наработки.

В упрощенном виде задача расчета периодичности работ по критерию приведенных затрат состоит в следующем. Пусть заданы тип электрооборудования, условия его эксплуатации, затраты на разовое выполнение профилактической работы  $Z_p$  и на устранение отказа электрооборудования, оцениваемые затратами на капитальный ремонт  $Z_{к.р.}$ , и размером технологического ущерба  $U_t$ . Требуется определить оптимальную периодичность профилактических работ  $T_p$ . Для решения задачи рассмотрим на рисунке характеристики перечисленных затрат. С увеличением периодичности  $T_p$  затраты на профилактические работы  $Z_p$ , за срок службы изделия уменьшаются из-за сокращения суммарного числа проводимых профилактик. Но при этом неизбежно возрастают интенсивность отказов и затраты на капитальный ремонт  $Z_{к.р.}$ , а также размер технологического ущерба  $U_t$ . Суммируя эти составляющие при разных значениях  $T_p$ , получим график изменения суммарных затрат  $Z$ . Периодичность, значениях  $T$ , получим график изменения суммарных затрат  $Z$ . Периодичность, при которой суммарные затраты становятся наименьшими, считают наилучшей, то есть оптимальной –  $T_{п. опт.}$

Календарный период работы электрооборудования между очередными плановыми текущими ремонтами или от начала эксплуатации до первого планового ремонта называют межремонтным периодом.

Календарную продолжительность между капитальными ремонтами или от начала эксплуатации до первого капитального ремонта называют ремонтным циклом.

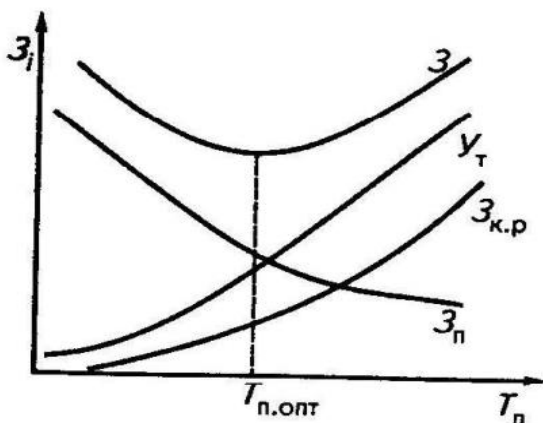


Рис. 1 Графики для выбора оптимальной периодичности профилактики

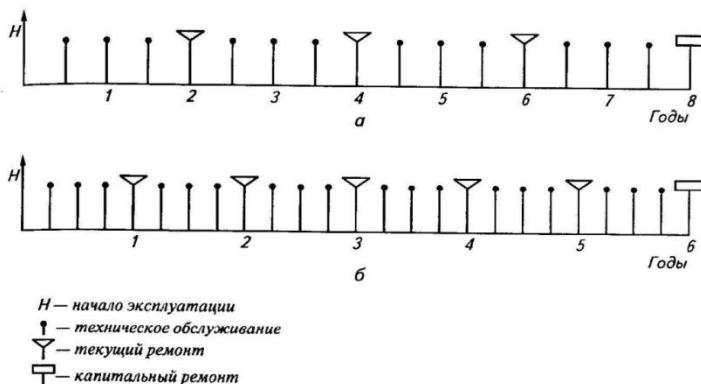


Рис. 2 Структура ремонтных циклов двигателей в легких (а) и тяжелых (б) условиях эксплуатации

Структура ремонтного цикла зависит от вида электрооборудования и условий его эксплуатации. Например, техническое обслуживание (ремонт) одинаковых по исполнению двигателей проводят с разной периодичностью, если их используют в не одинаковых условиях: в сухих помещениях ремонтный цикл составляет 8 лет, а в особо сырых — 6 лет.

**Типовое содержание работ.** Каждую профилактическую работу необходимо выполнять не только своевременно, но и в таком

объеме, который гарантирует восстановление утраченных электрооборудованием свойств. Объем работ можно определить при непосредственном ознакомлении с обслуживаемым электрооборудованием. Какие именно операции следует выполнить в конкретном случае, решает электромонтер или руководитель электро-технической службы.

Совокупность и последовательность наиболее вероятных операций, обеспечивающих качественное обслуживание и ремонт, называют *типовым содержанием работ по технической эксплуатации*.

Плановое **техническое обслуживание(ТО)** электрооборудования включает в себя следующие операции: очистку от пыли, грязи и посторонних предметов; проверку и регулировку крепления; проверку и восстановление (при необходимости) электрических соединений, и в первую очередь — в цепях зануления (заземления); проверку сопротивления изоляции; проверку степени нагрева ответственных узлов и деталей; устранение обнаруженных мелких неисправностей.

**Текущий ремонт(ТР)** предусматривает следующие операции: очистку внешних поверхностей; отключение от сети и разборку; очистку внутренних поверхностей, деталей и узлов; определение состояния и ремонт или замену деталей и узлов (кроме базовых); сборку; испытания; установку и испытание на рабочем месте.

На основании всех перечисленных типовых операций для каждого вида электрооборудования в системе ППРЭсх разработано конкретное содержание технического обслуживания и текущего ремонта.

Капитальный ремонт выполняют по типовым схемам технологического процесса ремонта соответствующих видов электрооборудования.

**Трудоемкость типовых работ.** Нормы трудоемкости обслуживания и ремонта зависят;

- от типового содержания работ, учитывают методом аналитически-экспериментального нормирования на основе изучения

производительности электромонтеров непосредственно на рабочем месте. Для этого проводят фотографию рабочего времени (непрерывное измерение затрат времени исполнителем в течение рабочего дня) или хронометраж (измерение затрат рабочего времени на выполнение отдельных операций или приемов). На основе этих данных разрабатывают обоснованные нормативы трудозатрат на отдельные операции или на виды работ некоторого базового электрооборудования.

- от мощности, исполнения и других ремонтных особенностей (ремонтосложности) электрооборудования, обычно ее оценивают в относительных величинах путем сопоставления трудоемкости ремонта (обслуживания) каждого электрооборудования с трудоемкостью таких же работ для базового электрооборудования, принятого за единицу измерения. При этом можно выделить дифференцированное и комплексное нормирование ремонтосложности.

При дифференцированном нормировании оценивают трудозатраты на разовые отдельные работы для каждого отдельного вида и типоразмера электрооборудования при помощи условных единиц ремонта (у. е. р.).

За у. е. р. приняты трудозатраты на один вид работ для трехфазного асинхронного короткозамкнутого двигателя закрытого исполнения мощностью 5 кВт, напряжением 380/220 В и частотой вращения магнитного поля статора 1500 мин<sup>-1</sup>.

Нормативная трудоемкость у. е. р. составляет для технического обслуживания 0,5; текущего ремонта — 4,8; капитального ремонта 12,5 чел.-ч. Для любого другого электрооборудования установлены коэффициенты (категории) перевода в у. е. р.

Комплексное нормирование выполняют в условных единицах электрооборудования (у.е.э.). При этом учитывают не разовые, а годовые трудозатраты на все виды эксплуатационных работ для некоторого комплекта электрооборудования, используемого в условиях сельского хозяйства.

За у. е. э. принято отношение усредненных годовых трудоемкостей различных видов технического обслуживания и ремонта к

годовой трудоемкости технического обслуживания и ремонта базовой электроустановки.

За базовую (эталонную) установку принят комплект электрооборудования электропривода с двигателем мощностью до 1,0 кВт, используемого в открытых установках. Нормативная трудоемкость у. е.э. составляет 18,6 чел.-ч/год и имеет следующую примерную структуру: оперативное обслуживание — 2—3, техническое обслуживание—5—6, текущий ремонт—7—9, капитальный ремонт—1—3 чел.-ч/год. Другие комплекты электрооборудования (электроустановки) переводят в у. е. при помощи коэффициентов пересчета.

3. Система плано-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий (ППРЭСх)

Основным нормативным документом, регламентирующим организацию эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве, служит система ППРЭСх.

Этот нормативный документ содержит:

- классификацию условий эксплуатации электроустановок в сельском хозяйстве,
- рекомендации по планированию, организации и учету работ при технической эксплуатации электрооборудования,
- данные о периодичности, типовом составе работ, трудоемкости и о расходе материалов при техническом обслуживании и ремонте практически всех видов электрооборудования, применяемого в сельском хозяйстве.

Система ППРЭСх включает профилактические мероприятия и предусматривает их выполнение в плановом порядке в строго регламентированные сроки. Настоящей системой предусматривается техническое обслуживание с периодическим контролем, при котором контроль технического состояния электрооборудования выполняется с установленными в ней периодичностью и объемом, а объем остальных операций определяется техническим состоянием изделия в момент начала технического обслуживания.

Практика применения системы ППРЭсх подтверждает ее высокую эффективность. Строгое выполнение требований этой системы позволяет увеличить срок службы электрооборудования в 2—3 раза и снизить эксплуатационные расходы на 25—30%.

Наряду с этим систему необходимо постоянно совершенствовать, поскольку промышленность поставляет новые и более надежные виды энергетического оборудования, непрерывно совершенствуется технология сельскохозяйственного производства, накапливаются научные знания и передовой опыт эксплуатации электрооборудования.

#### 4. Формы эксплуатации электроустановок

**Индивидуальная ЭТС** — это такая служба, которую создает само хозяйство. Она выполняет в хозяйстве все работы по технической эксплуатации электрооборудования. Для выполнения работ по развитию электрификации обычно привлекают подрядные организации.

**Централизованная ЭТС** — это такая служба, которую создают для обслуживания всех хозяйств района. Централизованная ЭТС образует свои эксплуатационные участки в колхозах, совхозах и других подразделениях и обслуживает их на договорных началах.

При любой форме эксплуатации важно выбрать *рациональную структуру* ЭТС и правильно определить состав подразделений службы. В зависимости от принципа выбора числа и назначения этих подразделений различают *территориальную, функциональную* или *гибкую* организационную структуру ЭТС.

В основе *функциональной структуры* лежит принцип распределения исполнителей и материально-технических средств службы по видам выполняемых работ или функций. В службе создают специализированные группы: аварийно-оперативного обслуживания, планового обслуживания, текущего ремонта и т. п. Каждая такая группа выполняет только свои работы, но на всех объектах хозяйства.

Преимущества:

- позволяет более полно использовать дорогостоящие средства обслуживания и индивидуальное мастерство исполнителей,
- снизить потребность в кадрах высокой квалификации.
- специализация исполнителей и производственных подразделений служит в целом прогрессивным направлением для развития ЭТС.

Недостатки:

- возрастает потребность в транспортных средствах,
- увеличиваются потери времени на переезды, достигая 25% рабочего времени при радиусе обслуживания 15 км.
- главный недостаток состоит в снижении ответственности исполнителей за состояние и использование электрооборудования.

При *территориальной структуре* ЭТС исполнителей распределяют по отделениям или бригадам хозяйства. На закрепленных участках исполнители выполняют весь объем работ, предусмотренный программой по эксплуатации электрооборудования.

Преимущества: устраняет недостатки функциональной структуры.

Недостатки:

- не всегда удается добиться равномерной загрузки исполнителей в течение года;
- повышаются требования к квалификации электромонтеров, так как каждый из них обязан выполнять любую операцию по обслуживанию, ремонту, испытанию и наладке электрооборудования.

*Гибкая структура* ЭТС отличается от перечисленных тем, что в течение года изменяется в зависимости от номенклатуры и объема работ, приходящихся на тот или иной сезон. При этом возможно чередование работы ЭТС по функциональной и территориальной структуре.

## 2 Лекция № 2 ( 2 часа).

Тема: «Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации»

Вопросы лекции:

1. Виды испытаний электрооборудования и средств автоматизации
2. Контрольно-измерительные приборы
3. Средства автоматизации

Краткое содержание вопросов:

1. Виды испытаний электрооборудования и средств автоматизации

В условиях сельскохозяйственного производства наиболее часто при эксплуатации электрифицированных машин и механизмов приходится контролировать значения следующих электрических величин: напряжения, силы тока, энергии и сопротивления.

**Измерение напряжения и силы тока.** *Напряжение* измеряют вольтметрами (рис. 3). Вольтметр подключают параллельно электроприемнику на зажимах которого нужно измерить напряжение. Для расширения пределов измерения вольтметров применяют добавочные сопротивления  $R_n$ , включаемые последовательно с вольтметрами, и трансформаторы напряжения  $T$ .

Для измерения *силы тока* в цепях переменного тока применяют амперметры электромагнитной системы. Если измеряемая сила тока не превышает допустимой для данного амперметра, то его включают в цепь последовательно с электроприемником. В тех случаях, когда сила тока превышает допустимое для данного амперметра значение, применяют шунты или трансформаторы тока. Шунты используют при измерениях в цепях постоянного тока, а трансформаторы тока — в цепях переменного тока.

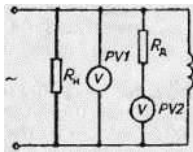


Рис. 3. Способы измерения напряжения вольтметрами, включенными:

PV1 — непосредственно; PV2— через добавочное сопротивление; PV3 через измерительный трансформатор напряжения

Трансформатор тока (рис. 4) состоит из замкнутого (броневое или стержневого) магнитопровода, набранного из листов электротехнической стали, и двух обмоток — первичной и вторичной.

Первичную обмотку (зажимы  $I1$  и  $I2$ ) включают в цепь последовательно с нагрузкой, а вторичную (зажимы  $II1$  и  $II2$ ) подключают к измерительным приборам: амперметрам, токовым катушкам ваттметров и счетчиков.

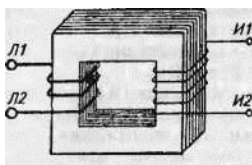


Рис. 4. Трансформатор тока

Работает трансформатор тока следующим образом. Переменный ток силой  $I_1$ , проходя по первичной обмотке, создает в магнитопроводе переменный магнитный поток, который пересекает витки вторичной обмотки, наводя в ней электродвижущую силу (ЭДС). Под действием этой ЭДС во вторичной цепи появляется электрический ток, сила которого  $I_2$ . Значение силы тока  $I_2$  можно вычислить, используя коэффициент трансформации трансформатора тока:

$$k = I_1 / I_2 = w_1 / w_2$$

Где  $w_1 / w_2$  — соответственно число витков первичной и вторичной обмоток.

Отношение сил первичного и вторичного токов указывают в паспорте (на щитке) трансформатора тока.

Первичную обмотку трансформатора тока выполняют обычно из провода большого сечения, соответствующего силе тока нагрузки, вторичную — из провода сечением, рассчитанным на силу тока 5 А.

Кроме расширения пределов измерения трансформаторы тока предохраняют обслуживающий персонал от высокого напряжения при измерениях силы тока в электроустановках напряжением выше 1000 В.

При эксплуатации трансформаторов тока выводы вторичной обмотки нельзя оставлять разомкнутыми, так как при этом магнитный поток в сердечнике может возрасти в десятки и сотни раз и ЭДС во вторичной обмотке увеличится до значений, опасных для обслуживающего персонала и приборов.

Для измерения силы тока в электроустановках напряжением до 1000 В без разрыва цепи применяют трансформаторы тока, выполненные в виде токоизмерительных клещей.

**Измерение количества электрической энергии.** Для измерения количества электрической энергии применяют счетчики: постоянного тока, однофазного переменного тока (типа СО), активной энергии трехфазные (трех- и четырехпроводные — соответственно СА3 и СА4), реактивной энергии трехфазные (трех- и четырехпроводные — СР3 и СР4).

Для измерения количества электрической энергии, потребляемой трехфазными электроприемниками, применяют трехфазные счетчики. Трехфазные счетчики изготовляют двух- и трехэлементными. Вращающиеся моменты, развиваемые каждым из элементов, создают общий вращающий момент, пропорциональный количеству потребляемой энергии трехфазного тока. Под действием этого момента вращаются алюминиевые диски счетчика, связанные со счетным механизмом.

**Измерение сопротивлений.** Для измерения малых сопротивлений можно пользоваться амперметром и вольтметром подключенных по схеме.

Для измерения больших сопротивлений, например сопротивления изоляции электрического оборудования и аппаратов, используют мегаомметр (рис. 5). Он состоит из генератора постоянного тока  $G$ , рассчитанного на напряжение 500 или 1000 В, с ручным приводом, и измерительного механизма (магнитоэлектрического

логометра), заключенных в пластмассовый брызгонепроницаемый корпус.

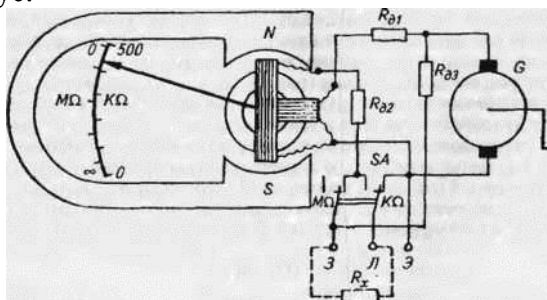


Рис 5 Мегаомметр

Неподвижная часть логометра — постоянный магнит с полюсными наконечниками и сердечником из мягкой стали. Подвижная часть состоит из двух жестко скрепленных между собой (под углом) рамок, насаженных на общую ось со стрелкой. На рабочей (токовой) рамке логометра имеется небольшое число витков изолированного провода сравнительно большого сечения. Эту рамку включают последовательно с генератором и измеряемым сопротивлением  $R_x$ . Вторая (противодействующая) рамка имеет большое число витков тонкого изолированного провода. Включают ее параллельно генератору. Электрический ток подводится к рамкам при помощи безмоментных пружин, поэтому стрелка при неработающем мегаомметре может находиться в произвольном положении.

Взаимодействие токов, протекающих по обмоткам рамок, с полем магнита создает два вращающих момента, пропорциональных силам протекающих токов. Суммарный вращающий момент отклоняет подвижную часть логометра и связанную с ней указательную стрелку на угол, пропорциональный значению сопротивления изоляции обследуемого прибора. Внутри мегаомметра расположены добавочные сопротивления  $R_{\delta 1}$ ,  $R_{\delta 2}$ ,  $R_{\delta 3}$  и которые используются при наладке мегаомметра.

Особенность работы логометра в том, что его показания не зависят от напряжения, вырабатываемого генератором, который приводится в действие от руки.

Шкала мегаомметра имеет две части, проградуированные в мегаомах (MQ) и килоомах (кC2). Показания мегаомметра снимают во время вращения ручки генератора. Для переключения с одного предела измерения на другой служит специальный переключатель SA. В тех случаях, когда необходимо исключить возможные погрешности от токов утечки и шунтирующего влияния сопротивления изоляции, используют мегаомметр с зажимами: Л (линия), З (земля) и Э (экран).

**Измерение давления.** На современных сельскохозяйственных предприятиях применяются приборы для измерения давления: напорометры, тягометры, тягонапорометры, обычные и самопишущие манометры.

Приборы для измерения давления имеют чувствительный элемент — измерительный преобразователь. Чувствительные элементы приборов для измерения давления могут служить измерительными преобразователями не только в манометрах, вакуумметрах, но и в расходомерах, уровнемерах, манометрических термометрах и других приборах. Наиболее распространены *жидкостные манометры*, в которых измеряемое значение уравнивается давлением столба затворной (рабочей) жидкости. Измеряют разность уровней этой жидкости в двух сообщающихся сосудах (плюсовом и минусовом), в которые подают измеряемые давления.

По устройству жидкостные манометры разделяют на двухтрубные (U-образные), однострунные (чашечные), колокольные, кольцевые и поплавковые. Наиболее распространены поплавковые манометры, у которых уровень рабочей жидкости (ртуть, масло) измеряют поплавком, имеющим кинематическую или электрическую дистанционную передачу. Жидкостными манометрами обычно измеряют разность давлений, это дифференциальные манометры приборов или дифманометры.

Конструкция дифманометров не рассчитана на работу в условиях вибрации и тряски. Приборы нельзя применять в тех случаях, когда измеряемая или окружающая среда сильно токсична, чрезмерно загрязнена или влажная. Дифманометры с электрической ди-

станционной передачей нельзя устанавливать во взрывоопасных помещениях.

При монтаже и наладке дифманометров следует тщательно соблюдать правила их установки и включения в работу. Нарушение правил монтажа может внести большие погрешности в показания дифманометра.

*Поршневые манометры* применяют в качестве образцовых приборов для проверки технических манометров или как чувствительные элементы реле давления.

В *пружинных манометрах* измеряемое давление уравнивается силой упругой деформации мембраны, сильфона, одновитковой (трубка Бурдона) или многовитковой (спиральной) трубчатой пружины. Основные виды погрешностей манометров этой группы: температурная и вызванная усталостью показаний упругого элемента. В эксплуатации точность показаний пружинных манометров снижается из-за вибрации и резких изменений нагрузки, вызывающих остаточную деформацию упругих элементов, износа передаточного механизма и увеличения зазоров в шарнирных соединениях.

**Измерение расхода жидкостей и газов.** Применяют следующие приборы: скоростные и объемные счетчики; расходомеры переменного и постоянного перепада; расходомеры переменного уровня; напорные трубки; электрические, тепловые, ультразвуковые и некоторые другие расходомеры. Для измерения массового расхода жидких, газообразных и сыпучих (кусковых) веществ применяют автоматические весы и дозаторы, а также некоторые другие приборы, основанные на пересчете измеренного объема в массу с учетом плотности вещества.

При монтаже и наладке скоростных и объемных счетчиков необходимо соблюдать следующие требования: направление потока измеряемой среды должно соответствовать направлению стрелки на корпусе прибора; положение прибора и трубопровода должно соответствовать инструкции завода-изготовителя; перед счетчиком должны быть установлены указанные в инструкции фильтры, газо- и влагоотделители; должны быть выдержаны требования завода-

изготовителя относительно температуры и влажности окружающего прибор воздуха, максимальной температуры измеряемой среды, отсутствия ударов, вибрации и другие условия нормальной эксплуатации прибора. Автоматизация различных технологических процессов и операций возможна только при наличии необходимой информации о значениях величин, характеризующих протекание этих процессов и операций. Для этого используют разнообразные электрические и неэлектрические измерительные преобразователи (датчики), которые измеряют заданные параметры технологических режимов и операций и передают информацию к следующим элементам системы (усилителям) — вторичным приборам.

Физическая природа регулируемых параметров разнообразна, вследствие этого различны и принципы действия датчиков. Однако в большинстве случаев на выходе датчика получаются либо механические параметры (сила, перемещение), либо электрические (напряжение, сила тока, сопротивление, емкость, индуктивность, сдвиг фаз и др.).

Практически любую величину независимо от ее физической природы можно преобразовать в электрический сигнал, поэтому при автоматизации производственных процессов наиболее распространены электрические датчики — измерительные устройства, преобразующие неэлектрические величины в электрические. Электрические датчики наиболее просты и дешевы.

### 3 Лекция № 3 ( 2 часа).

Тема: «Поверка средств измерений »

#### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Поверка средств измерений

2. Виды испытаний электрооборудования и средств автоматизации

3. Испытания изоляции электрооборудования

Краткое содержание вопросов:

1. Основные понятия и определения теории надежности.

Поверка средств измерений — определение соответствия их всем предъявляемым техническим требованиям. Методы поверки определяются заводскими техническими условиями, инструкциями и методическими указаниями Государственного комитета стандартов Российской Федерации. Сроки периодической поверки средств измерений определяются действующими стандартами.

Государственная поверка осуществляется метрологической службой Государственного комитета стандартов Российской Федерации.

Кроме того, предприятия, осуществляющие эксплуатацию и ремонт средств измерений и автоматизации, могут иметь право на проведение отдельных видов поверочных работ. При этом предприятиям, имеющим право на проведение поверок, органы Государственной метрологической службы выдают специальное клеймо.

После удовлетворительных результатов поверки на лицевую часть прибора наносят оттиск поверительного клейма.

Кроме очередной поверки приборов существует внеочередная поверка, связанная с повторной необходимостью поверки их исправности, повреждением поверительного клейма, вводом приборов в эксплуатацию и т. д. Поверку приборов после ремонта проводят метрологи.

Поверку проводят с целью определения погрешностей измерения, т. е, сравнивают показания рабочих измерительных приборов с более точными показаниями образцовых приборов. Поверяют приборы в соответствии с требованиями, установленными для них

стандартами или техническими условиями, по которым их изготавливают.

Практика показывает, что все электроизмерительные приборы утрачивают со временем свои технические характеристики и особенно точность измерения, независимо от того, применяют ли их в работе или хранят на складе. Использование неверных и неисправных электроизмерительных приборов приводит к получению неправильных результатов измерения.

Необходимость в постоянном поддержании электроизмерительных приборов в состоянии, обеспечивающем верность их показаний, настолько важна, что в нашей стране установлен обязательный государственный и ведомственный надзор над электроизмерительными приборами со стороны Государственного комитета стандартов, мер и измерительных приборов и его органов на местах. Проверка приборов входит также в обязанности пусконаладочных, эксплуатирующих и других организаций.

На вновь вводимых объектах или после замены и ремонта основного оборудования и изменений во вторичных цепях проводят предпусковые испытания щитовых приборов. В объем предпусковых испытаний входят внешний осмотр и проверка приборов и измерительных трансформаторов.

**Внешний осмотр.** Задача внешнего осмотра прибора - определение общего его состояния с целью выявления дефектов, которые могли бы препятствовать применению данного прибора независимо от степени правильности его показаний. При внешнем осмотре обращают внимание на сохранность кожуха, стекла, зажимов, шкалы, указателя, корректора, на отсутствие загрязнения и посторонних тел в приборе, на маркировку, обозначения полярности, положение указателя, клеймо поверки и пр.

**Методы поверки.** Основные методы поверки измерительных приборов: метод сверки показаний поверяемого прибора с показаниями образцового и компенсационный метод.

*Метод сверки* наиболее простой, не связан с использованием сложных установок и чаще применяется. Этим методом пользуются

при проведении пусконаладочных испытаний. Им поверяют все щитовые и переносные приборы как постоянного, так и переменного тока с частотой 50 Гц, а также контрольные приборы и большинство образцовых. Данный метод имеет два существенных недостатка: во-первых, необходимость в большом числе образцовых приборов разных наименований и с различными пределами измерения; во-вторых, ограниченная точность, пределом которой является точность образцовых приборов высшего класса 0,1.

*Компенсационный, или потенциометрический, метод* используется в лабораториях и в тех случаях, когда требуется высокая точность. Потенциометрическая установка универсальна. Она дает возможность поверки на постоянном токе приборов с очень большим диапазоном измерений (от милливольт до сотен вольт и от миллиампер до сотен ампер). К недостаткам этого метода относятся сложность поверки, необходимость применения вьгеокостабильных источников тока и невозможность поверки приборов переменного тока, кроме приборов переменного тока электродинамической и электромагнитной систем, имеющих знак постоянного и переменного тока на шкале.

При использовании метода сверки класс точности образцового прибора должен быть выше класса точности поверяемого. Чтобы показание образцового прибора можно было принять за действительное, необходимо, чтобы наибольшая возможная погрешность образцового прибора была в три раза меньше допустимой погрешности поверяемого.

Трансформаторы тока и напряжения для включения образцовых приборов при поверке методом сверки следует применять класса точности не ниже 0,5.

Источники постоянного и переменного тока, применяемые при поверке методом сверки, должны обладать таким постоянством (стабильностью), чтобы изменения значений силы тока, напряжения или мощности за время, необходимое для отсчета показаний приборов, не превосходили 0,1 % их значения. Частота переменного тока должна соответствовать указанной на поверяемом приборе, а в слу-

чае отсутствия этого указания — равняться 50 Гц.

При проверке приборов на месте их установки ограничиваются определением погрешности прибора при одной-двух фактически имеющихся нагрузках.

### **Виды испытаний электрооборудования и средств автоматизации**

Электроустановки и применяемое в них электрооборудование в процессе монтажа, после его окончания и в условиях эксплуатации подлежат специальной проверке, опробованию и наладке в соответствии с требованиями, которые вытекают из условий их эксплуатации и специфических особенностей каждого вида установленного электрооборудования. Несоблюдение этого правила приводит к отклонению от заданного режима работы или к нарушению бесперебойного снабжения электроэнергией потребителей, а также к повреждению или полному разрушению электрооборудования.

В процессе эксплуатации электрооборудование подвергается повреждениям из-за естественного износа (старения); конструктивных дефектов, недоброкачества применяемых электроизоляционных материалов, а также вследствие повреждений изоляции при монтаже и транспортировке.

Под воздействием окружающей среды, механических напряжений, электрического поля, температуры, влаги и других факторов электрооборудование в процессе эксплуатации подвергается естественному износу. В условиях эксплуатации эти воздействия всегда действуют совместно, в определенных сочетаниях, вызывая постепенные необратимые ухудшения или разрушения изоляции.

К проверке, испытаниям и наладке электрооборудования, начиная с изготовления его отдельных деталей, и в дальнейшем при его сборке, установке на месте и эксплуатации предъявляют строгие и точно регламентированные требования.

Системой планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования предусматриваются следующие виды испытаний электрооборудования и средств автоматизации:

профилактические. Их объем и периодичность устанавливаются местными инструкциями в зависимости от условий, в которых эксплуатируется оборудование, и режима его работы. Эти испытания проводят в условиях эксплуатации. Они эффективны при выявлении дефектов и предупреждении аварийных отключений электрооборудования и простоев технологического оборудования. Широкое внедрение профилактических испытаний позволяет также реже проводить капитальные и другие ремонты электрооборудования и обеспечивает необходимое качество электроэнергии;

браковочные — дефектация оборудования перед ремонтом; пооперационные. Проводятся в процессе ремонта;

контрольные. Проводятся с целью установления соответствия выпускаемого после ремонта (или изготовления) оборудования (каждой машины и аппарата) паспортным данным, техническим условиям на ремонт, стандартам и т. п.;

типовые. Проводятся после переделки, реконструкции и модернизации оборудования. Цель типовых испытаний — определение годности серийной партии электрооборудования и проверка соответствия требованиям, предъявляемым к нему соответствующими стандартами, а при их отсутствии — техническим условиям на поставку. Сроки проведения типовых испытаний и количество электрооборудования, подлежащего испытанию, также устанавливаются стандартами или техническими условиями;

приемо-сдаточные. Этим испытаниям должны подвергаться на месте все вновь сооружаемые, реконструированные и отремонтированные электроустановки в целом, а также смонтированное в них электрооборудование. Цели этих испытаний: проверка технического состояния электрооборудования, приборов и аппаратов, первичной и вторичной коммутации и качества их монтажа; выявление соответствия электрооборудования проекту и требованиям ГОСТа; снятие характеристик и сопоставление их с результатами заводских испытаний; регулировка, наладка и включение в работу всей электроустановки в целом. Практика показала, что при приемо-сдаточных испытаниях могут быть выявлены существенные недостатки проек-

та, оборудования и монтажа и предложены рациональные решения по их устранению;

квалификационные. Это испытания, проводимые особой комиссией над отобранными образцами установочной серии или первой промышленной партии с целью проверки готовности предприятия к выпуску продукции данного типа в заданном объеме;

аттестационные. Это испытания, проводимые для оценки уровня качества продукции при ее аттестации. Такие испытания поручают специально назначенным комиссиям, члены которых принимают участие в испытаниях вместе с постоянным персоналом испытательной станции;

эксплуатационные. Проводят их в процессе эксплуатации крупного энергооборудования; цель их — проверка исправности машины. Программы испытаний устанавливаются самим потребителем;

специальные. Проводят их в дополнение к приемочным или приемо-сдаточным испытаниям по специальным программам. Цель их — установление соответствия энергооборудования особым требованиям, определяемым стандартами или техническими условиями на энергооборудование данного вида и выходящими за пределы требований общих стандартов;

исследовательские. Проводят их над энергооборудованием или группой энергооборудования данного типа, данной серии или данного вида по программе, разработанной для каждого отдельного случая. Цели этих испытаний могут быть самыми различными; наиболее характерные из них: получение исходных данных для проектирования новых типов энергооборудования или технического усовершенствования существующего; установление возможное экономии применяемых материалов и замены их другими материалами; проверка влияния новых технологических процессов, применяемых при изготовлении энергооборудования, на их качество; разработка новых методов, расчеты и уточнение существующих; исследование новых схем и сочетаний электрооборудования и средств автоматизации как друг с другом, так и с другими механизмами и т. д.

Специальные и исследовательские испытания могут в значительной части состоять из тех же опытов, которые входят в программы приемо-сдаточных испытаний; однако нередко в них включают особые опыты, которые выходят за пределы этих программ.

В процессе ремонта энергооборудования проводят ряд испытаний, цель которых — проверка качества выполненных операций ремонта. Например, после намотки статорной или роторной обмотки электрической машины убеждаются в отсутствии в ней обрывов и витковых замыканий. Испытаниями проверяют и качество соединений проводников пайкой или сваркой. Отремонтированные трансформаторы и электрические машины испытывают по определенной программе, в которую входят выявление дефектов в отремонтированном электрооборудовании и проверка их характеристик на соответствие стандартам и техническим условиям.

### **Испытания изоляции электрооборудования**

Общие сведения о свойствах электроизоляционных материалов.

Электроизоляционные материалы применяют во всех без исключения электрических установках. Электроизоляционные материалы используют для изоляции проводников между собой, между фазами и относительно земли (корпуса). Выбор изоляционных материалов в конкретном оборудовании определяется условиями его работы и свойствами изоляционных материалов. Наиболее важное свойство этих материалов — электрическая прочность, которая определяется пробивным напряжением и выражается в киловольтах на 1 мм толщины изоляционного материала. Если изоляция состоит из отдельных слоев различных материалов, то напряжение, действующее на такую изоляцию, распределяется по слоям неравномерно и может оказаться, что один из слоев, на который приходится наибольшее напряжение (на единицу толщины), будет пробит. В частности, из-за неплотного прилегания слоев изоляции между ними образуются прослойки воздуха, пыли и влаги, которые под воздействием напряжения ионизируются, что приводит к постепенному разрушению соседних слоев изоляции.

Места, где секции обмотки выходят из пазов электрической машины, являются наиболее слабыми, так как кроме неравномерной электрической нагрузки в этом месте наиболее часты механические повреждения изоляции.

Важная характеристика электроизоляционных материалов — теплостойкость, т. е. способность выдерживать кратковременное и длительное воздействие высокой температуры, а также резкие смены температуры.

Таким образом, сопротивление изоляции электрооборудования зависит от следующих факторов: качества и свойств изоляционных материалов; толщины и площади поверхности изоляции между деталями установки, находящимися под напряжением, и корпусом; содержания влаги в изоляции; температуры и т. д. Все это приводит к тому, что сопротивление изоляции постоянно и не всегда может служить достаточным критерием для установления состояния изоляции и степени ее надежности. Однако сопротивление изоляции характеризует ее электрическую прочность, которая влияет непосредственно на надежность работы электроустановки.

Сопротивление изоляции электрических цепей как между фазами, так и относительно земли — один из важнейших показателей состояния любой электроустановки. Контроль исправности изоляции цепей в условиях эксплуатации, а также при включении новых объектов совершенно обязателен. Без проверки сопротивления изоляции электрические устройства нельзя включать в работу.

Изоляция электрооборудования в процессе эксплуатации подвергается постепенному износу (старению) под воздействием механических напряжений от электрического поля и условий окружающей среды (температуры, влаги, масел, химических веществ, пыли и других факторов). Износ и старение изоляции происходят в результате изменения самой структуры материалов, понижения электрической и механической прочности, затвердевания, разбухания изоляционных гильз и пазовой изоляции, растрескивания изоляции, повреждения лаковой пленки или вытекания лака, потемнения цвета изоляционных материалов от перегревов, разрушения изоляции под

воздействием электрических разрядов и по другим причинам.

Условия старения изоляции, находящейся на открытом воздухе или в сырых помещениях, а также подвергаемой перегрузкам, будут иными, чем оборудования в закрытых помещениях с нормальным режимом работы.

Рассмотрим методы испытания изоляции.

**Метод измерения сопротивления изоляции.** Сопротивление изоляции измеряют мегаомметром. При этом следует учитывать, что значение сопротивления изоляции в значительной степени зависит от времени, через которое проведен отсчет. Поэтому для получения сопоставимых результатов необходимо проводить отсчет через точно установленные промежутки времени и при относительно установившемся значении сопротивления изоляции; обычно это наступает через 1 мин после приложения напряжения.

Работы по измерению сопротивления изоляции должны проводиться в соответствии с действующими правилами безопасности лицами, имеющими соответствующую степень квалификации (группу) по этим правилам.

**Метод абсорбции.** Этот метод основан на сравнении показаний мегаомметра, полученных через 15 и 60 с после приложения напряжения к изоляции электрооборудования. В качестве показателя для сравнений принимают отношение  $R_{15}/R_{60}$ , называемое коэффициентом абсорбции  $k_{аб}$ , где  $R_{60}$  и  $R_{15}$  — значения сопротивления изоляции соответственно через 60 и 15 с после приложения напряжения.

Этот метод дает относительно объективную характеристику для' оценки состояния изоляции. Значения отношения  $R_{15}/R_{60}$  не нормируются, но должны сопоставляться с предыдущими измерениями и учитываться при комплексном рассмотрении результатов измерений.

Физический смысл метода абсорбции заключается в том, что всякая электрическая изоляция, будучи диэлектриком, обладает электрической емкостью, причем значение этой емкости зависит от геометрических размеров и материала изоляции. Всякая изоляция

гигроскопична, т. е. способна поглощать влагу, а влага и высокая температура способствуют ухудшению изоляции. Приложенное к изоляции напряжение мегаомметра обуславливает проникновение через толщину изоляции токов, которые как бы «насыщают» изоляцию. Эти токи названы токами абсорбции. Времени для проникновения тока в изоляцию требуется тем больше, чем больше ее геометрические размеры и выше качество. Чем крупнее машины, тем затруднительнее, вращая ручку мегаомметра вручную, определить коэффициент абсорбции. В этих случаях применяются мегаомметры с пристроенным электроприводом, обеспечивающим равномерное вращение ручки мегаомметра с необходимой скоростью. Чем больше изоляция содержит посторонних включений, в частности, чем сильнее она увлажнена, тем коэффициент абсорбции будет меньше. При увеличении температуры коэффициент абсорбции уменьшается и, наоборот, при снижении — увеличивается. Это следует принимать во внимание при оценке результатов измерений, полученных при температурах, отличных от нормируемых.

Значение сопротивления изоляции, полученное при отсчетах в различные моменты времени, зависит от длительности приложения напряжения к изоляции. Чем больше времени прошло от момента приложения к изоляции напряжения до момента отсчета, тем больше получается измеренное значение сопротивления изоляции.

Изучение характера изменения коэффициента абсорбции при влажном и сухом состоянии изоляции электрических машин и трансформаторов позволило применить этот метод для контроля качества сушки изоляции.

Коэффициент абсорбции дает возможность судить о состоянии изоляции обмоток. При температуре 15...30 °С для неувлажненных обмоток этот коэффициент составляет 1,3...2. Увлажненные обмотки имеют коэффициент абсорбции, близкий к единице.

### **Метод измерения угла диэлектрических потерь.**

Изоляция, находящаяся под воздействием переменного напряжения, поглощает некоторое количество электроэнергии, которая

превращается в теплоту. Поглощаемая в единицу времени энергия (мощность) определяет собой диэлектрические потери в изоляции. Если бы диэлектрических потерь не было, угол сдвига фаз между напряжением, приложенным к изоляции, и током, проходящим через изоляцию, был бы точно равен  $90^\circ$ . В изоляции, выполненной из любых применяемых на практике материалов, при наличии диэлектрических потерь угол сдвига фаз между напряжением и током меньше  $90^\circ$ . Разность между углом  $90^\circ$  и углом сдвига фаз обозначают  $\delta$  и называют *углом диэлектрических потерь* или сокращенно — *углом потерь*.

В случае приложения к изоляции напряжения переменного тока процесс зарядки емкостей и протекания тока через сопротивления схемы повторяется каждый период. Значение силы установившегося тока  $I$  будет определяться двумя составляющими:  $I_a$  — активной составляющей силы тока, зависящей от значения сопротивления изоляции;  $I_p$  — реактивной составляющей, зависящей от геометрической емкости.

Так как сила тока через изоляцию зависит не только от свойств изоляции, но и от размеров оборудования, то по значению активной составляющей еще нельзя судить о качестве изоляции. Показателем качества изоляции служит отношение активной составляющей силы тока к реактивной. Таким образом, тангенс угла диэлектрических потерь — важный показатель состояния изоляции. Его используют, во-первых, для характеристики надежности ее по отношению к тепловому пробую (тепловая устойчивость) и, во-вторых, для проверки общего старения или увлажнения изоляции. Угол диэлектрических потерь изоляции меняется в зависимости от состояния изоляции. Если изоляция отсырела или в ней появились посторонние включения, то угол  $\delta$  резко увеличивается.

На практике обычно принято  $\operatorname{tg}\delta$  измерять в процентах, т. е.  $\operatorname{tg}\delta$  показывает, сколько процентов составляет активная составляющая силы тока по отношению к реактивной. Чем ниже этот процент, тем выше качество изоляции. Угол диэлектрических потерь у крупных объектов позволяет судить о состоянии изоляции только в среднем,

так как местный дефект не может сколько-нибудь существенно изменить соотношение активной и реактивной составляющих при значительных размерах оборудования. У объектов с малыми геометрическими размерами по значению  $\operatorname{tg} \delta$  можно обнаружить и местный дефект.

Метод измерения  $\operatorname{tg} \delta$  даст лучшие результаты при оценке состояния увлажнения обмоток трансформатора.

Методом диэлектрических потерь проверяют также изоляцию проходных изоляторов, вводов конденсаторов и обмоток трансформаторов, генераторов и электродвигателей, трансформаторов тока, а также, изоляцию длинных кабелей и другую изоляцию, кроме чисто фарфоровой. Измерения диэлектрических потерь широко применяют в лабораторных условиях и ремонтных мастерских для проверки изоляции после ремонта, а также для контроля диэлектрических потерь масел и заливочных масс.

Диэлектрические потери изоляторов рекомендуется измерять при температурах от 10 до 40 °С, так как в этом интервале  $\operatorname{tg} \delta$  мало зависит от температуры и для многих типов изоляторов не нужно делать поправок на температуру.

При измерениях диэлектрических потерь необходимо учитывать наличие электрических влияний, поверхностных загрязнений и увлажнения оборудования (особенно в сырую или туманную погоду), а также то, что корпуса оборудования, оболочки кабелей и другие элементы, как правило, наглухо заземлены. Последнее приводит к необходимости применения мостов переменного тока с «перевернутой» схемой.

**Методы испытания изоляции повышенным напряжением.** Цель испытания изоляции повышенным напряжением — проверка наличия в ней необходимого запаса электрической прочности, способного обеспечить безаварийную работу электрооборудования и заблаговременно выявить и устранить неисправность. Испытание повышенным напряжением проводят с использованием как переменного тока промышленной частоты, так и постоянного (выпрямленного) тока высокого напряжения.

*Испытание изоляции повышенным напряжением переменного тока.* Значение испытательного напряжения определяют, исходя из опыта эксплуатации на основе учета возможных внутренних перенапряжений в действующих электроустановках, а также характеристик разрядников, используемых для защиты от атмосферных перенапряжений (молния). Для возможности наблюдения за результатами испытания, а также для того, чтобы начавшийся пробой мог завершиться и, тем самым, мог быть выявлен дефект в изоляции, испытательное напряжение должно быть приложено в течение 1 мин. Более длительное испытание может привести к повреждению изоляции из-за теплового пробоя даже при отсутствии дефектов в изоляции. Исключение составляют изоляционные органические материалы (бакелит, дерево, кабельная бумага и т. п.), в которых основную роль играет поверхностная изоляция. Так как в этих материалах обычно не контролируются диэлектрические потери, то время приложения высокого напряжения при испытаниях принято равным 5 мин, с тем чтобы после окончания испытания и снятия напряжения можно было проверить на ощупь, нет ли местных нагревов. Пробивное напряжение изоляции аппаратов, трансформаторов и изоляторов выбирают выше разрядного напряжения по воздуху, которое, в свою очередь, выше испытательного напряжения, принятого на заводе-изготовителе для новых изоляторов, аппаратов и трансформаторов.

С течением времени прочность изоляции в эксплуатации может снижаться, но она не должна быть ниже установленного минимума. Изоляция считается выдержавшей испытание на электрическую прочность, если при этом не было пробоя частичных разрядов, выделений газа или дыма, а также если приборы не указывали на наличие повреждений.

Пробой изоляции при испытании отмечают по амперметру — по возрастанию силы тока и по вольтметру — по снижению напряжения.

Чтобы не повредить частичными разрядами изоляцию, следует при их возникновении прекратить испытание высоким напряжением

до устранения дефекта и ремонта изоляции.

Испытательное напряжение следует прикладывать: между токоведущими и заземленными частями (для коммутационных аппаратов во включенном и отключенном положениях); между токоведущими частями соседних полюсов (для коммутационных аппаратов во включенном и отключенном положениях); между разомкнутыми контактами одного и того же полюса при отключенном положении аппарата.

*Испытание изоляции высоким напряжением постоянного (выпрямленного) тока.* Проводят для оборудования с большой емкостью (кабели, конденсаторы, генераторы, электродвигатели и др.), для испытания которого переменным током необходимы испытательные трансформаторы большой мощности. Поэтому кабельные линии уже довольно давно испытывают постоянным (выпрямленным) напряжением, что вполне себя оправдало.

Преимущество испытаний изоляции постоянным напряжением — возможность вести контроль за состоянием ее путем измерения силы тока утечки.

В исправной и сухой изоляции сила тока утечки по времени будет падать и тем быстрее, чем в лучшем состоянии находится изоляция. Если же сила тока утечки при определенном напряжении не только не падает, но возрастает со временем, то это указывает на сильную степень развития дефекта, и в этом случае рекомендуется тщательно осмотреть обмотку, проверить, нет ли повреждения изоляции, и при необходимости подвергнуть изоляцию сушке, а затем повторному испытанию.

При исследовании силы тока утечки через изоляцию можно воспользоваться также методом измерения напряжения и времени саморазряда оборудования, заряженного до определенного напряжения. При этом параллельно испытываемому оборудованию присоединяют статический вольтметр или другой прибор, который может фиксировать напряжение разряда (шаровой разрядник, неоновая лампа с сопротивлением и т. п.). Время, за которое произойдет саморазряд изоляции до определенного значения, будет тем меньше,

чем хуже изоляция и чем меньше ее емкость. Чтобы оценить состояние изоляции по методу саморазряда, необходимо иметь опытные данные о времени саморазряда (до определенного значения напряжения) испытуемого или аналогичного оборудования с исправной изоляцией. Силы тока утечки не нормируют, а сопоставляют с результатами предыдущих испытаний. Обычно для измерения сил токов утечки в кабельных сетях применяют специальные выпрямительные установки.

#### 4 Лекция № 4 ( 2 часа).

Тема: «Понятие о надежности электрооборудования и средств автоматизации»

Вопросы лекции:

1. Понятие о надежности электрооборудования и средств автоматизации
2. Показатели надежности
  - 1 Понятие о надежности электрооборудования и средств автоматизации

Надежность — это свойство электрооборудования выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в установленных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования (ГОСТ 13377—75).

На практике различают конструкционную и эксплуатационную надежность. Первая из них характеризует свойства изделия, заложенные при его проектировании, а вторая — наблюдаемые при эксплуатации. Для некоторых видов электрооборудования показатели конструкционной надежности приведены в таблице 1.

Таблица 1 Показатели эксплуатационной надежности

Вид изделия	ГОСТ	Показатель надежности
Трехфазные короткозамкнутые асинхронные двигатели серий А2 и А02 мощностью 0,6...100 кВт	—	Расчетный срок службы: не менее 4 тыс. ч для всех активных частей, кроме обмотки статора; не менее 20 тыс. ч для обмотки статора и не менее 10 тыс. ч для подшипников
Трехфазные асинхронные короткозамкнутые двигатели серии 4А мощностью 0,06...400 кВт	—	Средний срок службы не менее 15 лет при наработке не более 40 тыс. ч. Нарботка обмотки статора не менее 20 тыс. ч. Нарботка подшипников не менее 12 тыс. ч. Вероятность безотказной работы не менее 0,9 при 10 тыс. ч наработки
Рубильники и разъединители на номинальные токи 100...6300 А и на напряжение до 1000 В	2327-89	Механическая износостойкость для аппаратов до 630 А не менее 10 тыс. циклов. Электрическая износостойкость аппаратов при коммутации тока: 100 А — 4000 циклов; 250 А — 2500 циклов; 400 А — 1600 циклов; 630 А — 1000 циклов
Плавкие предохранители на напряжение до 100 В	17242-86	Срок службы не менее 16 тыс. ч. Вероятность безотказной работы не менее 0,94 при доверительной вероятности 0,8
Электромагнитные пускатели на напряжение до 1000 В	2491-82	Нижнее значение вероятности безотказной работы при доверительной вероятности 0,8 за 2 млн циклов не менее 0,92
Бытовые электронагреватели	23110-84	Средняя наработка не менее 2 тыс. ч
Осветительные щитки для жилых зданий	9413-93	Срок службы не менее 15 лет
Электроустановочные, светотехнические изделия	—	Вероятность безотказной работы не менее 0,85 при доверительной вероятности 0,8
Силовые кабели с пластмассовой изоляцией типов АВВГ, АПВГ	16442-80	Срок службы не менее 25 лет
Провода с поливинилхлоридной изоляцией типов АПВ, АППВ, АППВС	6323-79	Средний срок службы не менее 15 лет

## 2 Показатели надежности

Хотя многие виды оборудования имеют достаточно высокие показатели конструкционной надежности, их эксплуатационная надежность остается еще низкой. Так, фактическое время безотказной работы до капитального ремонта двигателей серия 4А составляет в животноводстве 3,5 года, а в растениеводстве — 4 года, подсобных предприятиях — 5 лет.

С позиций надежности электрооборудование может находиться в одном из следующих состояний: исправном, неисправном, работоспособном или неработоспособном.

**Исправное состояние (исправность)** — соответствие всем установленным требованиям нормативной или конструкторской документации.

**Неисправное состояние (неисправность)** — несоответствие хотя бы одному из указанных требований.

**Работоспособное состояние (работоспособность)** — соответствие установленным требованиям всех тех параметров, которые характеризуют способность выполнять заданные функции.

**Неработоспособное состояние (неработоспособность)** несоответствие хотя бы одного параметра работоспособности установленным требованиям.

Событие, состоящее в нарушении исправности, но сохранении работоспособности, называют повреждением. Событие, заключающееся в потере работоспособности, следовательно, и исправности, называют отказом.

Изделия, допускающие восстановление исправности (работоспособности) после повреждения (отказа), называют восстанавливаемыми или ремонтируемыми, а в противном случае — невозстанавливаемыми или неремонтируемыми. К первому виду относят, например, трансформаторы и двигатели, а ко второму — электроосветительные лампы и трубчатые электронагреватели (ТЭНы).

Продолжительность работы электрооборудования, выра-

женная в часах, годах и т. п., или объем выполненной им работы, выраженный в киловатт-часах либо других единицах, называют наработкой.

Безотказность — свойство электрооборудования непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. Количественными показателями безотказности служат: вероятность безотказной работы  $P(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$  и средняя наработка до отказа  $T_0$ .

Вероятность безотказной работы — это вероятность того, что продолжительность работы изделия до отказа  $t_0$  будет не меньше заданного времени  $t$ :

$$P(t) = P(t_0 \geq t).$$

Средняя наработка на отказ — это математическое ожидание наработки до первого отказа изделия.

По статистическим результатам наблюдения за  $m(t)$  изделиями этот показатель определяют как среднюю наработку  $\Delta m$  отказавших изделий:

$$\hat{T}_0 = \frac{1}{\Delta m} \sum_1^{\Delta m} t_{0i}.$$

Показатели безотказности описывают различными законами распределения случайных величин. Наиболее часто применяют закон экспоненциального распределения, когда между показателями справедливы следующие связи:

$$P(t) = e^{-t/T_0};$$

$$\lambda(t) = 1/T_0;$$

$$T_0 = 1/\lambda(t).$$

В ряде случаев исчерпывающую информацию о безотказности электрооборудования содержит один из перечисленных показателей, который считают основным. Если ставится задача оценить надежность в течение определенного времени (сезона), то основным показателем целесообразно выбрать вероятность безотказной работы; Когда эффективность эксплуатации зависит прежде всего от продолжительности работы электрооборудования, тогда основным показателем служит средняя наработка на отказ. Для объектов, имеющих большой технологический ущерб даже при кратковременном нарушении их работоспособности, на первом месте среди показателей надежности стоит интенсивность отказов.

Долговечность — это свойство электрооборудования сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. При этом за предельное состояние принимают такое состояние электрооборудования, при котором его дальнейшее использование невозможно из-за неустранимого нарушения требований безопасной эксплуатации либо неоправданного снижения эффективности применения. Долговечность оценивают сроком службы или ресурсом.

Срок службы — это календарная продолжительность эксплуатации электрооборудования и его элементов до предельного состояния.

Ресурс — суммарная наработка до предельного состояния, измеряемая в единицах выполненной работы или числом про-

веденных операций (включение — отключение), либо в других единицах.

Предельное состояние электрооборудования, а следовательно, и срок его службы, устанавливают по техническим или экономическим критериям.

К техническим критериям относят КПД, уровень сопротивления изоляции, размер зазоров подшипников, площадь соприкосновения контактов и другие показатели. Они характеризуют качество функционирования электрооборудования. В процессе его эксплуатации названные показатели ухудшаются, и, когда достигают заранее установленных граничных значений, то это свидетельствует, что электрооборудование перешло в предельное состояние и его снимают с эксплуатации (списывают).

За экономический критерий принимают приведенные затраты на единицу суммарной наработки. Этот критерий позволяет определить оптимальный срок службы электрооборудования. Сущность оптимизации состоит в выборе такого срока службы, при котором удельные затраты имеют наименьшее значение.

Электрифицированные объекты (процессы) сельскохозяйственного производства предъявляют особые требования к надежности электрооборудования. Для этих объектов обычно наибольшую опасность представляет не факт отказа электрооборудования, а продолжительность восстановления его работоспособности, т. е. простой. Если простой объекта превысит некоторое допустимое время, то нарушение технологического процесса приведет к порче продукции, гибели животных (растений) и другим нежелательным последствиям.

Повышение долговечности электрооборудования зависит от правильного выбора номенклатуры, числа и размещения резервных (запасных) элементов; хорошей организации оперативно-дежурного обслуживания электрохозяйства.

Типоразмерный ряд конкретного вида электрооборудования определяет номенклатуру электрооборудования по мощности, напряжению, исполнению и другим параметрам. Чем больше

шкала типоразмеров, тем точнее можно подобрать электрооборудование к условиям эксплуатации. Чтобы удовлетворить растущие требования к качеству электрооборудования со стороны потребителя, электротехническая промышленность непрерывно увеличивает номенклатуру выпускаемых изделий. Так, первая серия электродвигателей имела 9, вторая—17, а четвертая — более 25 модификаций и специализированных исполнений.

Однако излишняя многономенклатурность затрудняет организацию рациональной эксплуатации из-за неизбежных сложностей приобретения и хранения большого количества запасных деталей, материалов, инструментов и приборов. Повышаются требования к квалификации эксплуатационного персонала. Поэтому стремятся к выпуску электрооборудования с оптимальной структурой его типоразмерного ряда.

Стоимостные показатели дают обобщенную и сопоставимую оценку электрооборудования. Они необходимы при обосновании, оптимальной периодичности обслуживания (ремонта) и нагрузки электрооборудования, при расчете резервного фонда и решении ряда других эксплуатационных задач.

Оптимальные значения результирующих показателей эксплуатационных свойств определяют суммарными затратами на разработку и использование электрооборудования. Повышение надежности или КПД связано с увеличением затрат на создание или техническую эксплуатацию, но при этом удается снизить технологический ущерб из-за отказов электрооборудования, потери электроэнергии и затраты на капитальные ремонты. Стоимостные показатели позволяют сопоставить названные конкурирующие эффекты и найти наилучшее решение.

Технологические свойства характеризуют соответствие электрооборудования агрозоотехнологическим или другим специальным требованиям. По отношению к животным и растениям электрооборудование общего назначения (двигатели, трансформаторы и т. п.) должно быть безопасным и безвредным, а специальное электрооборудование (облучатели, нагревате-

ли и т. п.)—оказывать необходимое воздействие на животных (растения). Например, если облучательная установка не обеспечивает заданный спектральный состав излучения, то вместо ожидаемого укрепления организма животного может наступить его заболевание.

Энергетические свойства отражают способность электрооборудования потреблять (производить, распределять) электроэнергию с высокой эффективностью в отношении КПД, коэффициента мощности и других энергетических показателей, а также приспособленность к переходным (пуск, торможение) и другим режимам работы. Хорошие энергетические свойства должны быть у любого вида электрооборудования сельскохозяйственного назначения. Такое электрооборудование подключают к источнику питания через протяженные электрические сети с многократной трансформацией энергии. Система электроснабжения имеет невысокий КПД (70%), и поэтому сельские электроприемники с низкими энергетическими свойствами вызывают огромные потери электроэнергии, трудно пускаются и нестабильно работают.

Эргономические свойства определяют соответствие электрооборудования психофизиологическим возможностям обслуживающего персонала. Они оцениваются по гигиеническим, антропометрическим, физиологическим и психологическим показателям, установленным ГОСТ 21033—75 и ГОСТ 16456—70. В группу гигиенических показателей входят уровни освещенности, запыленности, шума, вибрации, напряженности магнитного поля и др. Обычно новое электрооборудование имеет удовлетворительные гигиенические показатели, но в процессе эксплуатации они ухудшаются. Особенно нестабильны механические и магнитные виброшумовые воздействия. Своевременное и качественное техническое обслуживание позволяет поддерживать гигиенические показатели на требуемом уровне.

К антропометрическим относят показатели, характеризующие соответствие конструкции и размещение электрооборудова-

ния росту обслуживаемого персонала. При правильном размещении электроустановки легко ее обслуживать. Распределительные щиты и пункты не в полной мере удовлетворяют этим требованиям, так как они обычно расположены в узких проходах, на большой высоте и т. п.

### 5 Лекция №5 ( 16 часов).

Тема: «Принцип действия, устройство, область применения машин постоянного тока (МПТ) и понятие магнитной цепи МПТ»

Вопросы лекции:

1. Образование обмоток МПТ, электродвижущая сила (ЭДС) обмотки якоря МПТ
2. Устройство машины постоянного тока
3. Системы возбуждения генераторов постоянного тока
4. Пуск в ход и регулирование частоты вращения МПТ
5. Потери и КПД МПТ

Краткое содержание вопросов:

1. Образование обмоток МПТ, электродвижущая сила (ЭДС) обмотки якоря МПТ

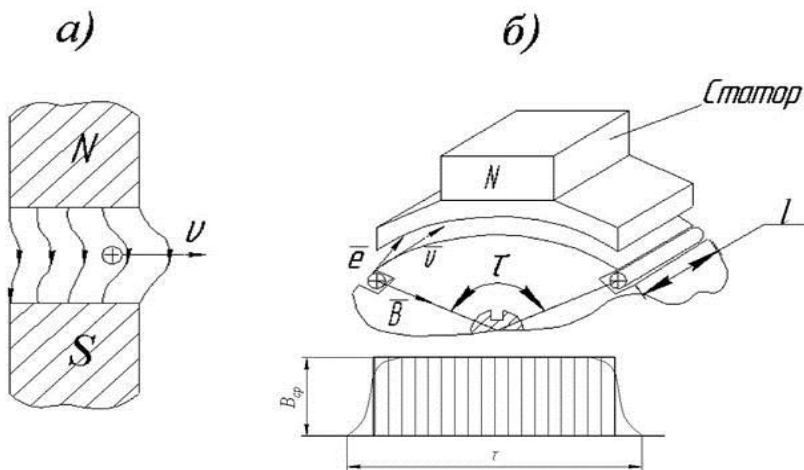


Рис. 6. Принцип действия машины постоянного тока.

Для всех машин постоянного тока основными являются уравнения ЭДС, индуктируемой в обмотке якоря, и электромагнитного момента взаимодействия токов якоря и основного магнитного поля машины.

Она наводится в обмотке якоря основным магнитным пото-

$$\tau = \frac{\pi D_{\text{я}}}{2p}$$

ком. Для её получения обратимся к рисунку 6 б, где :  $B$  – максимальное значение индукции,  $\tau$  – полюсное деление, или линейный размер между полюсами : ( где  $D_{\text{я}}$  – внешний диаметр якоря, а  $2p$  – число пар витков). При выводе формулы ЭДС будем исходить из прямоугольного распределения индукции  $B$  в зазоре(рис. 6 б). Исходя из этого и учитывая тот факт, что ЭДС обмотки определяется суммой ЭДС секций, входящих в одну параллельную ветвь с числом пазовых проводников  $N/(2a)$ , запишем

$$E_{\text{я}} = e_{\text{сек}}(N/2a)$$

Обмотка якоря состоит из  $N$  активных проводников. Щётки делят эту обмотку на  $2a$  параллельных ветвей. Таким образом, в пределах каждой параллельной ветви последовательно соединяются  $N/2a$  активных проводников. ЭДС якоря – это ЭДС одной параллельной ветви обмотки, которая равна сумме ЭДС, индуцируемых в составляющих её проводниках.

При движении одного пазового проводника обмотки якоря в магнитном поле под полюсом (рис. 6 а) проводник пересекает магнитные линии и в нём индуцируется ЭДС:

$$e_1 = B_{\text{ср}} \cdot l \cdot V, \quad (5.2)$$

где:  $l$  – активная длина проводника,  $V$  – окружная скорость якоря,  $B_{\text{ср}}$  – среднее значение магнитной индукции в пределах полюсного деления  $\tau$ .

Окружную скорость вращающегося якоря  $V = \omega \cdot r$  (м/с) двухполюсной машины, для которой  $f=n$  заменим частотой вращения (об/с= $1/c$ ):

$$\omega = 2\pi f = 2\pi n \quad (1/c),$$

а затем частотой вращения реальной машины, имеющей  $p$  пар полюсов и для которой  $f=pn$  (об/мин):

$$V = \frac{\pi D_{\sigma} \cdot n}{60} = \frac{2p\tau \cdot n}{60} \quad (5.3)$$

где

$$\pi D_{\sigma} = 2p\tau \quad (5.3a)$$

Подставляя выражения (5.2) и (5.3) в уравнение (5.1), получим:

$$E_{\gamma} = B_{\sigma} \cdot l \cdot \tau \cdot \frac{2pn}{60} \cdot \frac{N}{2a} \quad (5.4)$$

Учитывая, что произведение

$$B_{\sigma} \cdot l \cdot \tau = \Phi \quad (5.5) \text{ – это основной магнитный поток одного}$$

полюса, уравнение (5.4) можно записать так:

$$E_{\gamma} = \frac{pN}{60a} \cdot \Phi \cdot n = C_{\gamma} \cdot \Phi \cdot n \quad , (5.6)$$

где

$$C_{\gamma} = \frac{pN}{60a} \quad (5.7)$$

– постоянная для данной машины величина.

Из выражения (5.6) следует, что ЭДС  $E_{\gamma}$  пропорциональна основному магнитному потоку и скорости вращения  $n$  и не зависит от формы кривой распределения индукции в воздушном зазоре.

У двигателя эта ЭДС направлена против тока и называется противоэлектродвижущей силой – противоЭДС.

Как следует из выражения (5.6), электродвижущую силу якоря можно регулировать посредством изменения магнитного потока  $\Phi$  или посредством изменения частоты вращения якоря  $n$ .

Основные части машины постоянного тока: неподвижный статор, вращающийся якорь и щеточно-коллекторный узел. Статор (рис. 7, а) состоит из станины, главных и дополнительных полюсов с обмотками. Станина 1 представляет собой полый стальной цилиндр, на внутренней поверхности которого укрепляются главные и дополнительные полюса 3. На главных полюсах 2 размещается обмотка возбуждения 4, которая питается постоянным током и служит для создания основного магнитного поля, постоянного во времени и неподвижного в пространстве. Дополнительные полюса 3 со своей обмоткой 5 предназначены для уменьшения искрения на коллекторе.

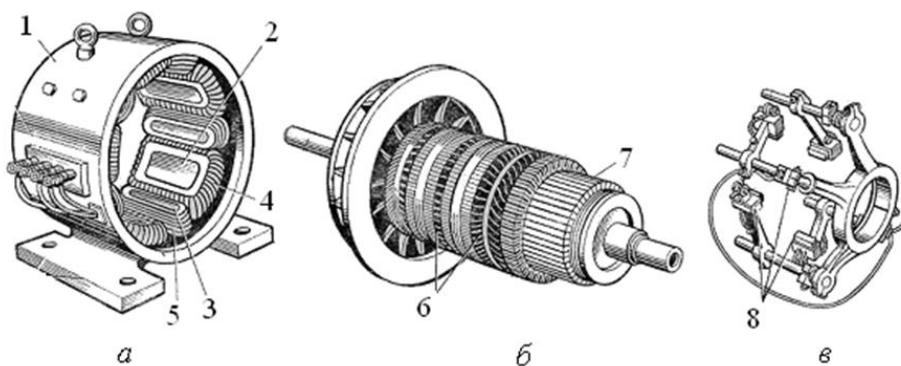


Рис. 7. Устройство машины постоянного тока

Якорь (рис.7. б) барабанного типа представляет собой цилиндр, набранный из изолированных друг от друга листов электро-технической стали, с пазами на внешней поверхности. В пазах уложена обмотка 6 якоря, изготовленная из медного изолированного провода. Цепь якоря – это главная цепь машины.

Коллектор 7, расположенный на одном валу с якорем, представляет собой цилиндр, состоящий из медных клинообразных пластин, изолированных друг от друга и от вала. К пластинам коллек-

тора припаяны начала и концы секций обмотки якоря. К коллектору с помощью пружины прижимаются графитные, угольно-графитные, медно-графитные или бронзо-графитные щетки 8. Они расположены в специальных щеткодержателях (рис. 7, в). Назначение щеточно-коллекторного узла: осуществлять скользящий контакт вращающейся обмотки якоря с внешней цепью; преобразовывать в режиме генератора переменную ЭДС в постоянное напряжение на щетках (механический выпрямитель); преобразовывать в двигателе постоянное напряжение источника в переменный ток якоря для обеспечения постоянного направления вращающего момента.

## 1.2. Работа машины постоянного тока в режиме генератора

При работе генератора используются явления электромагнитной индукции и механического действия магнитного поля на проводник с током.

Генератору необходимо сообщить механическую энергию, для чего якорь приводится во вращение первичным двигателем. Кроме того, необходимо создать магнитное поле. Для этого по обмотке возбуждения пропускают постоянный ток. При вращении якоря в магнитном поле в его обмотке наводится ЭДС, пропорциональная величине магнитного потока и частоте вращения якоря .

$$E = C_E \Phi \cdot n$$

где  $C_E$  – конструктивный коэффициент ЭДС.

Если к щеткам генератора подключить нагрузку, то под действием ЭДС в цепи якоря появится ток . Ток якоря взаимодействует с магнитным полем, возникают электромагнитные силы и момент, направленный противоположно вращению якоря. Поэтому он является тормозным и преодолевается первичным двигателем.

Величина момента пропорциональна магнитному потоку и току якоря

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I_A$$

Ток якоря возбуждает свое магнитное поле, которое, накладываясь на основное магнитное поле, искажает и уменьшает его. Это приводит к уменьшению ЭДС и искрению на коллекторе. Воздействие поля якоря на основное магнитное поле называется реакцией

якоря.

По способу возбуждения генераторы постоянного тока делятся на три группы: генераторы независимого возбуждения, генераторы с самовозбуждением, генераторы с постоянными магнитами.

У генератора с независимым возбуждением обмотка возбуждения не имеет электрического соединения с обмоткой якоря и питается от постороннего источника постоянного тока (рис. 7).

У генератора с самовозбуждением обмотка возбуждения питается от якоря, и генератор не нуждается в постороннем источнике питания. По способу соединения обмотки возбуждения с обмоткой якоря генераторы с самовозбуждением делятся на три типа: параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.

При параллельном возбуждении обмотка возбуждения соединяется параллельно с обмоткой якоря (рис. 8).

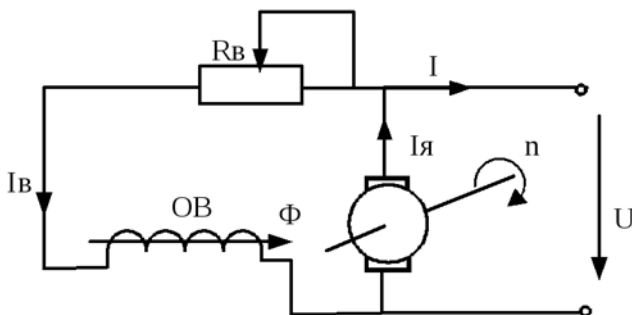


Рис. 7 Генератор с независимым возбуждением

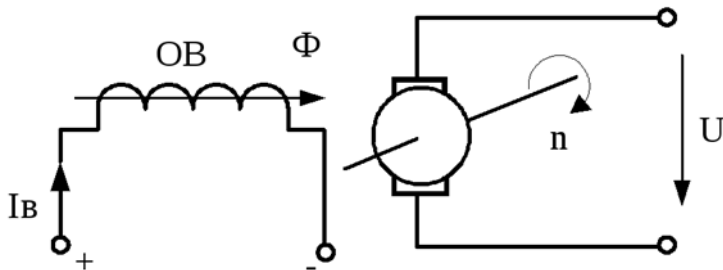


Рис. 8 Генератор с самовозбуждением

Самовозбуждение обычно осуществляется при холостом ходе генератора

Для этого необходимо выполнение следующих условий:

- 1.) Наличие остаточного магнитного поля.
- 2.) Совпадение по направлению магнитного поля возбуждения и остаточного магнитного поля.
- 3.) Сопротивление в цепи возбуждения должно быть меньше критического.
- 4.) Частота вращения якоря должна быть близкой к номинальной

*Пуск двигателя постоянного тока.*

Для двигателя постоянного тока могут быть применены три способа пуска:

- 1) прямой, при котором обмотка якоря подключается непосредственно к сети;
- 2) реостатный, при котором в цепь якоря включается пусковой реостат для ограничения тока;
- 3) путем плавного повышения питающего напряжения, которое подается на обмотку якоря.

Ток в двигателе равен

$$I_a = \frac{U - E_a}{r_a} \quad (6.20)$$

При пуске двигателя  $n = 0$  и  $E_a = 0$ , то-

гда  $I_a = U / r_a$ . В нормальных машинах  $r_a$

очень мало и в связи с этим ток якоря при пуске может в десятки раз превышать номинальное значение. В связи с этим прямой пуск применим только для маломощных двигателей, в кото-

рых  $I_{II} = (4 \div 6) \cdot I_{ном}$ .

Для снижения пускового тока в двигателях большой и средней мощности применяют реостатный пуск, включая в цепь якоря реостат. В этом случае ток якоря равен:

$$I_a = \frac{U - E_a}{r_a + r_p}, \quad (6.21)$$

где  $r_p$  – сопротивление пускового реостата.

При пуске двигателя сопротивление реостата максимально, его подбирают таким образом, что-

бы  $I_{II} = (1,4 \div 1,8) \cdot I_{\text{НОМ}}$  для машин большой и сред-

ней мощности и  $I_{II} = (2 \div 2,5) I_{\text{НОМ}}$  для машин малой мощности. При разгоне двигателя сопротивление пускового реостата постепенно уменьшают, в конце концов, полностью исключая его из цепи якоря.

Недостатком реостатного регулирования являются значительные потери энергии в пусковом реостате. Для его устранения используют пуск на пониженном напряжении с последующим плавным его повышением. Но в этом случае требуется отдельный источник постоянного тока с регулируемым напряжением.

Остановка двигателя производится путем его отключения от сети с помощью выключателя. При этом нельзя допускать разрыва цепи параллельного возбуждения.

$$n = \frac{E_a}{c_e \cdot \Phi_\delta} = \frac{U_a - I_a \cdot r_a}{c_e \cdot \Phi_\delta}. \quad (6.22)$$

Поток будет резко уменьшаться, а скорость – увеличиваться и двигатель пойдет в разнос.

*Регулирование частоты вращения ДПТ.*

Согласно (6.22) частоту вращения ДПТ можно регулировать тремя способами:

1. Наиболее удобным, распространенным и экономичным является способ регулирования скорости путем изменения потока  $\Phi_\delta$

С уменьшением  $\Phi_{\delta}$ , согласно выражению (6.22), скорость возрастает. Этот способ позволяет регулировать скорость вверх от номинальной. Поток определяется током возбуждения, регулировка которого может осуществляться введением добавочных реостатов в цепь возбуждения. При таком регулировании КПД двигателя остается высоким, так как мощность возбуждения мала, т.к. мала мощность реостатов для регулирования тока возбуждения. Верхний предел регулирования скорости вращения ограничивается механической прочностью машины и условиями ее коммутации.

2. Способ регулирования скорости заключается во включении последовательно в цепь якоря реостата или регулируемого сопротивления  $R_{Pa}$

$$n = \frac{U_a - I_a \cdot (r_a + R_{Pa})}{c_e \cdot \Phi_{\delta}} \quad . (6.23)$$

Этот способ дает возможность регулировать скорость вниз от номинальной и связан со значительными потерями в сопротивлении  $R_{Pa}$  и понижением КПД.

В реостате может теряться 50% приложенного напряжения и столько же мощности, подводимой к цепи якоря. По этой причине данный способ применяется в основном для двигателей небольшой мощности, а для более мощных двигателей используется редко и только кратковременно (пуско-наладочные режимы и т.д.).

3. Регулирование скорости осуществляется также путем регулирования напряжения цепи якоря. Так как работа двигателя при  $U > U_H$  недопустима, то данный способ дает возможность регулировать скорость вниз от номинальной. КПД двигателя при этом остается высоким, так как никаких добавочных источников потерь в схему двигателя не вносится.

#### *Тормозные режимы ДПТ.*

Электрические двигатели используют не только для вращения механизмов, но и для их торможения. Различают три вида электрического торможения ДПТ:

1) Рекуперативное – генераторное торможение с отдачей электрической энергии в сеть.

Используют для двигателей с параллельным возбуждением, при этом увеличивается частота вращения  $n$  выше  $n_0 = U/c_e \cdot \Phi_s$ . В этом случае ЭДС машины становится больше напряжения сети и ток изменяет направление, т.е. машина переходит в генераторный режим. В этом режиме машина создает тормозной момент, а выработанная им энергия отдается в сеть.

Двигатели последовательного возбуждения не могут переходить в режим рекуперативного торможения. Двигатели со смешанным возбуждением имеют возможность переходить в генераторный режим автоматически. Это позволяет применять их в различных устройствах частыми остановками (троллейбусах, трамваях и т.д.).

2) Динамическое или реостатное – генераторное торможение с подключением к обмотке якоря реостата.

В двигателе с параллельным возбуждением при таком торможении обмотку якоря отключают от сети и присоединяют к ней реостат.

Двигатель последовательного возбуждения можно при этом способе затормозить двумя путями. В первом случае обмотку возбуждения отключают от обмотки якоря и подключают к питающей сети последовательно с резистором, сопротивление которого подбирают так, чтобы ток возбуждения не превышал номинального значения. Во втором случае необходимо поменять полярность обмотки возбуждения. Это необходимо, чтобы, когда ток якоря меняет свое направление (при переходе в генераторный режим), не изменялось направление тока в обмотке возбуждения и МДС, создаваемая этой обмоткой, совпадала с МДС остаточного намагничивания. В обратном случае машина будет размагничиваться.

Режим динамического торможения также приемлем и для двигателя со смешанным возбуждением.

3) Электромагнитное торможение – торможение противовключением.

В режиме электромагнитного торможения при неизменном направлении тока сети изменяют направление электромагнитного момента, в результате он становится тормозным. Для этого необходимо поменять полярность обмотки возбуждения. Для ограничения тока в цепь обмотки якоря вводят добавочное сопротивление.

*Процесс коммутации и способы ее улучшения.*

Основным элементом каждой обмотки якоря является *секция*, которая состоит из одного или некоторого числа последовательно соединенных витков и присоединена своими концами к коллекторным пластинам.

Коммутацией называется процесс переключения секций обмотки из одной параллельной ветви в другую и изменения направления тока в них на обратное.

Во время коммутации секции замыкаются накоротко щетками, через которые ток из якоря передается во внешнюю цепь или из внешней цепи в якорь. Передача тока от щетки к коллектору и обратно может осуществляться через: 1) непосредственный механический контакт между щеткой и коллектором, 2) мельчайшие частицы медной и графитной пыли, 3) ионизированные воздушные щели между щеткой и коллектором.

С практической точки зрения важно, чтобы коммутация происходила без значительного искрения у контактных поверхностей щеток, так как сильное искрение портит поверхность коллектора и щеток и делает длительную работу машины невозможной.

Причины искрения на щетках можно подразделить на механические и электромагнитные.

Механические причины искрения большей частью связаны с нарушением контакта между щетками и коллектором. Такие нарушения вызываются: 1) неровностью поверхности коллектора, 2) плохой шлифовкой щеток к коллектору, 3) боем коллектора, если он превышает 0,2—0,3 мм, 4) выступанием отдельных коллекторных пластин, 5) выступанием слюды между коллекторными пластинами, 6) заеданием щеток в щеткодержателях (тугая посадка), 7) вибрацией щеток.

Электромагнитные причины связаны с характером протекания электромагнитных процессов в коммутируемых секциях.

Способы улучшения коммутации.

Для создания хороших условий коммутации необходимо прежде всего обеспечить надлежащее состояние коллектора и щеточного аппарата, чтобы устранить механические причины искрения.

Для обеспечения необходимых электромагнитных условий коммутации применяют способы, направленные на уменьшение добавочного тока коммутации или тока короткого замыкания коммутируемой секции и сводятся к следующим мероприятиям:

- 1) созданию коммутирующей ЭДС с помощью добавочных полюсов или сдвига щеток с геометрической нейтрали;
- 2) уменьшению реактивной ЭДС;
- 3) увеличению сопротивления цепи коммутируемой секции

Тестовые задания

Тест №1

1 ППРЭс/х - это...

а) документ, регулирующий требования к монтажу, устройству и оснащению электрооборудования.

б) основной документ, регламентирующий права и обязанности ЭТС.

в) основной нормативный документ, регламентирующий организацию эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве.

2. Укажите оборудование для защиты от неполнофазной нагрузки

а) УВТЗ; б) ЗОУП, РУД; в) ЕЛ-8, ЕЛ-511; г) ТРН.

3. Обслуживание по необходимости - это ...

а) профилактический принцип технической эксплуатации (ТЭ);

б) послеосмотровый принцип ТЭ;

в) послеотказовый принцип ТЭ.

4. В каком случае регулятор теплового реле ТРН -25 поворачивается в сторону «+»?

а) если мощность двигателя больше 25 кВт;

б) если разность номинальных токов теплового элемента и эл.двигателя отрицательна;

в) если мощность двигателя меньше 25 кВт;

г) если разность номинальных токов теплового элемента и эл.двигателя положительна.

5. Принцип действия предохранителей.

6.  $\lambda(t)$  - это...

а) интенсивность отказов; б) средняя наработка на отказ; в) вероятность безотказной работы.

7. Фактические значения, наблюдаемые в данный момент эксплуатации —

а) номинальные показатели; б) рабочие показатели; в) мгновенные показатели; г) результирующие показатели.

8. Осветительная сеть с лампами накаливания общей мощностью 1,5 кВт включена в 3 Фазную сеть.  $U_{\text{ном}} = 380\text{В}$ , нагрузка равномерная. Выбрать предохранитель с током вставки из предложенных ниже:

а) 15А;                      б) 10А;                      в) 6А;                      г) 3А.

9. Эл. двигатель 4А16084У3, IP42. укажите климатическое исполнение.

а) А;                      б) S;                      в) IP;                      г) У.

10. Укажите оборудование для защиты от перегрузки

а) УВТЗ;                      б) ЗОУП, РУД;                      в) ЕЛ-8, Е-511;                      г) РТЛ, ТРН.

11. Совокупность и последовательность работ, выполняемых, при технической эксплуатации электрооборудования – это...

а) структура ремонта цикла;

б) техническое обслуживание;

в) ремонтный цикл.

12. Коэффициентом абсорбции  $K_{\text{абс.}} = \dots$

а)  $R_{60} / R_{15}$ ;                      б)  $R_{15} / R_{60}$ ;                      в)  $C_2 / C_{50}$ . г)  $C_{60} / C_{15}$ .

13. Что здесь лишнее?

а) магнитный пускатель; б) ТЭН; в) кнопки управления; г) автоматический выключатель.

14) Принцип технической эксплуатации – это

а) правило выбора момента контроля и восстановления свойств электрооборудования;

б) это совокупность и последовательность работ, выполняемых, при технической эксплуатации электрооборудования;

в) это комплекс операций для поддержания исправности или работоспособности электрооборудования при его использовании по назначению, хранении и транспортировании.

15. Запишите условие выбора тепловых реле для защиты электроустановок.

1. Применение того или иного типа обмоток якоря

2. Геометрическая и физическая нейтрали

3. Способы улучшения коммутации, формы паза якоря МПТ

4. Область применения двигателей постоянного тока

5. Машины с постоянными магнитами

## Список литературы

1. Воробьев, В.А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации : учебник : доп. М-вом сел. хоз-ва Рос. Федерации / В. А. Воробьев. - Москва : КолосС, 2004. - 336 с.
2. Воробьев, В. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации : учебник и практикум для СПО / В. А. Воробьев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Юрайт, 2017. - 338 с. - Режим доступа : [www.biblio-online.ru/book/63FE978B-DD3F-480C-9ED6-6166D2F973BB](http://www.biblio-online.ru/book/63FE978B-DD3F-480C-9ED6-6166D2F973BB).
3. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства : учебник / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. - Москва : КолосС, 2008. - 654, [2] с.
4. Таран, В.П. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве / В.П. Таран. - Москва: Колос, 2005.
5. Образцов, В.А. Эксплуатация и ремонт пусковой низковольтной аппаратуры/ В.А. Образцов. - Москва: Энергия, 2006.
6. Гемке, Р.Г. Неисправности электрических машин / Р. Г. Гемке; ред. Р. Б. Уманцева. - 9-е изд., испр. и доп. - Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ние, 1989. - 331,[1] с.
7. Ремонт электросилового оборудования / А.Ф. Девятков, С.А. Пискунов, В.П. Путинцев, Н.М. Слоним. - Москва: Колос, 2006.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.